

VILNIAUS UNIVERSITETAS

Adomas Janulionis

Natūraliai ir po cezario pjūvio operacijos  
gimusių išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų  
naujagimių plaučių oringumo pokyčiai  
ankstyvuojų pereinamuoju laikotarpiu,  
vertinant elektrinio impedanso  
tomografijos metodu

**DAKTARO DISERTACIJA**

Medicinos ir sveikatos mokslai,  
Medicina (M 001)

VILNIUS 2025

Disertacija rengta 2019–2024 metais Vilniaus Universitete.

**Mokslinis vadovas** – Prof. habil. dr. Arūnas Valiulis (Vilniaus universitetas, Medicinos ir sveikatos mokslai, medicina (M 001).

**Mokslinis konsultantas** – Doc. dr. Arūnas Liubšys (Vilniaus universitetas, Medicinos ir sveikatos mokslai, medicina (M 001).

Gynimo taryba:

**Pirmininkas** – prof. habil. dr. Pranas Šerpytis (Vilniaus universitetas, Medicinos ir sveikatos mokslai, medicina (M 001).

**Nariai:**

prof. dr. Andrew Bush (Imperial college London, London, United Kingdom, Medicinos ir sveikatos mokslai, medicina (M 001),

prof. dr. Diana Ramašauskaitė (Vilniaus universitetas, Medicinos ir sveikatos mokslai, medicina (M 001),

doc. dr. Sonata Šaulytė Trakymienė (Vilniaus universitetas, Medicinos ir sveikatos mokslai, medicina (M 001),

prof. dr. Rasa Tamelienė (Lietuvos sveikatos mokslų universitetas, Medicinos ir sveikatos mokslai, medicina (M 001).

Disertacija ginama viešame Gynimo tarybos posėdyje 2025 m. balandžio mėn. 16 d. 15 val. VU Medicinos fakulteto Didžiojoje auditorijoje. Adresas: M. K. Čiurlionio 21, Vilnius, Lietuva.

Disertaciją galima peržiūrėti Vilniaus universiteto bibliotekoje ir VU interneto svetainėje adresu:

<https://www.vu.lt/naujienos/ivykiu-kalendorius>

VILNIUS UNIVERSITY

Adomas Janulionis

# Pulmonary Aeration during the Early Transitional Period in Natural and Cesarean-born Term and Late Preterm Neonates as Assessed by Electrical Impedance Tomography

**DOCTORAL DISSERTATION**

Medicine and health sciences  
Medicine (M001)

VILNIUS 2025

The dissertation was prepared between 2019 and 2024 at Vilnius University.

**Academic supervisor** – prof. habil. dr. Arūnas Valiulis (Vilnius university, Medicine and health sciences, Medicine (M001),

**Academic consultant** – assoc. prof. dr. Arūnas Liubšys (Vilnius university, Medicine and health sciences, Medicine (M001).

This doctoral dissertation will be defended in a public meeting of the Dissertation Defence Panel:

**Chairman** – Prof. habil. dr. Pranas Šerpytis (Vilnius university, Medicine and health sciences, Medicine (M001),

**Members:**

Prof. dr. Andrew Bush (Imperial college London, London, United Kingdom, Medicine and health sciences, Medicine (M001),

Prof. dr. Diana Ramašauskaitė (Vilnius university, Medicine and health sciences, Medicine (M001),

Assoc. prof. dr. Sonata Šaulytė Trakymienė (Vilnius university, Medicine and health sciences, Medicine (M001),

Prof. dr. Rasa Tamelienė (Lithuanian university of health sciences, Medicine and health sciences, Medicine (M001).

The dissertation shall be defended at a public meeting of the Dissertation Defence Panel at 15:00 p.m. on 16 April 2025 in Great Hall of the Faculty of Medicine.

Address: M.K. Čiurlionio street, house No. 21, Vilnius, Lithuania.

The text of this dissertation can be accessed at the library of Vilnius University, as well as on the website of Vilnius University:

[www.vu.lt/lt/naujienos/ivykiu-kalendorius](http://www.vu.lt/lt/naujienos/ivykiu-kalendorius)

# TURINYS

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| SANTRUMPOS .....                                                                                            | 8  |
| 1. ĮVADAS.....                                                                                              | 10 |
| 1.1. Tiriamosios problemos aktualumas ir naujumas .....                                                     | 10 |
| 1.2. Tyrimo hipotezė.....                                                                                   | 12 |
| 1.3. Tyrimo tikslas.....                                                                                    | 12 |
| 1.4. Tyrimo uždaviniai .....                                                                                | 12 |
| 2. LITERATŪROS APŽVALGA.....                                                                                | 13 |
| 2.1. Naujagimio gimimas ir svarbiausi pokyčiai, pereinant iš<br>intrauterinės į ekstrauterinę aplinką. .... | 13 |
| 2.1.1. Kraujotakos pokyčiai .....                                                                           | 13 |
| 2.1.2. Kvėpavimo sistemos pokyčiai .....                                                                    | 13 |
| 2.2. Natūraliai ir po cezario pjūvio operacijos laiku gimusio naujagimio<br>ypatumai.....                   | 14 |
| 2.2.1. Natūraliai gimęs išnešiotas naujagimis.....                                                          | 14 |
| 2.2.2. Išnešiotas naujagimis, gimęs po cezario pjūvio operacijos.....                                       | 15 |
| 2.3. Vėlyvasis neišnešiotas naujagimis (VNN) .....                                                          | 16 |
| 2.3.1. Vaisiaus plaučių vystymosi etapai.....                                                               | 16 |
| 2.3.2. Vėlyvojo neišnešiotą naujagimio (VNN) apibūdinimas ir<br>ypatumai.....                               | 18 |
| 2.3.3. Dažniausios vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių kvėpavimo<br>problemos .....                             | 19 |
| 2.3.3.1. Praeinančioji naujagimio tachipnėja.....                                                           | 19 |
| 2.3.3.2. Kvėpavimo sutrikimo sindromas (KSS).....                                                           | 20 |
| 2.3.3.3. Naujagimio persistuojanti plautinė hipertenzija (NPPH) ...                                         | 20 |
| 2.3.3.4. Neišnešiotumo nulemta apnėja (angl. <i>Apnea of prematurity</i> –<br>AOP).....                     | 21 |
| 2.4. Naujagimio plaučių būklės vertinimo ir stebėjimo metodai.....                                          | 23 |
| 2.4.1. Klinikinio ištyrimo metodai.....                                                                     | 23 |
| 2.4.2. Laboratoriniai metodai.....                                                                          | 23 |
| 2.4.3. Vaizdiniai metodai.....                                                                              | 23 |
| 2.4.4. Specializuoti kvėpavimo funkcijos tyrimai .....                                                      | 24 |
| 2.4.5. Pažangūs stebėsenos metodai .....                                                                    | 26 |
| 2.5. Elektrinio impedanso tomografija .....                                                                 | 27 |
| 2.5.1. Elektrinio impedanso tomografijos pagrindai.....                                                     | 27 |
| 2.5.1.1. EIT veikimo principai.....                                                                         | 27 |

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.5.1.2. EIT istorinė raida.....                                                                     | 28 |
| 2.5.2. EIT klinikinis pritaikymas .....                                                              | 29 |
| 2.5.2.1. Plaučių oringumo vertinimas.....                                                            | 29 |
| 2.5.2.2. Plaučių kraujotakos vertinimas.....                                                         | 30 |
| 2.5.2.3. Kitas EIT klinikinis pritaikymas.....                                                       | 31 |
| 2.5.2.4. EIT prietaisai .....                                                                        | 32 |
| 2.5.3. Naujagimių plaučių vertinimas EIT.....                                                        | 32 |
| 2.5.3.1. Plaučių audinio elektrinės savybės .....                                                    | 32 |
| 2.5.3.2. Naujagimio plaučių adaptacijos vertinimas pasitelkus EIT                                    | 33 |
| 2.5.3.3. EIT pritaikymas naujagimių plaučių ligų diagnostikai ir jų būklei stebėti.....              | 34 |
| 2.5.3.4. Klinikinis praktinis EIT pritaikymas naujagimių populiacijai .....                          | 36 |
| 2.5.3.5. „Swisstom BB2“ veikimo principas .....                                                      | 36 |
| 2.5.3.6. EIT trūkumai.....                                                                           | 37 |
| 2.5.4. EIT vaidmuo parenkant tausojamąjį gydymą ankstyvuojau naujagimio adaptacijos laikotarpiu..... | 38 |
| 2.5.4.1. Plaučių monitoravimas realiuoju laiku ir sprendimo priėmimas .....                          | 38 |
| 2.5.4.2. Kvėpuojamosios terapijos optimizavimas .....                                                | 38 |
| 2.5.4.3. Skirtingų kūno padėčių įtaka naujagimių plaučių oringumui .....                             | 39 |
| 2.5.4.4. Plaučių atvėrimo manevrai .....                                                             | 39 |
| 2.5.4.5. Gydymo surfaktantu efektyvumas.....                                                         | 40 |
| 2.5.4.6. Endotrachėjinio vamzdelio padėties nustatymas .....                                         | 41 |
| 2.5.4.7. EIT naudojimas prieš naujagimio ekstubaciją .....                                           | 41 |
| 2.5.4.8. Atsiurbimo iš endotrachėjinio vamzdelio procedūra .....                                     | 42 |
| 3. TIRIAMIEJI IR METODAI.....                                                                        | 43 |
| 3.1. Etikos aspektai.....                                                                            | 43 |
| 3.2. Tyrimo imtis.....                                                                               | 43 |
| 3.4. Tyrimo metodologija.....                                                                        | 45 |
| 3.4.1. EIT duomenų įrašymas.....                                                                     | 45 |
| 3.4.2. EIT duomenų interpretavimas .....                                                             | 46 |
| 3.5. Statistinė analizė.....                                                                         | 51 |
| 4. REZULTATAI.....                                                                                   | 53 |
| 4.1. Tiriamųjų grupių charakteristika .....                                                          | 53 |
| 4.2. Natūraliais takais ir po CPO gimusių išnešiotų naujagimių grupių                                |    |

|                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| EIT parametų palyginimas .....                                                                              | 54  |
| 4.2.1. „Nebylios“ sritys.....                                                                               | 54  |
| 4.2.2. Santykinė plaučių audinio įtemptis.....                                                              | 57  |
| 4.2.3. Ventiliacijos centras.....                                                                           | 65  |
| 4.2.4. Kvėpuojamojo tūrio pasiskirstymas.....                                                               | 66  |
| 4.3. Spontaniškai kvėpuojančių išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių EIT parametų palyginimas .....  | 67  |
| 4.3.1. „Nebylios“ sritys.....                                                                               | 67  |
| 4.3.2. Santykinė plaučių audinio įtemptis.....                                                              | 70  |
| 4.3.3. Ventiliacijos centras.....                                                                           | 74  |
| 4.3.4. Kvėpuojamojo tūrio pasiskirstymas.....                                                               | 74  |
| 4.4. Natūraliais takais gimusių išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių EIT parametų palyginimas ..... | 75  |
| 4.4.1. „Nebylios“ sritys.....                                                                               | 75  |
| 4.4.2. Santykinė plaučių audinio įtemptis.....                                                              | 78  |
| 4.4.3. Ventiliacijos centras.....                                                                           | 82  |
| 4.4.4. Kvėpuojamojo tūrio pasiskirstymas.....                                                               | 82  |
| 4.5. Po CPO gimusių išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių EIT parametų palyginimas .....             | 83  |
| 4.5.1. „Nebylios“ sritys.....                                                                               | 83  |
| 4.5.2. Santykinė plaučių audinio įtemptis.....                                                              | 86  |
| 4.5.3. Ventiliacijos centras.....                                                                           | 90  |
| 4.5.4. Kvėpuojamojo tūrio pasiskirstymas.....                                                               | 90  |
| 5. REZULTATŲ APTARIMAS .....                                                                                | 91  |
| 6. IŠVADOS .....                                                                                            | 102 |
| 7. PRAKTINĖS REKOMENDACIJOS.....                                                                            | 103 |
| 8. DISERTACIJOS AUTORIAUS PUBLIKACIJOS IR PRANEŠIMAI .                                                      | 104 |
| 9. PRIEDAI .....                                                                                            | 106 |
| 10.LITERATŪROS SĄRAŠAS.....                                                                                 | 107 |
| 11. PADĖKA.....                                                                                             | 126 |
| 12. SUMMARY .....                                                                                           | 127 |

## SANTRUMPOS

EIT – elektrinio impedanso tomografija CPO – cezario pjūvio operacija

NT – natūraliais takais

KSS – kvėpavimo sutrikimo sindromas PNT – praeinančioji naujagimio tachipnėja BPD – bronchopulmoninė displazija

NPPH – naujagimio persistuojanti plautinė hipertenzija

GS – gestacijos savaitė

GA – gestacinis amžius

NN – neišnešiotas naujagimis

VNN – vėlyvasis neišnešiotas naujagimis IN – išnešiotas naujagimis

CoV – ventiliacijos centras

SpO<sub>2</sub> – arterinio kraujo įsotinimas deguonimi EELV – iškvėpimo pabaigos plaučių tūris

MIST – minimaliai invazyvi surfaktanto terapija SI – nepertraukiamas didesnio slėgio įpūtimas ROI – tikslinė plaučių sritis

PEEP – teigiamas slėgis iškvėpimo pabaigoje

DDOV – didelio dažnio osciliuojamosios ventiliacijos režimas

RIP – kvėpavimo takų indukcinė pletizmografija (angl. *respiratory inductive plethysmography*) NIV – neinvazinė plaučių ventiliacija

NHF – didelės tėkmės kvėpuojamoji terapija per nosies kaniules

FOT – priverstinių virpesių technika

DPV – dirbtinė plaučių ventiliacija

CPAP – nuolatinis teigiamas slėgis kvėpavimo takuose

nCPAP – nuolatinis teigiamas slėgis kvėpavimo takuose, užtikrinamas per nosies kaniules NITS – naujagimių intensyvios terapijos skyrius

ECO<sub>2</sub> – iškvepiamas anglies dioksidas

AOP – neišnešiotumo nulemta apnėja (angl. *Apnea of prematurity*)

EnaC – epitelio natrio kanalai FRC – funkcinė liekamoji talpa

MAS – mekonijaus apiracijos sindromas

EKMO – ekstrakorporinė membraninė oksigenacija

GBS – B grupės streptokokai (angl. *group B streptococcus*)

PROM – priešlaikinis membranų plyšimas (angl. *premature rupture of membranes*) Hb – hemoglobinas

HbO<sub>2</sub> – oksihemoglobinas

PaO<sub>2</sub> – arterinio kraujo parcialinis deguonies slėgis

PaCO<sub>2</sub> – arterinio kraujo parcialinis anglies dvideginio slėgis KT – kompiuterinė tomografija

PFT – plaučių funkcijos tyrimai OEP – optoelektrinė pletizmografija

PCXI – fazės kontrasto rentgenografija (angl. *phase contrast X-ray imaging*)

NIPPV – neinvazinė teigiamo slėgio ventiliacija (angl. *noninvasive positive pressure ventilation*) REM – greitų akių judesių miego fazė (angl. *rapid eye movement*)

NREM – lėtų akių judesių miego fazė (angl. *non-rapid eye movement*)

# 1. ĮVADAS

## 1.1. Tiriamosios problemos aktualumas ir naujumas

Ankstyvoji postnatalinė naujagimių adaptacija yra svarbus periodas, prasidedantis, kai naujagimis pereina iš gimdos į ekstrauterinę aplinką. Šiuo laikotarpiu vyksta reikšmingi fiziologiniai pokyčiai organizme, taip pat ir plaučiuose, užtikrinantys veiksmingą kvėpavimą ir deguonies įsotinimą. Jis paprastai apima pirmąsias kelias valandas ar dienas po gimimo, o svarbiausi pokyčiai įvyksta per pirmąsias 24–48 valandas (1, 2). Naujagimiui gimus, iš jo plaučių turi pasišalinti skystis. Šiame procese dalyvauja kvėpavimo takų epitelio natrio kanalai (ENaC). Tai svarbu tinkamam plaučių oringumui užtikrinti ir išvengti kvėpavimo sutrikimo (3). Pereinant iš mažo deguonies kiekio aplinkos gimdoje į didesnio deguonies kiekio aplinką už gimdos ribų, galimas oksidacinis stresas, dėl kurio pažeidžiami plaučiai. Antioksidaciniai apsauginiai mechanizmai pereinamuoju laikotarpiu padeda sušvelninti oksidacinį stresą ir plaučiams prisitaikyti prie pakitusios aplinkos (4). Postnatalinė kraujotakos adaptacija apima plaučių arterijos tėkmės pokyčius ir arterinio latako užsidarymą, kurie yra būtini sumažinant slėgį plaučiuose ir užtikrinant tinkamą plaučių funkciją (2). Plaučių oringumo vertinimas ankstyvuojų adaptacijos laikotarpiu yra būtinas, siekiant nustatyti galimas kvėpavimo sistemos komplikacijas ir jų išvengti. Tai apima plaučių tūrio, skysčio klirenso ir oksidacinio streso žymenų stebėseną (1, 5, 6).

Pastaraisiais metais didėja cezario pjūvio operacijų, daugiavaisių nėštumų ir bendrosios nėščiųjų patologijos dažnis. Tyrimų duomenimis, gimimo būdas turi reikšmingą poveikį naujagimių adaptacijai. Natūraliais takais gimę naujagimiai paprastai pasižymi geresne kvėpavimo funkcijos adaptacija ir šilumos reguliacija, palyginti su naujagimiais, gimusiais po cezario pjūvio operacijos (CPO). Hormoniniai ir mechaniniai procesai, vykstantys natūralaus gimdymo metu, atlieka lemiamą vaidmenį ruošiant naujagimį prisitaikyti už gimdos ribų. Tuo tarpu gimimas po CPO, ypač planinis, yra susijęs su didesne kvėpavimo sistemos komplikacijų ir ilgalaikių sveikatos problemų, tokių kaip 1 tipo diabetas, rizika. Šių skirtumų supratimas yra labai svarbus priimant pagrįstus sprendimus dėl gimimo būdo, įvertinus tiek motinos, tiek naujagimio galimas baigtis. Reikia tolesnių tyrimų, siekiant iširti šiuos skirtumus lemiančius mechanizmus. Naujagimiams, gimusiems po CPO, ypač planinės, kyla didesnė kvėpavimo sistemos patologijos, tokios kaip kvėpavimo sutrikimo sindromas (KSS), praeinančioji naujagimio tachipnėja (PNT) ir naujagimio persistuojanti plautinė hipertenzija (NPPH),

rizika, lyginant su naujagimiais, gimusiais natūraliais takais. Tai lemia keletas veiksnių: nėra katecholaminų išsiskyrimo, mechaninio krūtinės ląstos suspaudimo ir hormoninių pokyčių, vykstančių natūralaus gimdymo metu, kurie padeda pašalinti plaučių skystį ir gaminti surfaktantą (7,8). Naujagimių, gimusių po CPO, krūtinės ląstos dujų tūris yra mažesnis, o skysčio perteklius plaučiuose didesnis nei gimusiųjų natūraliais takais, o tai byloja apie sutrikusią plaučių mechaniką ir tūrį (9). Gimdymas natūraliais takais yra susijęs su geresne šilumos reguliacija ir palankesnėmis sąlygomis naujagimio adaptacijai, įskaitant aukštesnę kūno paviršiaus temperatūrą ir didesnę deguonies kiekį ankstyvuojų adaptacijos laikotarpiu. Naujagimiams, gimusiems natūraliais takais, būdinga daugiau oksihemoglobino desaturacijos epizodų, tačiau jie mažiau juda miegodami, lyginant su naujagimiais, gimusiais po CPO, o tai rodo, kad skiriasi fiziologinis prisitaikymas ir miego režimas (10).

Vėlyvieji neišnešioti naujagimiai (VNN) apibūdinami kaip gimę nuo 34 nėštumo savaitių ir 0 dienų iki 36 nėštumo savaitių ir 6 dienų. Nepaisant jų sąlyginai brandžios išvaizdos, dėl fiziologinio nebrandumo jie gali susidurti su reikšmingais sveikatos iššūkiais. Tyrimų duomenimis, VNN, palyginti su išnešiotais naujagimiais, dažniau pasireiškia kvėpavimo sutrikimai, hipoglikemija, gelta, naujagimių sepsis, maitinimo sunkumai, temperatūros nestabilumas ir infekcijos (11, 12, 13). Ši naujagimių grupė gimsta plaučių vystymosi stadijoje, kai surfaktanto gamybos ir antioksidacinės sistemos nėra galutinai subrendusios. VNN būna didesnė sergamumo kvėpavimo sistemos ligomis naujagimystės laikotarpiu rizika. Tyrimai parodė, kad jiems dažniau diagnozuojamas kvėpavimo sutrikimo sindromas (KSS), praeinančioji naujagimių tachipnėja (PNT), naujagimio persistuojanti plautinė hipertenzija (NPPH) ir kitos kvėpavimo sistemos komplikacijos dėl nevisiško plaučių išsivystymo ir nepakankamos surfaktanto gamybos. Taip pat VNN kyla didesnė užsitęsios ar pakartotinės hospitalizacijos, mirties rizika, jie dažniau hospitalizuojami į intensyviosios terapijos skyrius (14). Žinant VNN kvėpavimo sistemos pažeidžiamumą, būtina atidžiai stebėti ir tam tikrais atvejais taikyti intensyvią terapiją, įskaitant dirbtinę plaučių ventiliaciją ir deguonies terapiją (15). Šiai grupei pacientų yra didesnė apatinių kvėpavimo takų infekcijų rizika kūdikystėje, pavyzdžiui, sukeltų respiracinio sincitinio viruso (RSV) (16). VNN dažnai prireikia gydymo surfaktantu dėl nepakankamos surfaktanto, kuris labai svarbus mažinant paviršiaus įtempį plaučiuose ir užkertant kelią kvėpavimo sutrikimo sindromui (KSS), gamybos (17).

Tradiciniai kvėpavimo sistemos vertinimo metodai, nors ir yra vertingi, tačiau negali suteikti išsamių žinių apie plaučių oringumą realiu laiku. Dėl šių priežasčių svarbu naudoti naujesnius ir tikslesnius metodus, kurie leistų realiu laiku stebėti plaučių oringumą ir adaptacijos eigą. Elektrinio impedanso tomografijos metodas (EIT), matuodamas krūtinės ląstos impedanso pokyčius, susijusius su plaučių tūrio kitimais, suteikia galimybę nuolat vizualizuoti plaučių oringumą prie paciento lovos. Ši technologija gali padėti aptikti problemines sritis, tokias kaip atelektazė ar pernelyg didelis plaučių išsiplėtimas, bei leisti gydytojams pritaikyti tinkamiausias terapines priemones. EIT taikymas gali prisidėti prie neišnešiotų naujagimių, ypač VNN, kurie yra ypač jautrūs kvėpavimo sistemos komplikacijoms ankstyvuojant adaptacijos laikotarpiu, geresnių sveikatos rodiklių.

## 1.2. Tyrimo hipotezė

Naujagimių plaučių oringumo rodikliai ankstyvuojant postnatalinės adaptacijos laikotarpiu priklauso nuo naujagimio išnešiotumo ir gimimo būdo.

## 1.3. Tyrimo tikslas

Įvertinti išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių, gimusių natūraliai ir po cezario pjūvio operacijos, plaučių oringumo pokyčius ankstyvuojant postnatalinės adaptacijos laikotarpiu, pasitelkiant elektrinio impedanso tomografijos metodą.

## 1.4. Tyrimo uždaviniai

1. Įvertinti ir palyginti natūraliai ir po cezario pjūvio operacijos gimusių išnešiotų naujagimių plaučių oringumo ypatumus per pirmąsias 90 min. po gimimo, vertinant elektrinio impedanso tomografijos metodu.
2. Įvertinti ir palyginti natūraliai gimusių išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių plaučių oringumo ypatumus per pirmąsias 90 min. po gimimo, vertinant elektrinio impedanso tomografijos metodu.
3. Įvertinti ir palyginti po cezario pjūvio operacijos gimusių išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių plaučių oringumo ypatumus per pirmąsias 90 min. po gimimo, vertinant elektrinio impedanso tomografijos metodu.
4. Palyginti išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių plaučių oringumo ypatumus per pirmąsias 90 min. po gimimo, nepriklausomai nuo gimimo būdo, vertinant elektrinio impedanso tomografijos metodu.

# 1. LITERATŪROS APŽVALGA



## 2.1. Naujagimio gimimas ir svarbiausi pokyčiai, pereinant iš intrauterinės į ekstrauterinę aplinką.

Pereinant iš intrauterinės į ekstrauterinę aplinką, plaučiuose įvyksta svarbūs prisitaikymo procesai, užtikrinantys veiksmingą dujų apykaitą. Šie procesai apima plaučių skysčio pasišalinimą, pokyčius plaučių kraujagyslėse ir reguliaraus kvėpavimo pradžią. Šie mechanizmai yra labai svarbus norint suprasti naujagimių kvėpavimo fiziologiją ir naujagimystės laikotarpiu atsirandančias pereinamąsias ar patologines būkles.

### 2.1.1. Kraujotakos pokyčiai

Postnatalinė kraujotakos adaptacija apima plaučių arterijos tėkmės pokyčius ir arterinio latakų užsidarymą, kurie yra būtini sumažinant slėgį plaučiuose ir užtikrinant tinkamą plaučių funkciją (2). Gimdoje plaučių kraujotakai būdingas didelis kraujagyslių pasipriešinimas ir neintensyvi kraujotaka, o didžioji dalis kraujo aplenkia plaučius per arterinį lataką. Naujagimiui gimus ir pradėjus kvėpuoti, plaučių kraujagyslių pasipriešinimas smarkiai sumažėja. Šį sumažėjimą nulemia padidėjęs deguonies kiekis, dėl kurio atsipalaiduoja plaučių arteriolės (18). Užsidarius arteriniam latakui ir ovaliajai angai bei suintensyvėjus plaučių kraujotakai, kraujas nukreipiamas į plaučius deguonies prisotinimui (19).

### 2.1.2. Kvėpavimo sistemos pokyčiai

Vaisiaus vystymosi metu plaučiai yra pripildyti skysčio, kuris būtinas plaučiams augti ir formuotis, tačiau patys plaučiai nedalyvauja dujų apykaitoje ir kraujo įsotinimo deguonimi procese – tą daro motinos placenta. Gimimo metu šis skystis pasišalina ir alveoles pripildo oras, taip susidaro sąlygos efektyviai dujų apykaitai. Alveolių skystis iš dalies pasišalina dėl mechaninio poveikio (išstumiamas iš stambiųjų kvėpavimo takų), naujagimiui slenkant gimdymo takais, iš dalies skysčiui aktyviai absorbuojantis į plaučių tarpląstelinį tarpą ir kraują (20). Absorbcijoje dalyvauja epitelio natrio kanalai (ENaC), kurių veikla labiausiai priklauso nuo hormoninių pokyčių, ypač katecholaminų išsiskyrimo gimdymo metu (20). Šie pokyčiai leidžia alveolėms laipsniškai išsiskleisti, taip išvengiama kvėpavimo sutrikimo (3).

Pirmieji naujagimio įkvėpimai jam gimus yra labai svarbūs funkciniai liekamajai plaučių talpai (FRC) ir veiksmingai dujų apykaitai užtikrinti. Šie

įkvėpimai sukuria neigiamą slėgį, būtiną alveolėms atsiverti ir plaučių skysčiui pasikeisti oru. Pirmieji įkvėpimai dažniausiai būna gilūs ir neritmiški, padeda įveikti didelį alveolių paviršiaus įtempimą ir sukurti alveolių stabilumą (21, 22). Išsiskleidus plaučiams, jiems užsipildžius oru, kvėpavimas tampa ritmiškas, jį reguliuoja centrinė nervų sistema ir jis yra labai svarbus siekiant palaikyti tinkamą oringumą ir deguonies kiekį (23).

Plaučių surfaktantas, kurį gamina II tipo alveolių ląstelės, atlieka lemiamą vaidmenį mažinant paviršiaus įtempimą ir taip užkertant kelią alveolėms subliušksti iškvėpimo metu. Surfaktanto gamybą ir išsiskyrimą skatina su gimdymu susiję hormoniniai pokyčiai, ypač kortizolio ir katecholaminų kiekio padidėjimas (24). Pakankamas surfaktanto kiekis yra būtinas, kad stabilizuotų alveoles ir užtikrintų veiksmingą dujų apykaitą ankstyvuojau naujagimystės laikotarpiu (25).

## 2.2. Natūraliai ir po cezario pjūvio operacijos laiku gimusio naujagimio ypatumai

Ankstyvoji postnatalinė naujagimių adaptacija yra svarbus periodas, prasidedantis, kai naujagimiui intrauterinė aplinka pasikeičia į ekstrauterinę. Šiuo laikotarpiu vyksta reikšmingi fiziologiniai pokyčiai organizme, taip pat ir plaučiuose, užtikrinantys veiksmingą kvėpavimą ir deguonies įsisavinimą. Jis paprastai apima pirmąsias kelias valandas ar dienas po gimimo, o svarbiausi pokyčiai įvyksta per pirmąsias 24-48 valandas (1, 2). Pereinamąjį naujagimio laikotarpį gali sutrikdyti tokie veiksniai, kaip antai priešlaikinis gimdymas, cezario pjūvio operacija, atlikta iki spontaninio gimdymo pradžios, ar perinatalinė asfiksija. Pastaraisiais metais didėja cezario pjūvio operacijų, daugiavaisių nėštumų ir bendrosios nėščiųjų patologijos dažnis. Tyrimų duomenimis, gimimo būdas turi reikšmingą poveikį naujagimių adaptacijai.

### 2.2.1. Natūraliai gimęs išnešiotas naujagimis

Natūraliais takais gimę naujagimiai paprastai pasižymi geresne kvėpavimo funkcijos adaptacija ir šilumos reguliacija, palyginti su naujagimiais, gimusiais po cezario pjūvio operacijos (CPO). Hormoniniai ir mechaniniai procesai, vykstantys natūralaus gimdymo metu, atlieka lemiamą vaidmenį ruošiant naujagimį prisitaikyti už gimdos ribų. Mechaninis krūtinės ląstos suspaudimas, naujagimiui judant gimdymo takais, palengvina naujagimio kvėpavimo sistemos prisitaikymą ir padeda išstumti skystį iš plaučių. Gimdymo metu vykstantys hormoniniai pokyčiai, tokie kaip

katecholaminų antplūdis, sustiprina ENaC aktyvumą ir skatina skysčių absorbciją iš alveolių į intersticinę erdvę ir kraujotaką. Pirmieji įkvėpimai sukuria neigiamą intratorakalinį slėgį, reikalingą alveolėms išplėsti, užtikrinti FRC ir pradėti efektyvią dujų apykaitą. Be to, padidėja plaučių surfaktanto išsiskyrimas, kuris sumažina paviršiaus įtempimą ir stabilizuoja alveoles įkvėpimo metu. Šie procesai kartu užtikrina veiksmingą kvėpavimo adaptaciją ir sumažina komplikacijų riziką. Gimdymas natūraliais takais yra susijęs su geresne šilumos reguliacija, įskaitant aukštesnę kūno paviršiaus temperatūrą ir didesnę deguonies kiekį ankstyvuojau adaptacijos laikotarpiu. Naujagimiams, gimusiems natūraliais takais, būdinga daugiau oksihemoglobino desaturacijos epizodų, tačiau jie mažiau juda miegodami, palyginti su naujagimiais, gimusiais po CPO, o tai rodo, kad skiriasi fiziologinis prisitaikymas ir miego režimas (10).

### 2.2.2. Išnešiotas naujagimis, gimęs po cezario pjūvio operacijos

Tuo tarpu gimdymas po CPO yra susijęs su didesne kvėpavimo sistemos komplikacijų rizika. Po CPO gimusiems naujagimiams tam tikri kvėpavimo adaptacijai svarbūs mechanizmai gali būti mažiau efektyvūs, todėl kyla didesnė kvėpavimo sistemos patologijos, tokios kaip kvėpavimo sutrikimo sindromas (KSS), praeinančioji naujagimio tachipnėja (PNT) ir naujagimio persistuojanti plautinė hipertenzija (NPPH), rizika, palyginti su naujagimiais, gimusiais natūraliais gimdymo takais. Tai lemia keletas veiksnių: nėra katecholaminų išsiskyrimo, mechaninio krūtinės ląstos suspaudimo ir hormoninių pokyčių, vykstančių natūralaus gimdymo metu, kurie padeda pašalinti plaučių skystį ir gaminti surfaktantą (7, 8). Naujagimių, gimusių po CPO, krūtinės ląstos dujų tūris yra mažesnis, o skysčio perteklius plaučiuose didesnis, nei gimusiųjų natūraliais takais, o tai rodo esant sutrikusią plaučių mechaniką ir tūrį (9). Suprasti šiuos skirtumus yra labai svarbu priimant pagrįstus sprendimus dėl gimimo būdo, įvertinus tiek motinos, tiek naujagimio galimas baigtis. Reikia tolesnių tyrimai, siekiant ištirti šiuos skirtumus lemiančius mechanizmus.

Nors nemažai žinoma apie fiziologinius naujagimių plaučių adaptacijos skirtumus, susijusius su gimdymo būdu, tačiau žiniose yra spragų. Esamuose tyrimuose nėra iki galo išsiaiškinti molekuliniai ir ląsteliniai mechanizmai, kurie lemia šiuos natūraliais takais ir po CPO gimusių naujagimių skirtumus. Pavyzdžiui, vis dar nėra tiksliai apibrėžtas hormonų antplūdžio vaidmuo gimdymo metu, reguliuojant surfaktanto gamybą ir plaučių skysčio klirensą. Todėl šių naujagimių grupių plaučių oringumo vertinimas ir palyginimas ankstyvuojau adaptacijos laikotarpiu yra svarbus,

siekiant geriau suprasti šiuos mechanizmus ir pagal galimybes išvengti kvėpavimo adaptacijos problemų. Tai apima plaučių tūrio, skysčio klirensą ir oksidacinio streso žymenų stebėseną (1, 5, 6).

### 2.3. Vėlyvasis neišnešiotas naujagimis (VNN)

#### 2.3.1. Vaisiaus plaučių vystymosi etapai

Vaisiaus plaučių raida yra sudėtingas ir kruopščiai reguliuojamas procesas, vykstantis keliais etapais, kurių kiekvienas yra labai svarbus plaučiams pasiruošti atlikti dujų apykaitą po gimimo. Vystymasis prasideda ankstyvuju nėštumo laikotarpiu ir apima ląstelių diferenciaciją, morfogenezę ir funkcinių brendimą. Šį procesą galima suskirstyti į penkis etapus: embrioninį, pseudoglandulinį, kanalikulinį, maišelinį ir alveolinį (1 pav.).

Embrioninio etapo metu (4–7 nėštumo savaitės) plaučių užuomazgos vystosi iš priekinės žarnos endodermos ir pradeda šakotis į pirminius kvėpavimo takus. Šiame etape susiformuoja pagrindinė plaučių architektūra ir kvėpavimo takai, įskaitant trachėją ir bronchus (26). Toliau būna pseudoglandulinis etapas (7–17 nėštumo savaitės), kuriam būdinga sparti šakojimosi morfogenezė, formuojantis bronchų medžiui iki pat galinių bronchiolių. Šiuo etapu

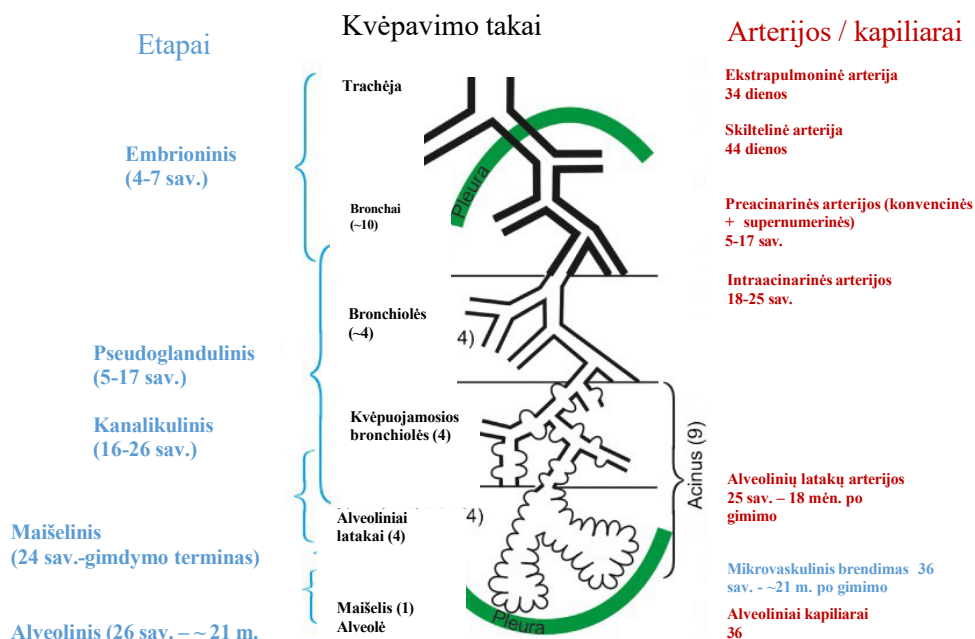
plaučiai panašūs į liauką, ir nors juose nėra alveolių, sukuriamas pagrindas būsimoms dujų apykaitos struktūroms (26, 27).

Kanalikuliniame etape (17–26 nėštumo savaitės) diferencijuojasi kvėpavimo takų epitelis ir vystosi kvėpuojamosios bronchiolės. Kvėpavimo takai išsiplečia, suintensyvėja vaskuliarizacija, todėl pradeda formotis kraujas ir oro barjeras, būtinas efektyviai dujų apykaitai po gimimo (26, 28). Šiuo laikotarpiu diferencijuojasi I ir II tipo alveolių ląstelės. Pastarosios yra labai svarbios surfaktanto, kuris mažina paviršiaus įtempį alveolėse ir apsaugo plaučius nuo sulipimo, gamybai (29).

Maišeliniam etape (26–36 nėštumo savaitės) iš kvėpuojamųjų bronchiolių susiformuoja galiniai maišeliai. Šie maišeliai yra alveolių pirmtakai, o jų vystymasis padidina potencialios dujų apykaitos paviršiaus plotą. II tipo alveolių ląstelėse intensyvėja plaučių surfaktanto sintezė ir sekrecija, taip plaučiai paruošiami kvėpuoti oru (26, 30, 31).

Paskutinė, alveolinė, stadija prasideda vėlyvuju vaisiaus laikotarpiu ir tęsiasi po gimimo. Šio etapo metu maišeliai subręsta į alveoles, stipriai padidindami plaučių paviršiaus plotą ir pagerindami jų gebėjimą efektyviai atlikti dujų apykaitą. Šiame etape vyksta plaučių parenchimos pertvarka, įskaitant pertvarų plonėjimą ir kapiliarų tinklo brendimą, užtikrinama

veiksminga deguonies ir anglies dioksido apykaita (26, 27, 32).



1 pav. Vaisiaus plaučių vystymosi etapai: embrioninis, pseudoglandulinis, kanalikulinis, maišelinis, alveolinis. Adaptuota pagal Schittny et al. (26)

Bet kurio plaučių vystymosi etapo anomalijos gali sukelti kvėpavimo funkcijos sutrikimą gimimo metu ir vėliau gyvenime. Tokie veiksniai kaip genetinės mutacijos, aplinkos įtaka ir motinos sveikata gali turėti įtakos plaučių vystymuisi bei sukelti tokias ligas kaip bronchopulmoninė displazija ar lėtinė obstrukcinė plaučių liga (6, 33). Išsamiai suprasti šiuos etapus labai svarbu, kad būtų galima laiku pradėti neišnešiotų bei įgimtų plaučių ligų turinčių naujagimių plaučių brandinimą (29, 34).

Priešlaikinis gimdymas, ypač kai jis įvyksta dar nepasibaigus maišeliniam etapui, gali smarkiai sutrikdyti šiuos vystymosi procesus. Neišnešiotiems naujagimiams dažnai būna kvėpavimo sutrikimo sindromas (KSS) dėl nepakankamos surfaktanto gamybos; ši problema ypač aktuali, jei naujagimis gimsta iki 34 nėštumo savaitės (26, 30). Dėl surfaktanto trūkumo sulimpa alveolės ir sutrinka dujų apykaita, todėl prireikia medicininių intervencijų, tokių kaip pakaitinė surfaktanto terapija ir mechaninė ventiliacija (6, 32). Be to, prieššlaikinis gimdymas gali sustabdyti alveolių brendimą, todėl susidaro mažiau ir didesnių alveolių storesnėmis sienelėmis, o tai sumažina

dujų apykaitai skirtą paviršiaus plotą (26, 31).

### 2.3.2. Vėlyvojo neišnešioti naujagimio (VNN) apibūdinimas ir ypatumai

Vėlyvieji neišnešioti naujagimiai (VNN) apibūdinami kaip gimę nuo 34 nėštumo savaitių ir 0 dienų iki 36 nėštumo savaitių ir 6 dienų. Nors šių naujagimių dydis ir svoris dažnai būna panašus į išnešiotų naujagimių, jie pasižymi dideliu fiziologiniu ir raidos nebrandumu, dėl kurio kyla didesnė įvairių komplikacijų ir neigiamų pasekmių rizika. Tyrimų duomenimis, VNN, palyginti su išnešiotais, dažniau būna kvėpavimo sutrikimai, hipoglikemija, gelta, naujagimių sepsis, maitinimo sunkumai, temperatūros nestabilumas ir infekcijos (11, 12, 13).

Tyrimai atskleidė, kad šiems naujagimiams dažniau diagnozuojamas kvėpavimo sutrikimo sindromas (KSS), praeinanti naujagimių tachipnėja (PNT), naujagimių persistuojanti plautinė hipertenzija (NPPH) ir kitos kvėpavimo sistemos komplikacijos dėl nevisiško plaučių išsivystymo ir nepakankamos surfaktanto gamybos. Taip pat VNN kyla didesnė užtrukusios ar pakartotinės hospitalizacijos, mirties rizika, jie dažniau hospitalizuojami į intensyviosios terapijos skyrius (14). Žinant VNN kvėpavimo sistemos pažeidžiamumą, būtina atidžiai stebėti ir tam tikrais atvejais taikyti intensyvią terapiją, įskaitant mechaninę plaučių ventiliaciją ir deguonies terapiją (15).

Be to, VNN kyla didesnė medžiagų apykaitos sutrikimų, pavyzdžiui, hipoglikemijos, rizika, visų pirma dėl ribotų glikogeno atsargų ir nebrandžios medžiagų apykaitos. Dėl šios priežasties VNN reikia atidžiai stebėti gliukozės kiekį kraujyje ir laiku imtis intervencinių priemonių, kad būtų išvengta komplikacijų (35, 36). Kita dažna VNN problema – gelta, atsirandanti dėl nebrandžių kepenų, kurios ne taip efektyviai metabolizuoja bilirubiną, todėl dažniau pasireiškia hiperbilirubinemija ir prireikia fototerapijos (37).

Dėl nepakankamai išvystytos čiulpimo, rijimo ir kvėpavimo funkcijų koordinacijos VNN dažniausiai kyla maitinimo sunkumų. Neužtikrinus pakankamo maitinimo jie gali prarasti svorio ir dehidruoti, todėl dažnai tenka taikyti papildomo maitinimo būdus, pavyzdžiui, maitinimą per zondą arba maitinimą praturtintu motinos pienu (38). Be to, VNN termoreguliacija yra mažiau stabili, todėl jie yra labiau linkę į hipotermiją, taigi reikalingas kruopštas temperatūros reguliavimas naujagimių stebėjimo palatoje (39).

Taigi, vėlyvieji neišnešioti naujagimiai, nepaisant jų santykinai brandžios išvaizdos, dėl fiziologinio nebrandumo gali susidurti su reikšmingais sveikatos iššūkiais. VNN gydymas reikalauja visapusiško požiūrio, kuris apimtų ne tik neatidėliotiną medicinos pagalbą, bet ir priešlaikinio gimdymo prevenciją bei tinkamą prenatalinę priežiūrą. Įrodyta,

kad prevencinės priemonės, tokios kaip antenatalinių kortikosteroidų skyrimas ir tinkamas gimdymo laiko parinkimas, pagerina baigtis šioje naujagimių populiacijoje (40, 41). Po gimdymo taikoma priežiūra, įskaitant individualius maitinimo planus, temperatūros kontrolę ir atidžią stebėseną dėl geltos ir kvėpavimo sutrikimų, yra labai svarbi siekiant sumažinti sergamumą ir užtikrinti sveiką vystymąsi.

### 2.3.3. Dažniausios vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių kvėpavimo problemos

#### 2.3.3.1. Praeinančioji naujagimio tachipnėja

Praeinančioji naujagimio tachipnėja (PNT) yra vienas iš dažniausių vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių kvėpavimo sutrikimų, kuriam būdingas dažnas kvėpavimas dėl vėlyvo vaisiaus plaučių skysčio pasišalinimo; tai lemia nepakankamą dujų apykaitą ir lengvą hipoksiją. Vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių PNT paplitimas svyruoja nuo 6,4 proc. 34 gestacijos savaitę gimusiems naujagimių iki 0,4 proc. gimusių 38 savaitę. Ši būklė paprastai pasireiškia pirmosiomis gyvenimo valandomis ir išnyksta per 72 valandas, nes skystis iš plaučių absorbuojamas. PNT patofiziologija susijusi su vaisiaus plaučių skysčio susilaikymu alveolėse ir kvėpavimo takuose, kuris lemia sumažėjusį plaučių paslankumą ir neefektyvų įsotinimą deguonimi (42, 43, 44).

PNT rizikos veiksniai yra gimimas po cezario pjūvio operacijos be spontaninio gimdymo pradžios, vyriška lytis ir motinos diabetas. Gimdymui neprasidėjus iki cezario pjūvio operacijos, katecholaminų, kurie yra labai svarbūs skysčiui pašalinti iš plaučių, antplūdis naujagimiui yra nepakankamas (42). Kliniškai PNT sergantiems naujagimiams būdingi kvėpavimo sutrikimo požymiai, tokie kaip tachipnėja (dažnas kvėpavimas), dejavimas, nosies sparnelių judėjimas ir tarpšonkaulinės bei krūtinkaulio retrakcijos. Diagnozė paprastai patvirtinama atlikus krūtinės ląstos rentgenogramą, kurioje matoma hiperinflacija (padidėjęs plaučių oringumas) ir skystis tarpškiltiniuose plaučių plyšiuose (45). PNT gydymas pirmiausia yra palaikomasis, daugiausiai dėmesio skiriant deguonies poreikiui užtikrinti ir kvėpavimui palaikyti. Paprastai skiriamas gydymas deguonimi, o sunkiais atvejais alveolių išsiplėtimui palaikyti gali būti taikoma CPAP terapija. PNT prognozė paprastai yra palanki, dauguma naujagimių visiškai pasveiksta ir neturi ilgalaikių kvėpavimo sutrikimų (46). Tačiau sirgusiems PNT naujagimystėje yra didesnė vėlesnių kvėpavimo takų infekcijų rizika, todėl ankstyvoje vaikystėje gali būti reikalingas atidesnis stebėjimas (47).

### 2.3.3.2. Kvėpavimo sutrikimo sindromas (KSS)

Kvėpavimo sutrikimo sindromas (KSS) yra paplitusi vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių sergamumo priežastis. Šis sindromas visų pirma atsiranda dėl surfaktanto trūkumo. Vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių KSS paplitimas (angl. *incidence*) svyruoja nuo apytiksliai 10,5 proc. tarp gimusių 34 gestacijos savaitių iki 1,1 proc. tarp gimusių 36 gestacijos savaitių (58). Surfaktantas – medžiaga, mažinanti alveolių paviršiaus įtempimą, yra labai svarbi plaučių išsiplėtimui ir dujų apykaitai. Vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių plaučiai dažnai nepakankamai išsivystę, gamina per mažai surfaktanto, todėl alveolės subliūkšta, sutrinka oksigenacija (48).

KSS paprastai pasireiškia per pirmąsias kelias valandas po gimimo, tada atsiranda sunkių kvėpavimo sutrikimo požymių, įskaitant tachipnėją, dejavimą, nosies sparnelių judėjimą bei tarpšonkaulines ir krūtinkaulio retrakcijas. Krūtinės ląstos rentgenogramoje dažnai matomas „matinio stiklo“ vaizdas ir oro bronchogramos, rodančios plačiai paplitusią atelektazę (50). KSS dažnis atvirkščiai proporcingas gestaciniam amžiui, dažniau šis sindromas būna anksčiau gimusiems naujagimiams vėlyvojo neišnešiotumo laikotarpiu (47, 49).

KSS gydymas apima egzogeninio surfaktanto skyrimą ir kvėpavimo palaikymą, įskaitant CPAP arba mechaninę ventiliaciją (44, 50, 51). Įrodyta, kad ankstyvas surfaktanto pakaitinis gydymas gerokai pagerina rezultatus, nes sumažina kvėpavimo nepakankamumo sunkumą ir ilgesnės dirbtinės plaučių ventiliacijos poreikį (52). Nepaisant naujagimių priežiūros pažangos, KSS išlieka pagrindinė naujagimių sergamumo priežastis, dažnai lemia ilgesnę hospitalizaciją ir didesnes sveikatos priežiūros išlaidas (48). Vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių mirtingumas dėl KSS yra apytiksliai 15,5 proc., o didesnis mirtingumas būna tų naujagimių, kuriems reikalinga mechaninė ventiliacija, arba kurie serga gretutinėmis ligomis, pavyzdžiui, sepsiu ar patyrė perinatalinę asfiksiją (53).

### 2.3.3.3. Naujagimio persistuojanti plautinė hipertenzija (NPPH)

Naujagimio persistuojanti plautinė hipertenzija (NPPH) yra kritinė ir potencialiai gyvybei grėsminga būklė, kuri būdinga naujagimiams, įskaitant ir vėlyvuosius neišnešiotus naujagimius. NPPH pasireiškia, kai plaučių kraujagyslės nespėja adaptuotis nuo didesnio iki mažesnio pasipriešinimo po gimdymo, todėl plaučių arterijoje nuolat susidaro didelis spaudimas. Ši būklė sukelia hipoksemiją dėl kraujo šuntavimo iš dešinės į kairę dėl išlikusios vaisiaus kraujotakos: atviro arterinio latako ir ovaliosios angos (54, 55, 56,

57). Vėlyvųjų neišnešiotų ir išnešiotų naujagimių NPPH paplitimas yra apytiksliai 0,18 proc., o mirtingumas per vienerius metus 7,6 proc., arba nuo 1,5 proc. iki 2,5 proc. iš 1 000 gyvų gimusiųjų (64). Keliais tyrimais buvo nustatyti pagrindiniai NPPH rizikos veiksniai šioje populiacijoje. Tai gimimas po cezario pjūvio be spontaninio gimdymo pradžios, motinos diabetas ir preeklampsija, perinatalinė asfiksija, mekonijaus aspiracijos sindromas (MAS) ir kvėpavimo sutrikimo sindromas (KSS). Atlikto tyrimo duomenimis, beveik 55 proc. neišnešiotų naujagimių NPPH atvejų buvo susiję su KSS, o 30 proc. – su infekcija. Be to, pažymėtina, kad NPPH komplikuoja daugiau kaip 10 proc. visų naujagimių, kuriems pasireiškia kvėpavimo nepakankamumas, klinikinę būklę (57, 59).

Kliniškai NPPH pasireiškia sunkiu kvėpavimo sutrikimu, cianoze ir hipoksemija, kurios nepalengvina papildomo deguonies skyrimas. Diagnozė patvirtinama atlikus echokardiografinį tyrimą, kurio metu nustatoma plautinė hipertenzija ir kraujo šuntavimas iš dešinės į kairę (55, 57). Mirtingumo rodikliai, susiję su NPPH, įvairiais duomenimis, labai skiriasi, tačiau yra itin dideli: priklausomai nuo ištyrimo ir sveikatos priežiūros paslaugų prieinamumo jie svyruoja nuo 10 proc. iki 48 proc. (57, 60).

NPPH gydymas yra sudėtingas ir įvairiapusiškas, juo siekiama sumažinti plaučių kraujagyslių pasipriešinimą ir pagerinti oksigenaciją. Pagrindinės intervencinės priemonės yra surfaktanto terapija, aukšto dažnio ventiliacija, o sunkiais atvejais – įkvepiamasis azoto oksidas (iNO), ekstrakorporinė membraninė oksigenacija (ECMO) (54–59). Taip pat labai svarbu yra užtikrinti pakankamą kraujospūdį ir vengti acidozės. Naujausi naujagimių priežiūros pasiekimai, pavyzdžiui, fosfodiesterazės inhibitorių, tokių kaip sildenafilis, vartojimas, teikia vilčių pagerinti NPPH sergančių naujagimių būklę (61, 62).

Nepaisant gydymo pažangos, ilgalaikės NPPH išgyvenusių naujagimių baigtys gali būti sudėtingos. Daugelis išgyvenusiųjų susiduria su lėtinėmis plaučių ligomis, neurologinio vystymosi atsilikimu ir kitomis komplikacijomis (57, 59, 60). Todėl ankstyvas NPPH nustatymas ir neatidėliotinas gydymas yra labai svarbūs siekiant pagerinti išgyvenamumo rodiklius ir sumažinti ilgalaikių pasekmių riziką. Siekiant geriau suprasti ir valdyti šią sunkią būklę, būtina tęsti mokslinius tyrimus ir tobulinti naujagimių priežiūros praktiką.

### 2.3. Neišnešiotumo nulemta apnėja (angl. *Apnea of prematurity* – AOP)

Neišnešiotų naujagimių apnėja (AOP) yra dažna neišnešiotų naujagimių būklė, kuriai būdingos kvėpavimo pauzės dėl kvėpavimo sistemos

kontrolės nebrandumo. Tyrimų duomenimis, AOP paplitimas tarp vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių yra 42,8 proc.. Ši būklė gali sukelti sunkių klinikinių problemų, įskaitant bradikardiją ir hipoksemiją, ir yra dažna diagnozė naujagimių intensyviosios terapijos skyriuose (63, 64, 65, 66). Šią būklę sunkina tokie veiksniai, kaip antai pakitusi kvėpavimo reakcija į hipoksiją ir hiperkapniją bei nebrandi čiulpimo, rijimo ir kvėpavimo koordinacija (65, 67). Mažesnis gestacinis amžius ir mažesnis gimimo svoris yra svarbūs AOP rizikos veiksniai, taip pat naujagimių anemija ir jaunesnis motinos amžius (68, 69). AOP paplitimas skiriasi priklausomai nuo gestacinio amžiaus: jis yra didžiausias tarp itin mažo gimimo svorio neišnešiotų naujagimių (71,4 proc.) ir mažėja didėjant gestaciniam amžiui (69). AOP yra susijusi su kitomis ligomis, tokiomis kaip hiperbilirubinemija ir hipoglikemija bei gydymo CPAP terapija poreikiu (68). Nors pati AOP nėra tiesiogiai susijusi su didesniu mirtingumu, ji gali apsunkinti naujagimių priežiūrą ir padidinti sergamumą, o tai netiesiogiai gali turėti įtakos mirtingumo rodikliams (70). AOP pasireiškia užtrukusia apnėja, periodiniu kvėpavimu ir periodine hipoksija, dažnai kartu su bradikardija (64, 65). Ji diagnozuojama kliniškai stebint apnėjos epizodus, bradikardiją ir desaturaciją. Nėra bendros nuomonės dėl diagnozės nustatymo kriterijų, todėl klinikinė praktika yra nevienoda (63, 64). AOP dažniausiai gydoma kofeino citratu, kuris stimuliuoja centrinę nervų sistemą ir kvėpavimo raumenų veiklą, bei neinvaziniu kvėpavimo palaikymu, pavyzdžiui, nuolatinio teigiamo slėgio kvėpavimo takuose (CPAP) (64, 65, 66, 70). Taikomos ir kitos gydymo priemonės, pavyzdžiui, „kengūros“ metodas, pozicijos keitimas bei sensorinė stimuliacija, tačiau jos gali būti mažiau veiksmingos (65, 70). Būklė paprastai išnyksta subrendus kvėpavimo sistemai, tačiau nerimą kelia galimos ilgalaikės pasekmės neurologinei raidai (64, 65, 70).

Nors VNN fiziologinės ir kvėpavimo problemos yra išsamiai aprašytos, kai kurios sritys vis dar reikalauja ištirimo. Nėra iki galo išsiaiškinti tikslūs mechanizmai, lemiantys uždelstą plaučių skysčio pasišalinimą ir nepakankamą surfaktanto gamybą VNN atveju. Nors trumpalaikės kvėpavimo komplikacijos yra gerai apibūdintos, mažiau žinoma, kas konkrečiai lemia šias pasekmes, ir tai, kaip geriausiai sumažinti riziką šioje populiacijoje. Todėl, skirdami daugiausiai dėmesio vėlyviesiems neišnešiotiems naujagimiams savo darbe, siekiame stebėti šios grupės plaučių oringumo procesus ir suprasti veiksnius, lemiančius sunkesnę VNN adaptaciją.

## 2.4. Naujagimio plaučių būklės vertinimo ir stebėjimo metodai

Naujagimių, ypač neišnešiotų, plaučių būklės vertinimas yra svarbus diagnozuojant ir gydant kvėpavimo sistemos ligas. Naujagimių plaučių oringumui ir būklei vertinti naudojamos kelios priemonės ir metodai: klinikinis ištyrimas, vaizdiniai metodai, specializuoti kvėpavimo funkcijos tyrimai bei pažangieji stebėsenos metodai.

### 2.4.1. Klinikinio ištyrimo metodai

Klinikinis vertinimas apima fizinę apžiūrą ir klinikinių požymių bei simptomų stebėjimą.

Jam priskiriami:

**Kvėpavimo dažnio ir pastangų monitoravimas.** Skaičiuojamas įkvėpimų skaičius per minutę ir stebima, ar nėra kvėpavimo sutrikimo požymių, tokių kaip nosies sparnelių judėjimas, dejavimas ar krūtinės ląstos retrakcijos.

### 2.4.2. Laboratoriniai metodai

1. **Kraujo dujų analizė.** Arterinio arba kapiliarinio kraujo mėginių analizė deguonies ( $\text{PaO}_2$ ), anglies dvideginio ( $\text{PaCO}_2$ ) kiekiui ir pH nustatyti. Taip gaunama informacija apie dujų apykaitą bei rūgščių ir šarmų būklę.
2. **Pulsoksimetrija.** Neinvaziniu būdu matuojamas arterinio kraujo įsotinimas deguonimi, registruojant dviejų būsėnų hemoglobino santykinį kiekį – deguonį prisijungusio oksihemoglobino ( $\text{HbO}_2$ ) ir bedeguonio hemoglobino (Hb).

### 2.4.3. Vaizdiniai metodai

Vaizdiniai metodai – tai neinvaziniai metodai, kuriais gaunama vizuali informacija apie plaučių struktūrą ir būklę.

1. **Krūtinės ląstos rentgenografija.** Dažniausiai naudojamas naujagimių plaučių vaizdinimo būdas, kuris remiasi koncepcija, jog įvairių kūno audinių tankis yra skirtingas (71). Rentgeno spindulių pluoštas yra elektromagnetinė banga, kuri, nukreipta į pacientą, sugerama skirtingomis proporcijomis priklausomai nuo audinių tankio. Praėjusius pro audinį spindulius sugeria šviesai jautri kasetė ir sukuria po ja esančių kūno audinių vaizdą (72). Krūtinės ląstos rentgenografija padeda nustatyti tokias būkles kaip kvėpavimo sutrikimo sindromas (KSS), pneumonija ir

atelektazė. Rentgenograma gali parodyti plaučių hiperinfliaciją, oro nuotėkius ir kitus struktūrinius pakitimus. Tačiau krūtinės ląstos rentgenogramų vaizdas yra statinis. Plaučių oringumo vertinimą iš krūtinės ląstos rentgenogramų dar labiau apsunkina neinvazinių ir invazinių ventiliacijos būdų įtaka vaizdams (73). Pakartotinį krūtinės ląstos rentgenografijos naudojimą iš esmės riboja neigiamas jonizuojančiosios spinduliuotės poveikis, kuriam, kaip manoma, naujagimiai yra jautresni (74).

2. **Plaučių ultragarsinis tyrimas.** Tai metodas, kai, analizuojant sugeriamas ir atspindimas garso bangas, gaunama informacija apie kūno audinius (75). Istoriskai plaučių ultragarsas nebuvo laikomas naudinga diagnostine priemone, nes dėl plaučiuose esančio oro ultragarso spinduliai visiškai atspindi, todėl atsiranda artefaktų, ir neįmanoma vizualizuoti parenchimos. Tačiau buvo pastebėta, kad šių artefaktų suformuoti šešėliai suteikia svarbios diagnostinės informacijos apie suaugusiųjų ir vaikų plaučių ligas (72). Plaučių ultragarsinis tyrimas yra vis plačiau tyrinėjama priemonė ir daugelyje studijų buvo vertinamas jo naudojimas naujagimiams, sergantiems KSS. Šis tyrimas tampa vis populiariesnis, nes yra saugus ir nėra jonizuojančiosios spinduliuotės poveikio. Šiuo metodu galima aptikti pleuros efuziją, pneumotoraksą ar konsolidaciją, jis naudingas dinamiškai vertinant plaučių būklę (76).
3. **Kompiuterinė tomografija (KT).** Šiuo metodu galima gauti išsamius plaučių struktūros vaizdus, kurie naudingi diagnozuojant sudėtingas būkles, pavyzdžiui, įgimtas plaučių formavimosi ydas. Tačiau KT naudojimas ribotas dėl didesnio jonizuojančiosios spinduliuotės poveikio.

#### 2.4.4. Specializuoti kvėpavimo funkcijos tyrimai

Šie tyrimai suteikia kiekybinių duomenų apie plaučių funkciją ir dažnai naudojami moksliniams tyrimams arba specializuotose klinikinėse įstaigose.

1. **Plaučių funkcijos tyrimai (PFT).** Apima įvairius metodus, pavyzdžiui, įkvėpimo ir iškvėpimo analizę ramaus kvėpavimo metu ir forsuoto iškvėpimo judesius. PFT galima įvertinti plaučių tūrį, oro srautą ir kvėpavimo mechaniką, tačiau jų naudojimas naujagimiams yra ribotas dėl techninių sunkumų (77).
2. **Iškvėpto oro analizė.** Kvėpavimo takų uždegimui įvertinti naudojami tokie metodai kaip iškvėpiamo azoto oksido (eNO) matavimas. Padidėjęs eNO kiekis gali rodyti tebetrunkantį uždegimą ir yra naudingas gydant

- tokias būklės kaip bronchopulmoninė displazija (BPD) (77).
3. **Funkcinės liekamosios talpos (FRC) matavimas.** Matuojama naudojant pletizmografijos arba dujų skiedimo metodus. FRC suteikia informacijos apie plaučių tūrį pasyvaus iškvėpimo pabaigoje, o tai labai svarbu norint suprasti naujagimių plaučių mechaniką (77).
  4. **Kvėpavimo funkcijos monitoravimas.** Naudojamas slėgio keitiklis ir pneumotachografas kvėpavimo takų slėgiui ir dujų srautui per endotrachėjinį vamzdelį matuoti (78). Monitoriaus programinė įranga apskaičiuoja kvėpavimo parametrus, įskaitant kvėpuojamąjį tūrį, kaukės nuotėkį, minutinį tūrį ir maksimalų slėgį. Ši informacija nuolat rodoma monitoriuje, todėl gydytojai gali koreguoti DPV nustatymus. Kvėpavimo funkcijos stebėseną gali būti naudojama jau gimdymo palatoje siekiant nustatyti kvėpuojamąjį tūrį, padėti identifikuoti, ar kvėpuojamasis slėgis nėra per didelis, ir potencialiai sumažinti plaučių pažeidimų galimybę (79).
  5. **Kvėpavimo indukcinė pletizmografija (RIP).** Tai neinvazinė priemonė, kai prie ligonio lovos plaučių oringumas matuojamas registruojant krūtinės ir pilvo apimties pokyčius kvėpavimo metu (80). Tyrimas atliekamas prie naujagimio prisegant du diržus aplink krūtinę ir pilvą. Kvėpavimo metu krūtinės ir pilvo apimties pokyčiai keičia elektrines transduktorių savybes. Šie elektriniai pokyčiai gali būti naudojami kvėpavimo metu atsirandantiems plaučių oringumo svyravimams nustatyti. Kvėpavimo indukcinė pletizmografija buvo naudojama naujagimių, sergančių KSS, kuriems atliekamos laipsniško plaučių įdarbinimo procedūros, slėgio ir tūrio kreivėms sudaryti (81, 82). RIP galima stebėti dinamiškus bendro plaučių oringumo pokyčius. Jos trūkumai yra šie: matavimams turi įtakos plaučių oringumo ir kraujotakos pokyčiai, absoliutiems plaučių oringumo pokyčiams išmatuoti reikia sudėtingo kalibravimo, o įrašams gali turėti įtakos šiluma ir judesiai (77).
  6. **Optoelektrinė pletizmografija (OEP).** Suteikia galimybę dinamiškai įvertinti plaučių oringumą. OEP naudoja kamerą ir atspindinčių žymeklių, uždedamų ant krūtinės ir pilvo, rinkinį, kad būtų galima stebėti judesius trimis matmenimis. Kameros fiksuoja šių žymeklių judėjimą kvėpavimo metu, o duomenys naudojami plaučių tūrio pokyčiams apskaičiuoti (77). Nors OEP įrangos nereikia kalibruoti, jos negalima atlikti naujagimiams, slaugomiems inkubatoriuje, todėl jos klinikinis naudojimas yra ribotas.
  7. **Dujų skiedimo ir išplovimo metodai.** Siekiant nustatyti fazės kontrasto rentgenografijos tikslumą, vertinant naujagimių, sergančių KSS, plaučių oringumą, taikytas helio skiedimo metodas ir nustatyta vidutinė arba stipri šių dviejų priemonių koreliacija (83).

#### 2.4.5. Pažangūs stebėsenos metodai

Naujosios technologijos didina galimybę stebėti naujagimių plaučių būklę realiuoju laiku.

1. **Elektrinio impedanso tomografija (EIT).** Tai neinvazinis, jonizuojančiosios spinduliuotės neskleidžiantis vaizdinis tyrimo metodas, leidžiantis realiuoju laiku, prie ligonio lovos pamatyti oringumo pasiskirstymą plaučiuose bei parinkti kvėpuojamąją terapiją (84). EIT ypač naudinga koreguojant dirbtinės plaučių ventiliacijos parametrus naujagimiams, gydomiems dėl kvėpavimo sutrikimo. Apie EIT veikimo principą ir klinikinį pritaikymą žr. 2.5.1 ir 2.5.2.
2. **Infraraudonųjų spindulių spektroskopija (NIRS).** Naudojama regioninei audinių oksigenacijai ir perfuzijai vertinti. Nors NIRS nėra specifiška tik plaučiams, ji gali suteikti vertingos informacijos apie bendrą kvėpavimo ir kraujotakos būklę. NIRS naudoja artimųjų infraraudonųjų spindulių šviesą deguonimi prisotinto ir deoksigenizuoto hemoglobino absorbcijai audiniuose matuoti, todėl galima nuolat neinvaziniu būdu stebėti audinių oksigenaciją ir kraujotaką (85, 86, 87).
3. **Kapnografija.** Tai iškvepiamo anglies dioksido kiekio matavimas (88). Anglies dioksidas susidaro audiniuose vykstant oksidaciniam metabolizmui ir išsiskiria į kraujotaką (89). Jis difunduoja per alveolių epitelį ir iškvėpimo metu pašalinamas iš organizmo. Todėl iškvėptas anglies dioksidas rodo, kad vyksta veiksminga dujų apykaita. Kapnografija gali būti atliekama naudojant kokybinius arba kiekybinius metodus (88). Kokybinėje kapnografijoje naudojamas kolorimetrinis prietaisas, kuris keičia spalvą, kai iškvepiamas anglies dioksidas pasiekia nustatytą ribą. Kiekybinė kapnografija matuoja anglies dioksido pokytį per tam tikrą laiką ir vaizduoja jį kaip bangos formos grafiką. Plokštuma bangos formos viršuje yra skaitinis iškvėpto anglies dioksido rodiklis (72). Iškvėptas anglies dioksidas gali būti geras pradinio plaučių oringumo iš karto po gimimo rodiklis (90–94).
4. **Fazinio kontrasto rentgenografija (PCXI).** Naudoja rentgeno spindulių lūžį, kad būtų gauta aukštos kokybės vaizdų seka, kuri leidžia vizualizuoti naujagimio plaučių prisipildymą oru po gimimo. Nors šis metodas padeda nustatyti veiksnius, darančius įtaką plaučių oringumui pereinamuoju laikotarpiu, fazinio kontrasto rentgenografijos taikymas yra nepraktiškas klinikinėje aplinkoje (95).

Apibendrinant visus aprašytus metodus, reikia pažymėti, kad naujagimio plaučių oringumo tiesioginiam vertinimui tinkami yra šie: plaučių ultragarsinis tyrimas, elektrinio impedanso tomografija, kvėpavimo indukcinė

pletizmografija, optoelektrinė pletizmografija, fazinio kontrasto rentgenografija (1 lentelė).

1 lentelė. Dažniausiai naudojamų naujagimio plaučių oringumo vertinimo technikų privalumai ir trūkumai (72)

| Kvėpavimo funkcijos monitoravimas | Krūtinės ląstos rentgenografija          | Plaučių echoskopija                                           | Elektrinio impedanso tomografija              | Kvėpavimo indukcinė pletizmografija           | Dujų metodai                         |
|-----------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|
| Tęstinis monitoravimas            | Nebrangi                                 | Nebrangi                                                      | Naudojimas prie ligonio lovos                 | Naudojimas prie ligonio lovos                 | Nereikalinga sedacija                |
| Naudojimas prie ligonio lovos     | Naudojimas prie ligonio lovos            | Nėra jonizuojančiosios spinduliuotės poveikio                 | Nėra jonizuojančiosios spinduliuotės poveikio | Nėra jonizuojančiosios spinduliuotės poveikio | Kiekybiniai matavimai                |
| Iš karto gaunami rezultatai       | Iš karto gaunami rezultatai              | Iš karto gaunami rezultatai                                   | Iš karto gaunami rezultatai                   | Iš karto gaunami rezultatai                   | Nematuoja oro susilaikymo plaučiuose |
| Sudėtinga interpretuoti           | Jonizuojančiosios spinduliuotės poveikis | Naudojimas prie ligonio lovos                                 | Dinaminis vaizdas                             | Dinaminis vaizdas                             | Turi įtakos kaukės nuotėkis          |
|                                   |                                          | Iš karto gaunami rezultatai                                   | Vertinamas regioninis oringumas               | Techninė analizė                              | Neigiamas dujų poveikis              |
|                                   |                                          | Reikia atitinkamos kompetencijos                              | Sudėtinga techninė analizė                    | Jautri karščiui ir judesiui                   | Brangus                              |
|                                   |                                          | Vaizdai gali nepasikeisti po pakaitinės surfaktanto terapijos | Galimi tik skerspjūvio vaizdai                | Turi įtakos kraujotaka                        |                                      |
|                                   |                                          |                                                               | Prastesnė vaizdo skiriamoji geba              | Reikalingas kalibravimas                      |                                      |
|                                   |                                          |                                                               | Reikalingas kalibravimas                      |                                               |                                      |

## 2.5. Elektrinio impedanso tomografija

### 2.5.1. Elektrinio impedanso tomografijos pagrindai

#### 2.5.1.1. EIT veikimo principai

Elektrinio impedanso tomografija (EIT) – tai neinvazinis vaizdinis metodas, kuris, remdamasis matavimais, atliktais ties objekto riba, atkuria šio objekto vidinio laidumo pasiskirstymą. Jis veikia pagal principą, kai per elektrodus, išdėstytus kūno periferijoje, įleidžiama nedidelė elektros srovė ir matuojami susidarę įtampos skirtumai. Šie įtampos matavimai naudojami atvirkštinei užduočiai spręsti, siekiant atkurti vidinio impedanso pasiskirstymą, kuris gali būti siejamas su pagrindine fiziologine ar patologine audinių būkle. Pagrindinė EIT koncepcija grindžiama Omo dėsnio, pagal kurį įtampa ( $V$ ), srovė ( $I$ ) ir varža ( $Z$ ) susiejamos lygtimi  $V = IZ$ . Pritaikius žinomą

srovę ir išmatavus gautas įtampas, galima apskaičiuoti audinio impedansą tarp elektrodų. Impedansas atspindi įvairias audinio savybes, pavyzdžiui, skysčių susikaupimą, uždegimą ar kitus audinio sudėties pokyčius (96).

Vienas iš pagrindinių EIT privalumų yra didelė skiriamoji geba laiko atžvilgiu, leidžianti stebėti fiziologinius procesus realiuoju laiku. Dėl to EIT ypač naudinga tokiose srityse, kaip plaučių oringumo stebėjimas, plaučių embolijos aptikimas ir širdies funkcijos vertinimas. Tačiau EIT erdvinė skiriamoji geba yra maža, palyginti su kitais vaizdo išgavimo būdais, pavyzdžiui, MRT ar kompiuterine tomografija, ir tai riboja jos galimybes atkurti smulkias anatomines detales (97). Apibendrinant reikia pažymėti, kad EIT yra universalus, neinvazinis vaizdinimo metodas, suteikiantis vertingos informacijos apie tiriamojo objekto vidinio impedanso pasiskirstymą. Jo principai pagrįsti pagrindiniais elektros srovės dėsniais ir pažangiu matematiniu modeliavimu, kurie kartu leidžia realiuoju laiku stebėti įvairius fiziologinius procesus. Nepaisant erdvinės skiriamosios gebos apribojimų, EIT dėl didelės skiriamosios gebos laiko atžvilgiu ir neinvazinio pobūdžio yra vertinga vaizdo išgavimo ir stebėsenos priemonė medicinoje.

#### 2.5.1.2. EIT istorinė raida

Elektrinio impedanso tomografijos koncepcija atsirado dar XX a. pradžioje, tačiau reikšminga praktinio pritaikymo pažanga padaryta tik per pastaruosius kelis dešimtmečius. Pirmuosius teorinius EIT pagrindus XIX a. padėjo Hermanas von Helmholtzas, kuris tyrė ryšį tarp elektrinio laidumo ir fiziologinės audinių būklės. Tačiau tik XX a. devintajame dešimtmetyje tai pradėta praktiškai įgyvendinti naudojant EIT. Vienas iš pirmųjų svarbių EIT raidos etapų buvo Šefildo universiteto (Jungtinė Karalystė) 1983 m. įdiegta Sheffield Mark I sistema (Barber ir Brown). Ši sistema buvo skirta medicininiams vaizdams gauti, daugiausia plaučių oringumui stebėti ir krūtinės ląstos impedanso pokyčiams nustatyti. Ši sistema tapo EIT, kaip perspektyvaus klinikinio metodo, pradžia ir paskatino tolesnius šios srities mokslinius tyrimus bei plėtrą (98). Vėlesniais metais, tobulėjant skaičiavimo galiai ir kuriant algoritmus, gerokai patobulėjo EIT vaizdų tikslumas ir skiriamoji geba.

Pastaruoju metu dirbtinio intelekto integravimas į EIT sistemas teikia vilčių dar labiau pagerinti vaizdo rekonstrukciją ir interpretavimą. Tai atvėrė naujų galimybių realiuoju laiku automatizuotai analizuoti EIT duomenis, ypač sudėtingomis klinikinėmis sąlygomis (99, 100). Be technologijų pažangos, taip pat labai išsiplėtė EIT taikymo sritis. Nors iš pradžių daugiausiai dėmesio buvo skiriama plaučių ir širdies stebėsenai, dabar EIT naudojama įvairiose

sirtyse, įskaitant smegenų vaizdavimą, vėžio diagnostiką ir virškinamojo trakto stebėseną (101). Šie įvairūs pritaikymo būdai rodo EIT, kaip diagnostikos priemonės, universalumą ir potencialą. EIT raida pasižymėjo didele technologine ir metodologine pažanga. Nuo ankstyvųjų teorinių pagrindų iki dabartinių galimybių, kai EIT tapo sudėtingu vaizdavimo metodu, EIT vystėsi nuolat tobulinant techninę įrangą, algoritmus ir taikomas programas. Šiuo metu atliekami moksliniai tyrimai, kuriais siekiama pagerinti metodo tikslumą, skiriamąją gebą ir klinikinį pritaikymą.

## 2.5.2. EIT klinikinis pritaikymas

### 2.5.2.1. Plaučių oringumo vertinimas

Šiuo neinvaziniu metodu matuojamas elektrinio laidumo pasiskirstymas krūtinės ąštoje, kuris kinta priklausomai nuo oro kiekio plaučiuose. Dėl EIT gebėjimo dinamiškai vizualizuoti plaučių oringumą jis tapo ypač naudingas gydant pacientus, sergančius ūminiu kvėpavimo sutrikimo sindromu, lėtine obstrukcine plaučių liga (LOPL) bei stebint plaučių būklę mechaninės ventiliacijos metu (101, 102, 103, 104). EIT parodė didelį potencialą vertinant plaučių oringumo heterogeniškumą erdvės ir laiko atžvilgiu. Vogt ir bendraautoriai nustatė, kad EIT gali įvertinti oringumo heterogeniškumą plaučių funkcijos tyrimų metu, atskirti sveikus asmenis nuo pacientų, sergančių lėtine obstrukcine plaučių liga (LOPL), pagal regioninių plaučių oringumo parametrų variacijos koeficientus (105). Viena iš pagrindinių klinikinių EIT taikymo vertinti plaučių oringumą galimybių yra mechanškai ventiliuojamų pacientų regioninio plaučių oringumo stebėjimas. Tai labai svarbu siekiant optimizuoti DPV nustatymus, kad būtų išvengta ventiliacijos sukulto plaučių pažeidimo (VILI). Tyrimų duomenimis, EIT gali nustatyti regioninius plaučių oringumo skirtumus ir identifikuoti plaučių sritis, kurios yra per daug išsiplėtusios arba subliuškusios. Ši informacija gali padėti gydytojams koreguoti DPV nustatymus, siekiant pagerinti oksigenaciją ir sumažinti VILI riziką (103, 104). Pavyzdžiui, Frerichs ir bendraautoriai nustatė, kad EIT galima nuolat stebėti regioninį plaučių oringumą ir aptikti plaučių tūrio pokyčius esant didelei skenavimo spartai, o tai ypač naudinga norint realiuoju laiku koreguoti ventiliacijos parametrus. EIT taip pat buvo naudinga vertinant terapinių intervencijų, tokių kaip plaučių atvėrimo manevrai, kniūbsčia paciento padėtis ir PEEP poveikį. Plaučių atvėrimo manevrais siekiama iš naujo atverti subliuškusias alveoles, o EIT gali suteikti tiesioginį grįžtamąjį ryšį apie šių manevrų veiksmingumą vizualizuodama plaučių oringumo pokyčius. Tai leidžia taikyti individualų požiūrį į

ventiliacijos valdymą, užtikrinant, kad plaučių ventiliacijos manevrai būtų veiksmingi ir saugūs (101). Be to, EIT gali būti naudojama įvertinti pacientų, sergančių vienos pusės plaučių ligomis arba po chirurginių procedūrų, pavyzdžiui, lobektomijos, oringumo pasiskirstymą. Pateikdama išsamų plaučių oringumo žemėlapi, EIT padeda nustatyti likusio plaučių audinio funkcinę būklę ir planuoti pooperacinę priežiūrą. Šis taikymas ypač aktualus pacientams, kuriems atliekamos krūtinės ląstos operacijos, kai labai svarbu išsaugoti plaučių funkciją (106). EIT gali būti tinkamas metodas plaučių arterijos trombembolijai diagnozuoti prie ligonio lovos ir ją valdyti. Grassi ir bendraautorai nustatė, kad EIT gali veiksmingai įvertinti oringumo ir perfuzijos neatitiktį realiuoju laiku ir padėti diagnozuoti bei valdyti plaučių arterijos trombemboliją intensyviosios terapijos sąlygomis (107, 108). EIT taip pat taikoma naujagimių ir vaikų populiacijai. Naujagimiams ir kūdikiams, patiriantiems kvėpavimo sutrikimų, EIT gali būti naudingas neinvazivus tyrimas, užtikrinantis nuolatinę stebėseną be jonizuojančiosios spinduliuotės keliamo pavojaus. Naujagimių intensyviosios terapijos skyriuose atlikti tyrimai parodė, kad EIT gali būti naudojama neišnešiotų naujagimių, kuriems pasireiškė kvėpavimo sutrikimo sindromas, plaučių oringumui stebėti, o tai padeda nuspręsti dėl surfaktanto terapijos bei ventiliacijos palaikymo priemonių (4, 8). Kiekybiškai vertindama plaučių oringumą, EIT suteikia keletą svarbių rodiklių. Vienas iš tokių rodiklių yra visuotinis nehomogeniškumo indeksas (angl. *Global Inhomogeneity Index, GI Index*), kuriuo kiekybiškai įvertinamas oringumo pasiskirstymo plaučiuose laipsnis. Didesnės GI reikšmės rodo labiau netolygų oringumą, o tai gali būti galimo plaučių pažeidimo arba neveiksmingos ventiliacijos strategijos požymis. Stebėdami šiuos rodiklius laikui bėgant, gydytojai gali įvertinti skirtingų DPV nustatymų ir intervencijų poveikį plaučių oringumui (109). Nepaisant EIT privalumų, klinikinis EIT taikymas turi tam tikrų iššūkių. EIT duomenims interpretuoti reikia specialaus pasirengimo ir patirties, be to, svarbu standartizuoti duomenų gavimo ir analizės protokolus. Nors EIT užtikrina puikią skiriamąją gebą laiko atžvilgiu, jos erdvinė skiriamoji geba yra ribota, palyginti su kitais vaizdavimo būdais, pavyzdžiui, kompiuterine tomografija ar magnetiniu rezonansu.

#### 2.5.2.2. Plaučių kraujotakos vertinimas

EIT naudoja elektrinio impedanso pokyčius realiuoju laiku vaizdams generuoti ir taip palengvina plaučių kraujotakos bei ventiliacijos – perfuzijos (V/Q) santykio vizualizaciją. EIT klinikinis pritaikomumas vertinant plaučių perfuziją grindžiamas metodo privalumais, įskaitant galimybę naudoti prie

ligonio lovos, jonizuojančiosios spinduliuotės nebuvimą ir galimybę užtikrinti nuolatinę stebėseną. EIT galimybės vertinant plaučių perfuziją pirmą kartą buvo ištirtos siekiant išmatuoti kraujo tūrio plaučiuose pokyčius. Pavyzdžiui, Noordegraaf ir bendraautorai įrodė, kad EIT būdu galima veiksmingai matuoti plaučių perfuziją analizuojant impedanso pokyčius, atitinkančius širdies ciklo sistolinę ir diastolinę fazes (110). Tolesni tyrimai patvirtino, kad EIT signalams daugiausiai turi įtakos plaučių mikrokraujagyslių klodo dydis, o ne smūginis tūris, ir tai pabrėžia EIT specifiškumą plaučių kraujotakai (111).

Klinikinis EIT taikymas labai išsiplėtė, ypač kritinės būklės pacientams, kuriems labai svarbu realiuoju laiku stebėti plaučių perfuziją. Cui ir bendraautorai pabrėžė EIT naudingumą gydant sunkiai sergančius pacientus. Ji leidžia įvertinti tokias būkles kaip ūminis kvėpavimo sutrikimo sindromas (ARDS) ir plaučių embolija, nesant būtinybės transportuoti pacientą ar atlikti tyrimą su jonizuojančiąja spinduliuote (112). Be to, Xu ir bendraautorai nustatė, kad EIT galima taikyti vertinant terapinių intervencijų, pavyzdžiui, teigiamo slėgio iškvėpimo pabaigoje (PEEP), poveikį regioniniam V/Q santykiui ARDS sergantiems pacientams (113).

EIT lyginamasis veiksmingumas vertinant plaučių perfuziją buvo patvirtintas lyginant su labiau įprastais vaizdinimo būdais, tokiais kaip vienfotoninė emisijos kompiuterinė tomografija (SPECT) ir pozitronų emisijos tomografija (PET). Borges ir bendraautorai patvirtino, kad EIT gauti perfuzijos matavimai labai koreliuoja su SPECT metodu gautais matavimais, o tai patvirtina EIT diagnostinį tikslumą įvairių plaučių ligų atveju (114). Be to, Bluth ir bendraautorai įrodė, kad EIT būdu galima patikimai stebėti plaučių perfuzijos pokyčius, o efektyvumo rodikliai prilygsta PET rodikliams (115).

Kadangi EIT erdvinė skiriamoji geba yra mažesnė, palyginti su kitais vaizdinimo metodais, jos jautrumas nustatant nedidelius perfuzijos defektus gali būti ribotas (116). Be to, perfuzijos impedanso signalo amplitudė dažnai būna daug mažesnė nei ventiliacijos, todėl, norint tiksliai atskirti šiuos du signalus, reikia taikyti pažangius signalų apdorojimo metodus (117). Tačiau nuolatinė EIT technologijų ir signalų apdorojimo algoritmų pažanga toliau didina jos klinikinį pritaikymą ir patikimumą (118).

#### 2.5.2.3. Kitas EIT klinikinis pritaikymas

Nors EIT daugiausia buvo taikoma plaučių ir širdies stebėsenai, jos klinikinis potencialas yra didelis, o pritaikomumas apima ir kitų organų (krūčių, virškinamojo trakto, smegenų, kepenų, inkstų bei reprodukcinių sistemos) ištyrimą.

#### 2.5.2.4. EIT prietaisai

2 lentelė. EIT prietaisai, jų savybės ir pritaikomumas.

| Prietaisas                | Šalis              | Pritaikomumas                                                        | Pagrindinės savybės                                     |
|---------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| „Sheffield Mark 1“        | Jungtinė Karalystė | Plaučių ir širdies funkcijos tyrimai                                 | Ankstyvoji eksperimentinė sistema                       |
| „Draeger Pulmo Vista 500“ | Vokietija          | ARDS sergančių pacientų stebėjimas intensyviosios terapijos skyriuje | Klinikinis plaučių oringumas ir perfuzija               |
| „Enfield Model“           | JAV                | Naujagimių kvėpavimo stebėsena                                       | Neišnešiotų naujagimių plaučių vystymasis               |
| GOE-MF II                 | Kinija             | Krūties vėžio nustatymas, smegenų veikla                             | Neinvazinė kelių dažnių EIT                             |
| „Swisstom BB2“            | Šveicarija         | Krūtinės ląstos ir pilvo organų stebėsena                            | Nešiojamas, realiuoju laiku atliekamas vaizdavimas      |
| IBEX EIT                  | Japonija           | Plaučių embolijos nustatymas                                         | Pažangus vaizdo atkūrimas                               |
| CHEST EIT                 | Kanada             | Širdies veiklos ir kraujotakos stebėsena                             | Hemodinamikos valdymas chirurgijoje                     |
| SMART-EIT                 | Indija             | Ankstyvas patologinių būklių nustatymas                              | Belaidis duomenų perdavimas                             |
| „Enlight 2100“            | Brazilija          | Plaučių oringumo ir perfuzijos stebėsena                             | Patogus naudoti, realiuoju laiku atliekamas vaizdavimas |

#### 2.5.3. Naujagimių plaučių vertinimas EIT

##### 2.5.3.1. Plaučių audinio elektrinės savybės

EIT remiasi plaučių audinio elektrinėmis savybėmis ir realiuoju laiku sukuria oringumo pasiskirstymo vaizdus, todėl yra ypač naudinga naujagimių kvėpavimo būklei stebėti. Šiame skyriuje nagrinėjamos plaučių audinio elektrinės savybės, kuriomis grindžiamas EIT funkcionalumas, ir pateikiamas klinikinio jos taikymo mokslinis pagrindas. Pagrindinis EIT principas yra elektrinės varžos pokyčių plaučių audinyje matavimas. Impedansas apibrėžiamas kaip pasipriešinimas kintamosios srovės srautui, kuris skirtingų audinių tipų labai skiriasi, atsižvelgiant į jų vidines elektrines savybes (119). Plaučių audinys, sudarytas daugiausia iš oro ir skysčio pripildytų alveolių, pasižymi dideliu impedanso kintamumu, atitinkančiu kvėpavimo ciklo fazes. Įkvėpimo metu oro pripildytos alveolės sumažina bendrąjį impedansą, o

išskvepiant, kai skysčių kiekis, palyginti su oru, yra didesnis, impedansas padidėja (4). Šis impedanso pokytis yra labai svarbus EIT, nes leidžia atskirti ventiliuojamas ir neventiliuojamas plaučių sritis. Krūtinės ląstoje esančiais elektrodais matuojami impedanso pokyčiai, kurie vėliau naudojami plaučių skerspjūvio vaizdams atkurti. EIT tikslumas atspindint tikruosius fiziologinius plaučių oringumo pokyčius patvirtintas daugybe tyrimų, kurie pagrindė jo pritaikymo naujagimių priežiūrai galimybes (120).

Plaučių audinio elektrinėms savybėms turi įtakos įvairūs veiksniai, įskaitant surfaktanto gamybą, audinių hidrataciją ir patologines būkles, pavyzdžiui, plaučių edemą ar atelektazę. Surfaktantas, alveolių ląstelių gaminamas lipidų ir baltymų kompleksas, mažina alveolių paviršiaus įtempimą ir yra labai svarbus plaučių stabilumui ir paslankumui palaikyti. Jis turi tiesioginę įtaką EIT užfiksuotoms impedanso vertėms, nes sveiki plaučiai, kuriuose yra daug surfaktanto, įkvėpimo metu pasižymi mažesniu impedansu, palyginti su sergančiais ar surfaktanto stokojančiais plaučiais (101).

Hidratacijos lygis plaučių audinyje taip pat atlieka svarbų vaidmenį moduliuojant elektrinį impedansą. Dėl padidėjusio skysčių kiekio, kuris būna, pavyzdžiui, plaučių edemos atveju, išmatuojamas didesnis impedansas. Dėl šio ryšio EIT gali būti ypač naudinga nustatant ir stebint su skysčiais susijusias naujagimių plaučių komplikacijas bei suteikti svarbios informacijos, siekiant laiku imtis gydomųjų veiksmų (121).

Patologinės sąlygos dar labiau keičia plaučių audinio impedanso charakteristikas. Pavyzdžiui, atelektazė, kuriai būdinga suardytos ir neventiliuojamos alveolės, labai padidina impedansą. Šį pokytį galima aptikti naudojant EIT, todėl gydytojai gali nustatyti plaučių kolapsą ir skirti atitinkamą kvėpuojamąją terapiją (122).

#### 2.5.3.2. Naujagimio plaučių adaptacijos vertinimas pasitelkus EIT

Elektrinio impedanso tomografija (EIT) tapo svarbiu neinvaziniu naujagimių plaučių oringumo stebėjimo metodu, leidžiančiu gauti vertingų įžvalgų apie naujagimių plaučių adaptaciją po gimimo. EIT veikia pagal principą, kai per elektrodus, prijungtus prie krūtinės ląstos, leidžiama nedidelė elektros srovė ir matuojamas susidaręs įtampos skirtumas. Šie matavimai leidžia realiuoju laiku atkurti vaizdus, atspindinčius impedanso pokyčius plaučių audiniuose, kurie koreliuoja su oringumo ir perfuzijos dinamika (123). Tai ypač naudinga naujagimiams, kurių plaučiuose vyksta greitai fiziologiniai pokyčiai, kai jie prisitaiko prie ekstrauterinės aplinkos. Ankstyvasis adaptacinis laikotarpis apima vaisiaus plaučių skysčio pašalinimą, nuolatinio kvėpavimo aplinkos oru pradžią ir stabilios funkcinės liekamosios talpos

susiformavimą. Tiksliai šių pokyčių stebėseną yra gyvybiškai svarbi dėl galimybės laiku imtis intervencinių priemonių, ypač neišnešiotiems naujagimiams arba tiems, kurie turi kvėpavimo sutrikimų. EIT užtikrina nuolatinę stebėseną prie ligonio lovos, todėl yra geresnis pasirinkimas naujagimių plaučių oringumui vertinti, palyginti su tradiciniais vaizdavimo metodais, tokiais kaip krūtinės ląstos rentgenograma ar kompiuterinė tomografija, kurie ne tik atliekami su pertraukomis, bet ir kelia pavojų dėl jonizuojančiosios spinduliuotės poveikio. Keliuose tyrimuose pabrėžiama EIT nauda vertinant naujagimių plaučių oringumą ir oringumo pasiskirstymą. Pavyzdžiui, EIT buvo naudojama sulėtėjusiam plaučių skysčio pašalinimui nustatyti bei regioniniam ventiliacijos ir perfuzijos santykiui stebėti, o tai yra svarbu identifikuojant naujagimius, kuriems gresia kvėpavimo takų komplikacijos (124). Analizuodami EIT vaizdus, gydytojai gali stebėti dinamiškus plaučių impedanso pokyčius, taip įvertinti gydymo surfaktantu ar mechanine plaučių ventiliacija veiksmingumą (125, 126).

#### 2.5.3.3. EIT pritaikymas naujagimių plaučių ligų diagnostikai ir jų būklei stebėti

EIT pritaikymas ypač naudingas pažeidžiamiems naujagimiams, sergantiems įvairiomis plaučių ligomis, nes realiuoju laiku atliekamas funkcinis vaizdavimas, kuris pranoksta tradicinius statinius metodus.

Naujagimių kvėpavimo sutrikimo sindromo (KSS) atveju EIT pasirodė esanti neįkainojama priemonė. Ji palengvina išsamią plaučių oringumo ir regioninio oringumo modelių stebėseną, kuri yra labai svarbi šiai būklei valdyti. Van Kaam ir bendraautoriai, naudodami EIT, nustatė neišnešiotų naujagimių, sergančių KSS, iškvėpimo pabaigos modelius ir aptiko didelę regioninę plaučių histerezę DDOV metu. Šis tyrimas išryškino plaučių iškvėpimo pabaigos tūrio (angl. *end-expiratory lung volume*, EELV) pokyčių skirtingose plaučių srityse kintamumą, kuris skiriasi nuo suaugusiųjų KSS modelių (127). EIT padėjo nustatyti, kad, skiriant surfaktantą neišnešiotiems naujagimiams, sergantiems KSS, kuriems taikoma DDOV, greitai padidėja ir vėliau stabilizuojasi plaučių tūris, ypač priklausomose plaučių srityse (128, 129). EIT taip pat buvo naudojama atliekant laipsniškus plaučių atvėrimo manevrus, taikant teigiamą slėgį iškvėpimo pabaigoje, siekiant klasifikuoti plaučių sritis kaip atelektatines, perteklines ar normaliai ventiliuojamas, pabrėžiant būtinybę visiškai atverti užpakalines atelektatines sritis, kad būtų užtikrintas optimalus plaučių oringumas ir dujų apykaita. Be to, jau seniai nustatyta, kad EIT gali būti naudojama sergančio naujagimio plaučių oringumui stebėti (130). EIT parodė, kad sinchronizuotos mechaninės

ventiliacijos metu yra didelis regioninis kvėpavimo tūrio pasiskirstymo kintamumas, o tai patvirtina metodo naudingumą stebint oringumo netolygumą (131).

EIT taip pat naudinga diagnozuojant ir gydant naujagimių pneumotoraksą. Ji gali nustatyti pneumotorakso pradžią ir tikslią vietą realiuoju laiku, dažnai anksčiau, nei išryškėja klinikiniai požymiai. Toks ankstyvas aptikimas leidžia skubiai įsiterpti ir sumažinti sunkių komplikacijų riziką. EIT taip pat gali atskirti pneumotoraksą nuo kitų būklių, pavyzdžiui, atelektazės, stebint plaučių iškvėpimo pabaigos tūrio pokyčius (EELV), kai pneumotoraksas rodo didesnę EELV nei atelektazę (14, 132, 133). Ši galimybė labai padidina gydytojo galimybes nustatyti tikslią diagnozę ir laiku skirti gydymą.

Bronchopulmoninė displazija (BPD) yra lėtinė neišnešiotų naujagimių plaučių liga, dėl kurios reikia kruopščiai stebėti plaučių oringumą ir jo tolygumą. Įrodyta, kad EIT veiksmingai padeda įvertinti neinvazinių ventiliacijos metodų, tokių kaip nuolatinis teigiamas slėgis kvėpavimo takuose per nosies kaniules (nCPAP), poveikį šiems naujagimiams. Tyrimai, atlikti naudojant EIT, parodė, kad nCPAP lemia tolygų EELV padidėjimą, o tai labai svarbu BPD valdyti ir prevencijai. Be to, EIT padeda stebėti regioninio oringumo pokyčius ir optimizuoti ventiliacijos nustatymus, o tai labai svarbu siekiant sumažinti BPD progresavimo riziką (134).

Naujagimiams, kuriems reikalinga dirbtinė plaučių ventiliacija, svarbu tinkamai nustatyti endotrachėjinio vamzdelio (ETT) padėtį. EIT yra patikimas ETT padėties nustatymo metodas, užtikrinantis, kad vamzdelis būtų teisingai įkištas į trachėją. Ši galimybė sumažina su ventiliacija susijusių komplikacijų riziką ir pagerina bendrą kvėpavimo valdymą. EIT taip pat buvo naudojama ETT atsiurbimo įtakai plaučių tūriui įvertinti ir parodė, kad nors dėl atsiurbimo plaučių tūris trumpam sumažėja, vėliau jis padidėja, o EIT būdu gali būti veiksmingai monitoruojamas (135).

Didelio dažnio osciliuojanti ventiliacija (DDOV) yra apsauginė ventiliacijos strategija, dažnai taikoma naujagimiams, sergantiems sunkiomis plaučių ligomis. EIT pasirodė esanti naudinga vertinant DDOV, nes leidžia gauti išsamius plaučių tūrio pokyčių ir regioninio oringumo pasiskirstymo vaizdus. Ši informacija yra svarbi optimizuojant DDOV nustatymus ir gerinant naujagimių, sergančių ūminėmis kvėpavimo takų ligomis, dujų apykaitą (127, 129). EIT teikia galimybę nuolat stebėti šiuos nustatymus, ventiliacijos parametrus pritaikyti prie naujagimio poreikių, taip sumažinti plaučių pažeidimo riziką.

#### 2.5.3.4. Klinikinis praktinis EIT pritaikymas naujagimių populiacijai

Pasitelkus EIT realiuoju laiku gaunami vaizdai prie naujagimio lovos, todėl galima nuolat stebėti plaučių oringumą nejudinant naujagimio, o tai yra ypač svarbu esant tam tikroms naujagimio plaučių būklėms (84). Tai ypač aktualu naujagimių intensyviosios terapijos skyriuje (NITS). EIT yra saugus, kompaktiškas ir neinvazinis metodas, o kadangi nėra žalingos jonizuojančiosios spinduliuotės, jis idealiai tinka pakartotinai naudoti pažeidžiamoms pacientų grupėms, pavyzdžiui, neišnešiotiems ir kritiškai sergantiems naujagimiams bei jų tęstiniam stebėjimui (4). EIT naudojama tekstilinė elektrodų sąsaja sukurta taip, kad ją būtų galima lengvai ir greitai pritaikyti naujagimiams, užtikrinti stabilius matavimus ir kuo mažesnę diskomfortą (84). Prietaisas leidžia atlikti atkuriamus plaučių oringumo matavimus, o tai labai svarbu patikimam stebėjimui ir vertinimui klinikinėje aplinkoje (136). Be to, EIT yra pigus metodas, palyginti su kitais vaizdinimo būdais, todėl jį galima rutiniškai taikyti naujagimių intensyviosios terapijos skyriuose (120).

#### 2.5.3.5. „Swisstom BB2“ veikimo principas

„Swisstom BB2“ prietaisas buvo specialiai sukurtas intensyviosios terapijos skyriaus pacientų plaučių oringumui stebėti. „SensorBelt“ integruoti 32 aktyvūs elektrodai matuoja kvėpavimo rodiklius įvairiose plaučių srityse ir nuolat konvertuoja gautus duomenis į nepertraukiamus vaizdus. Per šiuos elektrodus tiekiamos silpnos kintamosios srovės, kurios per kūną keliauja mažiausios elektrinės varžos keliais ir sukuria elektrinius potencialus kūno paviršiuje. Potencialai matuojami elektrodais ir paverčiami vaizdais, rodančiais elektrinio impedanso pasiskirstymą kūne. Kadangi elektrinio impedanso pasiskirstymą keičia oringumas ir hemodinamika, EIT vaizdai leidžia nepertraukiamai vizualizuoti plaučių ir širdies funkciją per visą parą. Gydytojai turi galimybę stebėti plaučius kvėpavimo metu prisijungę prie interneto tinklo, realiuoju laiku ir spalvotai. Gauti vaizdai suteikia svarbią informaciją, anksčiau ji buvo neprieinama. Skirtingai nei tradiciniai vaizdavimo metodai medicinoje (pvz., kompiuterinė tomografija arba rentgenograma), EIT vaizdai yra prieinami prie ligonio lovos ir kuriami nenutrūkstamai. „Swisstom BB2“ įdiegtas naujas EIT informacijos pateikimo metodas, kuriuo skaičiuojami plaučių oringumo parametrai, pavyzdžiui, regioninio kvėpuojamojo tūrio pokytis, ir su juo susijusi santykinė įtemptis. „Swisstom BB2“ ši informacija pateikiama atsižvelgiant į plaučių ir širdies padėtį krūtinės ląstoje, naudojant vaizdų sintezės technologiją. „Swisstom

BB2“ naudotojo sąsaja turi tris vaizdus: *ScoutView*, *VentView* ir *LuFuView*. Visuose vaizduose galima stebėti paciento padėtį. Paciento padėtis yra esminė vertinant plaučių kolapsą, todėl ji yra svarbi „Swisstom BB2“ dalis. *ScoutView* naudotojui pateikiama bendrų paciento duomenų apžvalga ir stebėsenos kokybės rodikliai. *ScoutView* taip pat rodo, ar diržo elektrodai turi pakankamą elektrinį kontaktą su paciento oda. Pritaikęs individualų, pacientui tinkamo dydžio „SensorBelt“ diržą, naudotojas ekrane esančiu skaičių rinkikliu įveda ūgį, svorį ir lytį. Pagal šiuos įvestus duomenis „Swisstom BB2“ automatiškai parenka krūtinės ląstos ir plaučių etaloninius kontūrus, geriausiai atitinkančius konkretų pacientą. Tada „Swisstom BB2“ ekrane parodo kvėpuojančius plaučius pagal šiuos kontūrus. *VentView* nuolat ir realiuoju laiku rodo plaučių oringumo laipsnį kvėpavimo metu. Atsižvelgdamas į plaučių kontūrus, naudotojas gali iš karto atpažinti plaučių zonas, kuriose oringumas yra sumažėjęs arba jo apskritai nėra. *LuFuView* rodo kiekvieno kvėpavimo ciklo parametrus, kurie apskaičiuojami ir atnaujinami po kiekvieno naujo įkvėpimo. Unikalus būdas, kuriuo apskaičiuojami ir rodomi plaučių oringumo rodikliai, leidžia naudotojui vizualiai nustatyti sveiko plaučio ir patologijos dėsningumus. Šalia erdvinio pasiskirstymo pateikiamas kiekvieno parametro išraiškos dažnis histograma, kad būtų galima atlikti išsamią analizę. Skirtingai nuo kitų technologijų, „Swisstom“ ant odos tvirtinami elektrodai leidžia gauti vaizdus, kuriems beveik neturi įtakos laidai ir artefaktai, atsirandantys judant laidams. Be to, antrasis matavimo kanalas monitoruoja kiekvieno elektrodo veikimą. Jei tam tikras elektrodas praranda kontaktą su oda, „Swisstom BB2“ identifikuoja šį elektrodą, pašalina jį iš matavimo grandinės ir kompensuoja jo pašalinimą. Taip gaunami itin patikimi ir stabilūs matavimai (137).

#### 2.5.3.6. EIT trūkumai

Elektrinio impedanso tomografija (EIT) turi keletą trūkumų. Vienas iš svarbių ribojimų yra didelis naujagimių odos impedansas, kuris apsunkina kontaktą su elektrodais ir jų stabilumą. Naujagimių oda, kitaip nei suaugusiųjų oda, yra jautresnė ir mažiau laidus, todėl padidėja kontaktinė varža, ir dėl ilgo elektrodų naudojimo gali atsirasti diskomfortas (138). Be to, dėl mažo naujagimių dydžio ir trapumo kyla sunkumų užtikrinti tikslų ir nuoseklų elektrodų išdėstymą, kuris yra būtinas patikimiems EIT matavimams (84).

Kita svarbi problema – maža EIT erdvinė skiriamoji geba, kuri turi įtakos gaunamų vaizdų aiškumui ir tikslumui. Tokia maža skiriamoji geba yra ypač problemiška naujagimiams, kurių būklei tiksliai diagnozuoti ir stebėsenai būtinas detalus vaizdas (139). Be to, EIT yra jautri judesiams ir

triukšmui, kurie gali iškraipyti vaizdus. Naujagimių intensyviosios terapijos skyriuose (NITS) išlaikyti stabilią ir be artefaktų EIT aplinką yra sudėtinga dėl dažnai naujagimiams atliekamų procedūrų ir judinimo (140).

Be to, abejojama naujagimiams atliekamos EIT rezultatų atkuriamumu dėl elektrodų ir odos kontakto kintamumo bei odos ir audinių savybių įtakos. Dėl šio kintamumo matavimai gali būti nenuoseklūs, o tai sumažina EIT klinikinį naudingumą (136). EIT taikymą naujagimių skyriuje ar NITS dar labiau apsunkina būtinybė dažnai perkalibruoti prietaisą ir atidžiai stebėti elektrodų išdėstymą (141).

Dar nėra susitarta, kokius EIT parametrus reikia rodyti prie ligonio lovos ir kokių formatu.

Tam, kad būtų galima sukurti komercines sistemas, kurios būtų plačiai ir prasmingai naudojamos, reikia išspręsti tokius esminius klausimus, kaip antai, naudoti absoliučius ar santykinius vaizdus ir kokius (pvz., oringumo ar perfuzijos), ir kaip mokyti gydytojus interpretuoti EIT vaizdus (101).

#### 2.5.4. EIT vaidmuo parenkant tausojamąjį gydymą ankstyvuoju naujagimio adaptacijos laikotarpiu

##### 2.5.4.1. Plaučių monitoravimas realiuoju laiku ir sprendimo priėmimas

Norint, kad EIT atliktų reikšmingą vaidmenį vaikų ir naujagimių kritinių būklių ir kvėpavimo sistemos priežiūros srityje, būtina, kad EIT būtų naudojama klinikinėje praktikoje ir kad būtų įrodyta, jog ji yra naudinga gydymo rezultatams. Tyrimai, kuriais siekiama įrodyti EIT naudą kreipiant gydymą tinkama linkme (142, 143, 144) arba nustatant, ar reikia keisti gydymo planą (145, 146), apsiribojo gyvūnų modelių tyrimais. Siūlomi klinikiniai EIT vaidmenys gali būti slėgio parinkimas dirbtinės plaučių ventiliacijos metu, klinikinės plaučių būklės stebėjimas gydymo metu arba komplikacijų diagnozavimas (101).

##### 2.5.4.2. Kvėpuojamosios terapijos optimizavimas

Vienas iš pagrindinių neišnešiotų naujagimių kvėpavimo palaikymo būdų yra CPAP terapija per nosies kaniules, kuris naujagimiams naudingas tuo, kad jie naudoja mažiau pastangų kvėpuodami, būna mažiau paradoksalaus kvėpavimo ir apnėjų, taip pat pagerėja dujų apykaita (147, 148). Nepaisant to, kad vis daugiau neišnešiotų naujagimių KSS gydymui naudojamas nCPAP, daugeliui jų vis dar prireikia invazinės plaučių

ventiliacijos. Vertinant bronchopulmoninę displaziją labai svarbu įvertinti globalaus oringumo netolygumą. Miedema ir bendraautorii ištirti naujagimių iškvėpimo pabaigos plaučių tūrio (EELV) pokyčiai, naudojant nCPAP, įrodė tolygų EELV padidėjimą taikant šią kvėpuojamąją terapiją neišnešiotiems naujagimiams. Tai labai svarbu, nes turime tyrimų duomenų, kurie neparodė aiškios ankstyvosios nCPAP naudos, palyginti su dirbtine plaučių ventiliacija. Šiame tyrime regioniniams EELV pokyčiams stebėti buvo naudojama EIT (134). Apsauginės paskirties ventiliacijos režimai taip pat tiriami šiuo metodu (131). Be to, EIT buvo vertinama didelio dažnio osciliacinė ventiliacija (DDOV) – plaučius tausojantis ventiliacijos režimas (129).

#### 2.5.4.3. Skirtingų kūno padėčių įtaka naujagimių plaučių oringumui

Frerichs ir bendraatoriai pasitelkę EIT tyrė kūno padėties poveikį neišnešiotiems naujagimiams, neturintiems kvėpavimo takų ligų. Jų siekis buvo nustatyti neišnešiotų naujagimių, neturinčių plaučių ligų, kvėpavimo pobūdį ir padėtis, susijusias su erdvinio oringumo pasiskirstymu. Tyrėjai nustatė reikšmingą jų ryšį, o tai rodo, kad EIT galima lengvai nustatyti regioninį oringumą (149). Hough ir bendraatoriai tyrė skirtingas ventiliuojamų neišnešiotų naujagimių padėtis ir nustatė, kad kūno padėties pakeitimas palengvina plaučių oringumo gerėjimą (150). Hough ir bendraatoriai taip pat nustatė, kad ventiliuojamiems naujagimiams būdingas gerokai didesnis oringumo netolygumas nei sveikiems naujagimiams, kuris nepriklauso nuo gravitacijos, bet atitinka anatominį dėsnį. Gulint ant nugaros ir gulint ant šono, gravitacija turėjo mažai įtakos tiek ventiliuojamų, tiek spontaniškai kvėpuojančių naujagimių regioniniam oringumo pasiskirstymui. Tačiau deguonies įsotinimas nuo padėties pakeitimo nepagerėjo (151). Kniūbsčia padėtis kartu su nCPAP dažnai taikoma po ekstubacijos. Van der Burg ir bendraatoriai stebėjo EELV ir kvėpuojamojo tūrio (TV) skirtumus naudojant EIT ir įrodė, kad naujagimiai galėjo išlaikyti savo EELV ir padidinti TV pereinant į neinvazinės ventiliacijos režimą, būdami kniūbsčioje padėtyje (152). Tai pastebėta ir gyvūnų tyrime ventiliuojamam naujagimiui paršeliui, kai PEEP titravimas padėtyje ant šono lėmė geresnius oksigenacijos ir oringumo rodiklius plaučių pažeidimo modelyje, o EIT stebėseną galėjo padėti nustatyti optimalų PEEP (153).

#### 2.5.4.4. Plaučių atvėrimo manevrai

Nepertraukiamo didesnio slėgio įpūtimas (angl. *Sustained Inflation*, SI) – tai slėgio, viršijančio teigiamo slėgio iškvėpimo pabaigoje (PEEP)

vertes, taikymas, siekiant atverti alveoles plaučiuose, o vėliau taikomas įprastinis PEEP (154, 155). Tingay ir bendraautorai tyrė įvairias SI strategijas naudodami gyvūnų modelį, kuriame jie keitė įpūtimo laiką, siekdami suprasti šio modelio tūrio atsaką naudojant EIT. Naudodami šį gyvūnų modelį jie įrodė, kad standartiniai SI protokolai, pagrįsti fiksuotu laiku ir slėgiu, ne visada gali būti naudingi arba gali būti net žalingi. Šiuo atveju EIT yra tinkama priemonė, leidžianti įvertinti galimą naujų ventilacijos metodų naudą ar žalą (156). Kituose to paties autoriaus pateiktuose gyvūnų modeliuose buvo tiriama surfaktanto būklės gimimo metu įtaka SI gebėjimui pagerinti plaučių oringumą, funkcinės liekamosios talpos (FRC) ir oringumo tolygumo nustatymą bei vėlesnę plaučių apsaugą nuo sunkių pažeidimų. Autorius įrodė, kad SI metu pagerėjo FRC ir išliko tolygus oringumo pasiskirstymas, jei prieš SI į plaučius buvo tiekiamas egzogeninis surfaktantas (142). Chatziioannidis ir bendraautorai, naudodami EIT, tyrė neišnešiotų naujagimių, sergančių KSS, regioninį plaučių oringumą po surfaktanto terapijos, žemo slėgio atvėrimo manevrų ir minimalaus DPV nustatymų koregavimo. Autoriai padarė išvadą, kad surfaktanto skyrimas sergant KSS pakeičia regioninį oringumą, lemia tolygesnį oro pasiskirstymą (4). Frerichs ir bendraautorai tyrė surfaktanto ir plaučių atvėrimo poveikį regioninio plaučių oringumo pasiskirstymui naujagimio paršelio plaučiuose. Jie rado įrodymų, kad ankstyvas plaučių atvėrimas po gydymo surfaktantu gali pagerinti plaučių dujų apykaitos efektyvumą, pakeisdamas regioninio plaučių oringumo erdvinį pasiskirstymą (157).

#### 2.5.4.5. Gydymo surfaktantu efektyvumas

Gydymas surfaktantu sergant KSS nagrinėtas keliuose tyrimuose, įskaitant EIT, ir tik XX a. šeštojo dešimtmečio pabaigoje buvo nustatyta, kad surfaktantas yra labai svarbus plaučių išplėtimui palaikyti esant mažam plaučių tūriui. Avery ir Mead atrado, kad neišnešiotų naujagimių, sergančių KSS, plaučiai turi mažai surfaktanto (158). Pirmąjį sėkmingą pranešimą apie surfaktanto skyrimą naujagimiams 1980 m. pateikė Fujiwara ir bendraautorai. Urugvajuje pirmasis pritaikymas datuojamas 1991 m. (159,160,161). Daugumai jaunesnių nei 32 gestacijos savaičių naujagimių reikia pagalbos gimdymo palatoje: pirmiausia pagalbos fiziologiniam perėjimui į ekstrauterinę aplinką, o vėliau gaivinimo, jei nepavyksta prisitaikyti. Klinikinė praktika nuolat peržiūrima, o naujų metodų, tokių kaip minimaliai invazinė surfaktanto terapija (MIST), mažiau invazinis surfaktanto skyrimas (LISA), intubacija-surfaktantas-ekstubacija (INSURE) ir orofaringinis surfaktantas, taikymo laikas ir (arba) poveikis yra arba turėtų

būti tiriami taikant EIT (162, 163, 164). MIST ir LISA siūlomi kaip nauji būdai tiekti surfaktantą neišnešiotiems naujagimiams, sergantiems KSS, tai leidžia išvengti invazinės ventiliacijos ir su ja susijusių gretutinių ligų, pavyzdžiui, bronchopulmoninės displazijos (BPD). Šių metodų esmė tokia – pusiau standus arba lankstus kateteris įkišamas įvedimas iškart po balso stygomis, per jį spontaninio kvėpavimo metu, esant neinvaziniam ventiliacijos palaikymui, instiliuojamas surfaktantas (165, 166). Įrodymai taip pat patvirtina teiginį, kad šie manevrai sumažina intubacijų dažnį (167, 168). Van der Burg ir bendraautoriai, naudodami EIT ir matuodami ėriukų iškvėpimo pabaigos plaučių tūrį (EELV), nustatė, kad MIST ir LISA labai panašiai pagerino oksigenaciją, palyginti su įprastiniais surfaktanto skyrimo būdais (169). INSURE (intubacija-surfaktanto injekcija ir neatidėliotina ekstubacija) yra dar vienas apsauginis metodas, kurio EIT vertinimo tyrimo literatūroje nerasta. Gydant neišnešiotų naujagimių KSS, taip pat buvo siūloma į burną įpurkšti surfaktanto pirmojo naujagimio įkvėpimo metu. Orofaringinis surfaktanto skyrimo būdas yra naujas ir mažai aprašytas literatūroje, todėl EIT metodu nėra ištirtas. Turima tik netiesioginių klinikinio taikymo charakteristikų (pvz., sumažėjęs intubacijos poreikis gimdymo palatoje), o norint ir toliau jį naudoti remiantis įrodymais, tikrąjį poveikį reikėtų patikrinti anatominiais ir funkciniais EIT matavimais. Šiuo metu kartu su SI rekomenduojama naudoti orofaringinį surfaktantą, o EIT metodas naudojamas siekiant įrodyti, kad nėra būdo numatyti tinkamą laiką, kada reikia tęsti SI, norint išvengti per didelio įpūtimo (170).

#### 2.5.4.6. Endotrachėjinio vamzdelio padėties nustatymas

Klinikinėje praktikoje dažnai susirūpinimą kelia ETT padėties nustatymas naujagimiams, ypač jaunesniems nei 28 gestacijos savaitės (171). Schmolzer ir bendraautoriai palygino EIT su penkiais kitais neinvaziniais metodais ETT padėčiai nustatyti tiriant naujagimį paršelį. Taikant EIT teisingai nustatyta vamzdelio vieta trachėjoje prie ligonio lovos (145). Steinmann ir bendraautoriai taip pat patvirtino, kad EIT yra tinkamas būdas nustatyti teisingą ETT vietą (172).

#### 2.5.4.7. EIT naudojimas prieš naujagimio ekstubaciją

Rossi ir bendraautoriai naudojo EIT tirti labai mažo svorio naujagimiams prieš ekstubaciją ir įrodė, kad EIT gali būti saugiai ir sėkmingai pritaikoma pacientams, pasirengusiems ekstubacijai. Naujagimis yra pasirengęs ekstubacijai, kai pasiekiamas geriausias oringumo tolygumas, kuriam turi įtakos taikomo iškvėpimo slėgio lygis. Ekstubacijos nesėkmė yra

viena iš dažniausių neišnešiotų naujagimių (25 proc. 32 savaičių ar jaunesnių naujagimių) problemų (173). Miedema ir bendraautorai vertino regioninius plaučių tūrio pokyčius DDOV metu, skyrus surfaktanto naujagimiams, gydomiems dėl kvėpavimo sutrikimo (KSS). Atlikus EIT, plaučių tūris greitai padidėjo ir stabilizavosi (128).

#### 2.5.4.8. Atsiurbimo iš endotrachėjinio vamzdelio procedūra

Dirbtinės plaučių ventiliacijos (DPV) metu atsiurbimas iš endotrachėjinio vamzdelio yra standartinė procedūra, dėl kurios neišvengiamai laikinai sumažėja plaučių tūris. EIT pirmą kartą pavyko įrodyti, kad po pradinio ir trumpo plaučių tūrio sumažėjimo plaučių tūris reikšmingai padidėja mažiausiai 90 min. (174). Panašiai, taikant didelio dažnio osciliuojamąją ventiliaciją (DDOV), uždaras atsiurbimas iš endotrachėjinio vamzdelio (ETT) sukelia neišnešiotų KSS sergančių naujagimių laikiną ir nevienodą plaučių tūrio praradimą, kurio mediana – 3,3 proc. didžiausio tūrio (135).



## 2. TIRIAMIEJI IR METODAI

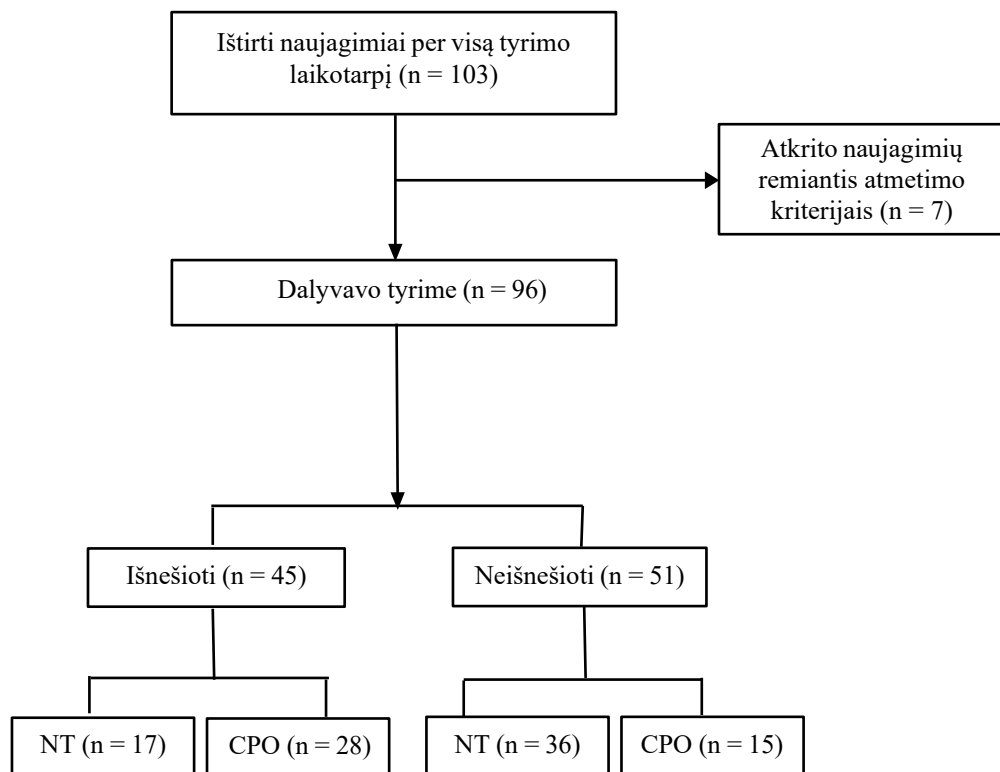
Atvejo – kontrolės tyrimas buvo atliekamas 2020–2022 metais Vilniaus universiteto Medicinos fakulteto Vaikų ligų klinikoje. Buvo įtraukiami ir tiriami naujagimiai, gimę Vilniaus miesto klinikinės ligoninės Akušerijos ir ginekologijos klinikoje nuo 2020 metų gruodžio iki 2022 metų rugpjūčio. 2022–2024 metais buvo vykdoma duomenų analizė ir interpretavimas.

### 3.1. Etikos aspektai

Tyrimui pritarė Vilniaus regioninis biomedicininis tyrimų etikos komitetas, leidimo Nr. 1287, 2021-11-24 (1 priedas). Akušerijos ir ginekologijos skyriuje gimusių naujagimių tėvams ar globėjams buvo išsamiai paaiškinama tyrimo tikslai ir eiga, rezultatų naudojimas. Tėvams ar globėjams savanoriškai sutikus, buvo pasirašomas rašytinis informuoto asmens sutikimas.

### 3.2. Tyrimo imtis

Per visą tyrimo laikotarpį buvo ištirti 103 naujagimiai, iš jų 7 buvo pašalinti, nes neatitiko įtraukimo kriterijų (2 pav.). Iš pradžių į tyrimą iš viso buvo įtraukti 45 spontaniškai kvėpuojantys išnešioti naujagimiai. Iš jų 17 naujagimių gimė natūraliais takais ir sudarė kontrolinę grupę, o 28 naujagimiai (38 savaičių  $\pm 0,5$ ) – po cezario pjūvio operacijos, ir sudarė tiriamąją grupę. Nė vienam iš tirtų naujagimių neprireikė gaivinimo gimdymo palatoje ar pagalbos prisitaikant prie ekstrauterinės aplinkos. Vėliau tyrime dalyvavo 51 vėlyvasis neišnešiotas spontaniškai kvėpuojantis naujagimis (tiriamoji grupė) ir 45 anksčiau tirti išnešioti spontaniškai kvėpuojantys naujagimiai (kontrolinė grupė). Po kiekvieno EIT duomenų įrašymo epizodo (I, II ir III epizodų aprašymą žr. 3.3.1. skyriuje) tiriamųjų skaičius sumažėdavo, nes dėl įrašymo klaidos nebuvo įmanoma atlikti kokybiškos analizės arba EIT įrašymas kai kuriems pacientams buvo sustabdytas anksčiau laiko.



2 pav. Naujagimių įtraukimo į tyrimą diagrama pagal STROBE

Naujagimiai buvo atrinkti pagal iš anksto nustatytus įtraukimo kriterijus:

- gestacinis amžius: išnešioti naujagimiai (37–41 gestacijos sav.), vėlyvieji neišnešioti (34–36 gestacijos sav.); naujagimiai, kuriems nepasireiškė kvėpavimo sutrikimų klinika;
- spontaninis kvėpavimas, be kvėpavimo palaikymo ar dirbtinės plaučių ventiliacijos poreikio;
- tėvų ar globėjų sutikimas.

Atmetimo kriterijai:

- Nepaimta rašytinio informuotų tėvų sutikimo arba tėvai atsisakė, kad jų naujagimis būtų įtrauktas į tyrimą.
- Naujagimio būklė gimus labai sunki ir naujagimiui taikomos gaivinimo priemonės.
- Praėjo daugiau nei 30 min. po naujagimio gimimo.
- Naujagimis vertinant pagal gestacijos amžių nepatenka nei į kontrolinę, nei į tiriamąją grupes, yra mažiau nei 34 sav. ir daugiau negu 41 gestacinio

amžiaus savaitė.

- Jei tiriamosios grupės naujagimiai turi įgimtų raidos anomalijų, nesuderinamų su gyvybe, įtariama įgimta medžiagų apykaitos liga ar nustatyta sunki širdies ir kraujagyslių sistemos patologija.

Pagrindinės naujagimių charakteristikos pateikiamos 3 lentelėje.

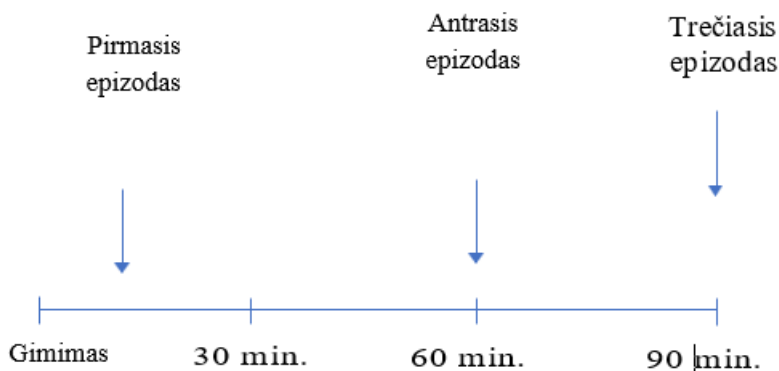
### 3.3. Tyrimo dalyvių skaičiaus nustatymas

Tyrimo dalyvių skaičius prieš atliekant tyrimą apskaičiuotas programa *G\*Power*. Remiantis šiais skaičiavimais, norint nustatyti, ar vienoje iš dviejų tiriamųjų grupių plaučių rodikliai yra aukštesni negu kitoje, ir pasiekti pageidautiną statistinio kriterijaus galią 0,8, kai statistinio efekto dydis  $d$  lygus 0,6, o reikšmingumo lygmuo  $\alpha$  lygus 0,05, mažiausias tiriamųjų skaičius grupėse turėjo būti po 41.

### 3.4. Tyrimo metodologija

#### 3.4.1. EIT duomenų įrašymas

Duomenims įrašyti buvo naudojamas elektrinio impedanso tomografijos prietaisas („Swisstom BB2“, Šveicarija) (9 pav.). NEO SensorBelt diržas su integruotais 32 elektrodais buvo išdėstytas aplink krūtinės ląstą spenelių lygiu ir veikė 47,68 Hz dažniu. Kiekvieno naujagimio gimimo dieną buvo atlikti trys duomenų įrašymo epizodai. Duomenys buvo renkami trimis intervalais: ne vėliau nei 30 min. po gimimo (I epizodas), 60 min. po gimimo (II epizodas) ir 90 min. po gimimo (III epizodas) (3 pav.). 90 min. laiko periodas po naujagimio gimimo šioje disertacijoje ir šios disertacijos tikslais vadinamas „ankstyvosios adaptacijos laikotarpiu“. Visi įrašai buvo atliekami naujagimiams esant gulimoje padėtyje ant nugaros. Žindymo metu matavimai buvo atidedami, kad nenutrūktų motinos ir naujagimio ryšys. Panašiai, atliekant bet kokias procedūras, tokias kaip kraujo ėmimas ar įprastinė slauga, matavimai buvo atidedami numatytam laikui, nebent vėlavimas viršijo numatytas laiko ribas 30 minučių. Kiekvienas EIT įrašas truko ne mažiau kaip 5 minutes. Duomenų įrašymo procesas parodytas 3 pav.



2 pav. EIT duomenų įrašymo epizodai ir jų laiko tarpai



#### 3.4.2. EIT duomenų interpretavimas

Duomenys buvo analizuojami naudojant Ibex 1.4 programinę įrangą. Impedanso signalas gautas naudojant kvėpavimo dažnio filtravimo funkciją. Abiejų tiriamųjų grupių buvo lyginami šie EIT parametrai:

1. Ventiliacijos centras (CoV), apibūdinantis geriausiai ventiliuojamas plaučių sritis (4–5 pav.).
  2. „Nebylios“ sritys, apibūdinančios plaučių sritis, kuriose oringumas yra minimalus arba jo apskritai nėra (impedanso pokyčiai  $< 10\%$ ) (4–5 pav.).
- 2 pav. EIT prietaiso pateikiamų vaizdinių „nebylių“ sričių ir ventiliacijos centro rezultatų pavyzdys (kairėje – suvidurkinti vieno naujagimio rezultatai, dešinėje – „nebylių“ sričių ir ventiliacijos centro dinamika). nss – nepriklausomos nuo gravitacijos plaučių sritys, dss – priklausomos nuo gravitacijos plaučių sritys. Suvidurkinant sumažinamas atsitiktinio triukšmo poveikis rezultatams ir paliekami tik pastovūs signalai, sujungiami keli matavimo ciklai arba signalai į vieną.

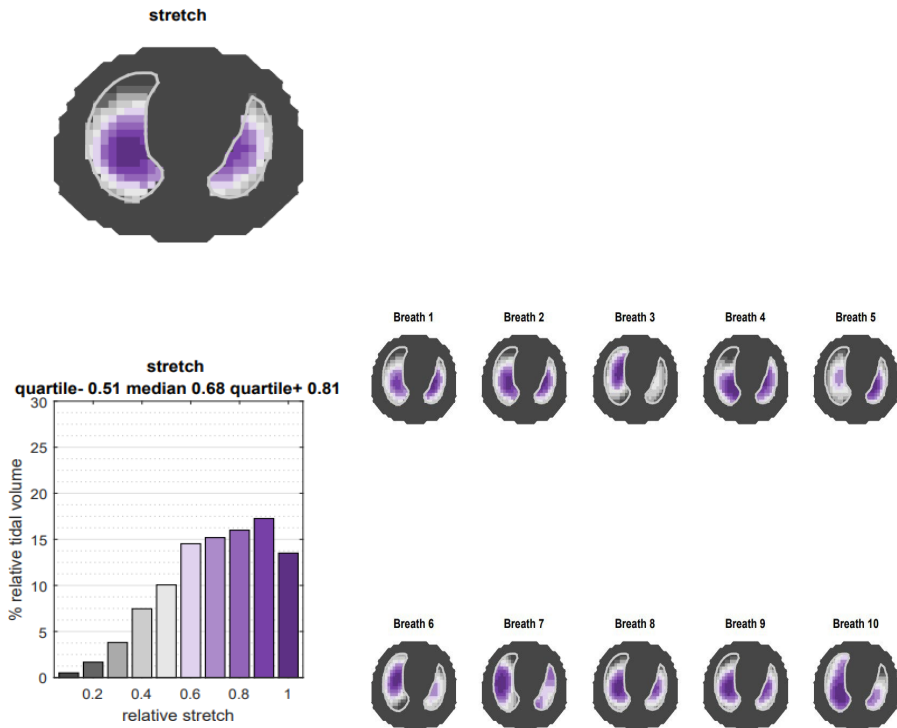


4 pav. EIT prietaiso pateikiamų vaizdinių „nebylių“ sričių ir ventilacijos centro rezultatų pavyzdys (kairėje – suvidurkinti vieno naujagimio rezultatai, dešinėje – „nebylių“ sričių ir ventilacijos centro dinamika). nss – nepriklausomos nuo gravitacijos plaučių sritys, dss – priklausomos nuo gravitacijos plaučių sritys. Suvidurkinant sumažinamas atsitiktinio triukšmo poveikis rezultatams ir paliekami tik pastovūs signalai, sujungiami keli matavimo ciklai arba signalai į vieną.

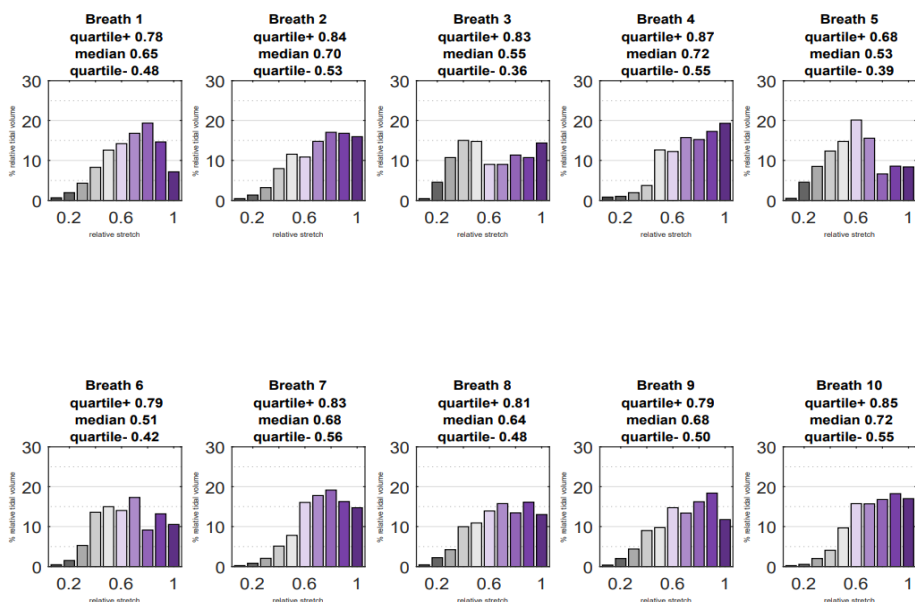


5 pav. EIT prietaiso pateikiamų vaizdinių „nebylių“ sričių ir ventilacijos centro rezultatų pavyzdys (rezultatų dinamika priklausomose – dss ir nepriklausomose – nss plaučių srityse)

1. Santykinė įtemptis – sąvoka, besiremianti prielaida, kad impedanso pokyčius sukelia audinio išsiplėtimas arba tempimasis. Kadangi šie pokyčiai atsiranda vieno įkvėpimo metu, laikoma, kad jie kyla dėl kvėpuojamojo tūrio įtakos aplinkinio plaučių audinio mechaninėms ir elektrinėms savybėms. Išmatuojamas maksimalus impedanso pokytis tam tikro įkvėpimo metu, o kitos išmatuotos vertės yra santykinės ir lyginamos su šiuo maksimumu (6–7 pav.).
2. Santykinis kvėpuojamasis tūris, padalytas dešimtadaliais viso ventiliuojamo plaučių ploto (kur kiekviena dešimtoji dalis atspindi 10 proc. viso ventiliuojamo ploto). Jis matuojamas kiekvienam laiko intervalui nuo įkvėpimo pradžios iki pabaigos. Plaučių sritys su didele įtemptimi vaizduojami violetine spalva, o mažos įtempties sritys – pilka spalva. Dešimties stulpelių diagrama atspindi pikselių duomenis pagal jų santykinės įtempties vertę (6–7 pav.).

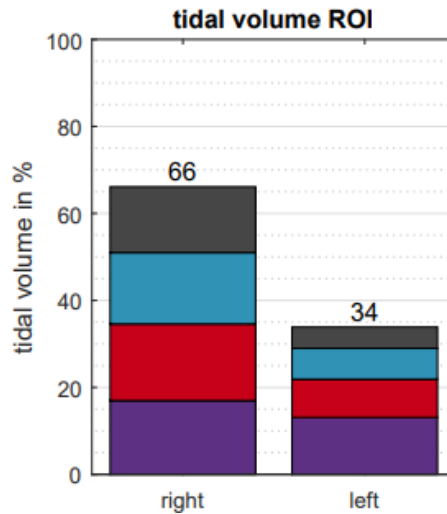


6 pav. EIT prietaiso pateikiamų vaizdinių santykinės įtempties ir santykinio kvėpuojamojo tūrio rezultatų pavyzdys (kairėje – suvidurkinti vieno naujagimio rezultatai, dešinėje – santykinės įtempties dinamika). Suvidurkinant sumažinamas atsitiktinio triukšmo poveikis rezultatams ir paliekami tik pastovūs signalai, sujungiami keli matavimo ciklai arba signalai į vieną.



7 pav. EIT prietaiso pateikiamų vaizdinių santykinės įtempties ir santykinio kvėpuojamojo tūrio rezultatų pavyzdys (rezultatų dinamika pagal kvartilius)

5. Dešiniojo ir kairiojo plaučio kvėpuojamojo tūrio dalys atskirai, nurodant kiekvieno plaučio kvėpuojamojo tūrio sumą ir regioninę pasiskirstymą: kiekvienas plautis skirstomas į ventralinį, dorsalinį, centrinį – ventralinį ir centrinį – dorsalinį segmentus, remiantis skerspjūvio vaizdais (8 pav.). Šis segmentavimas paprastai atliekamas taip, kad atspindėtų dominuojančias anatomines ir funkcinės sritis. Daugeliui klinikinių ir mokslinių tyrimų sutelkus dėmesį į šias iš anksto nustatytas sritis gaunama pakankamai informacijos apie oringumo pasiskirstymą ir dinamiką.



8 pav. EIT prietaiso pateikiamų vaizdinių regioninio oringumo pasiskirstymo rezultatų pavyzdys

### 2.5.5. Registruoti duomenys iš medicininės dokumentacijos

- Naujagimio lytis (vyriškoji / moteriškoji);
- Naujagimio gestacinis amžius (sav.);
- Naujagimio gimimo svoris (g);
- Naujagimio subrendimo indeksas pagal Ballard skalę;
- Apgar balai po 1 ir 5 min.;
- Naujagimio gimimo būdas (natūraliais takais / po cezario pjūvio operacijos);
- Virkštelės arterijos pH;
- Kiekvieno EIT įrašymo epizodo pradžios ir pabaigos laikas (minučių tikslumu). Jei dėl tam tikrų priežasčių įrašymas buvo sustabdytas, fiksuotas sustabdymo ir naujas pradžios laikas.

### 3.5. Statistinė analizė

Rezultatai buvo analizuojami naudojant SPSS Statistics v22 programinę įrangą. Dviejų tiriamųjų grupių rezultatams palyginti naudotas

*Mann-Whitney* statistinis kriterijus.



9 pav. EIT duomenų įrašymo procesas

Tiriamųjų grupės trijų epizodų duomenys buvo lyginami naudojant *Friedman* statistinį kriterijų. *Wilcoxon* rangų sumų testas buvo naudojamas kaip papildomas testas dviejų epizodų duomenims palyginti poromis, *Friedman* testui nustačius statistiškai reikšmingus skirtumus tarp grupių. Statistinės analizės rezultatai buvo laikomi statistiškai reikšmingais, kai apskaičiuota  $p$  reikšmė buvo mažesnė nei 0,05.



### 3. REZULTATAI

Šiame skyriuje pateikiama tiriamųjų grupių charakteristika (3–4 lentelės) bei darbo (5–47 lentelės, 10–25 pav.) rezultatai.

#### 4.1. Tiriamųjų grupių charakteristika

3 lentelė. Į tyrimą įtrauktų spontaniškai kvėpuojančių išnešiotų naujagimių charakteristikos: NT – natūraliais takais gimę, CPO – po cezario pjūvio operacijos gimę naujagimiai

| Charakteristika                      | Tiriamoji grupė – gimimas po CPO (n = 28) |                            | Kontrolinė grupė – gimimas NT (n = 17) |                            | p      |
|--------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------|----------------------------|--------|
| Vyriškoji lytis (%)                  | 13 (46,4)                                 |                            | 7 (41,2)                               |                            | > 0,05 |
|                                      | Vidurkis                                  | Standartinis nuokrypis +/- | Vidurkis                               | Standartinis nuokrypis +/- |        |
| Gestacinis amžius (savaitės)         | 38,8                                      | 0 + 5 d.                   | 39,4                                   | 1 + 2 d.                   | > 0,05 |
| Brandos indeksas (New Ballard skalė) | 26,7                                      | 1,26                       | 26,9                                   | 1,59                       | > 0,05 |
| Svoris (g)                           | 3439                                      | 380                        | 3500                                   | 313                        | > 0,05 |
| Virkštelės kraujo arterijos pH       | 7,3                                       | 0,04                       | 7,3                                    | 0,10                       | > 0,05 |
| Apgar balai                          |                                           |                            |                                        |                            |        |
| 1 minutė                             | 9                                         | 1,15                       | 8,8                                    | 1,3                        | > 0,05 |
| 5 minutės                            | 9,3                                       | 0,68                       | 9,1                                    | 0,94                       | > 0,05 |

4 lentelė. Į tyrimą įtrauktų spontaniškai kvėpuojančių išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių charakteristikos

| Charakteristika                       | Tiriamoji grupė – vėlyvieji neišnešioti naujagimiai (n = 51) |                            | Kontrolinė grupė – išnešioti naujagimiai (n = 45) |                            | p      |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|--------|
| Vyriškoji lytis (%)                   | 24 (47)                                                      |                            | 20 (44,4)                                         |                            | > 0,05 |
|                                       | Vidurkis                                                     | Standartinis nuokrypis +/- | Vidurkis                                          | Standartinis nuokrypis +/- |        |
| Gestacinis amžius (savaitės + dienos) | 35,5                                                         | 2,1 + 4 d.                 | 39,1                                              | 0,83 + 5 d.                | < 0,01 |
| Brandos indeksas (New Ballard skalė)  | 19                                                           | 1,5                        | 26,8                                              | 1,4                        | < 0,01 |
| Svoris (g)                            | 2 756                                                        | 463                        | 3 464                                             | 354                        | < 0,01 |
| Virkštelės kraujo pH                  | 7,3                                                          | 0,05                       | 7,3                                               | 0,08                       | < 0,01 |
| Apgar balai 1 minutė                  | 8,8                                                          | 1,02                       | 8,9                                               | 1,21                       | < 0,01 |
| 5 minutės                             | 9,1                                                          | 0,78                       | 9,2                                               | 0,92                       | < 0,01 |

Vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių grupėje GA brandumo indeksas ir gimimo svoris buvo mažiausi: 35,5 sav. (+/- 2,1 + 4 d.), 19 (+/- 1,5) ir 2756 g

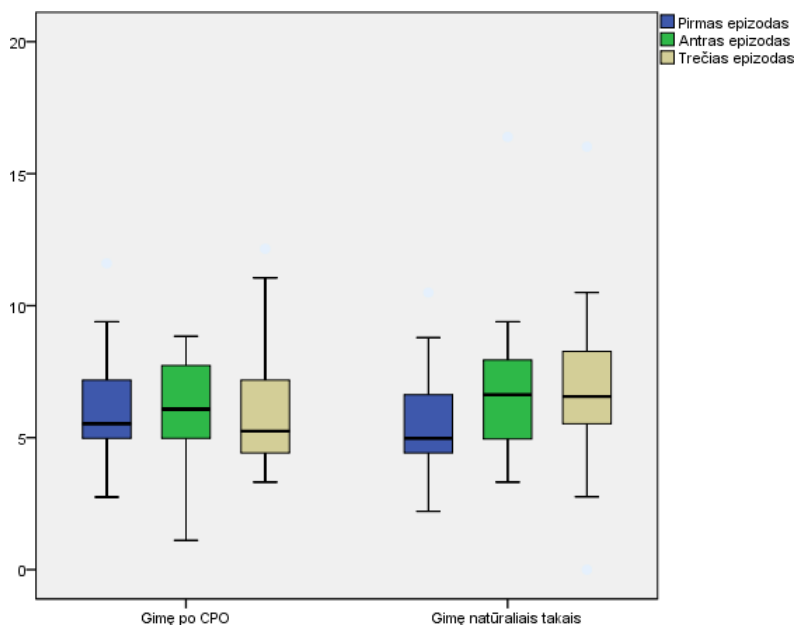
(+/- 463). Vidutinis GA, kai buvo atliekama cezario pjūvio operacija išnešiotiems naujagimiams – 38,8 sav. (+/- 5 d.).

#### 4.2. Natūraliais takais ir po CPO gimusių išnešiotų naujagimių grupių EIT parametrų palyginimas

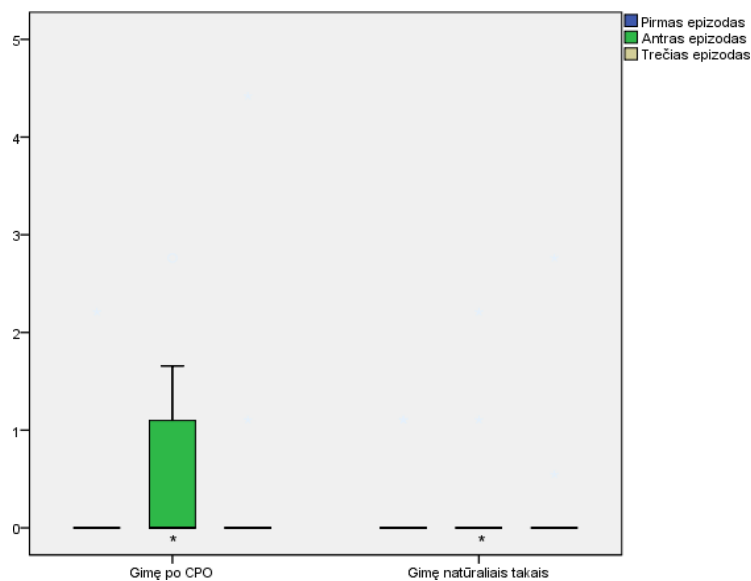
Pirmasis duomenų įrašymas buvo atliktas kuo anksčiau po gimimo, atsižvelgiant į naujagimio būklę, bet ne vėliau kaip per 30 minučių (vidutiniškai per 13 minučių) po gimimo (I epizodas). Antrasis duomenų įrašymas buvo atliktas po 1 valandos (vidutiniškai 62 minučių) ir trečiasis – po 1,5 valandos (vidutiniškai 93 minučių) po gimimo.

##### 4.2.1. „Nebylios“ sritys

Šis parametras nurodo neventiliuojamas arba mažai ventiliuojamas plaučių sritis (5–7 lentelės). Statistiškai reikšmingų pokyčių, susijusių su šiuo parametru, buvo matoma tik priklausomose (angl. *dependent*) plaučių srityse, kurie yra labiau veikiami gravitacijos ( $p < 0,05$ ). Nepriklausomose plaučių srityse statistiškai reikšmingų skirtumų nenustatyta ( $p > 0,05$ ). Tiriamosios grupės naujagimiai, praėjus vienai valandai po gimimo, priklausomose plaučių srityse turėjo daugiau „nebylaus ploto“, nei natūraliais takais gimę naujagimiai (6 lentelė). Priklausomose plaučių srityse „nebylių sričių“ mediana buvo lygi nuliui (10–11 pav.). Ji nesiskyrė nei atskirose grupėse, nei laikui bėgant. Tai reiškia, kad 50 proc. naujagimių priklausomose srityse išvis neturėjo neventiliuojamų plotų. I, II ir III epizodų rodikliai statistiškai reikšmingai nesiskyrė nė vienos iš tiriamųjų grupių ( $p > 0,05$ ) (8–9 lentelės).



10 pav. Trijų EIT įrašymo epizodų „nebylių“ sričių nepriklausomuose plaučių regionuose verčių pasiskirstymo palyginimas. CPO – cezario pjūvio operacija. \* pažymėtas statistiškai reikšmingas skirtumas ( $p < 0,05$ ).



11 pav. Trijų EIT įrašymo epizodų „nebylių“ sričių priklausomuose plaučių regionuose verčių pasiskirstymo palyginimas. CPO – cezario pjūvio operacija. \* pažymėtas statistiškai reikšmingas skirtumas ( $p < 0,05$ ).

5 lentelė. „Nebylios“ sritys, I epizodas. NT – gimdymas natūraliais takais, CPO – cezario pjūvio operacija

|                                   | Grupė | N  | Q1   | Mediana | Q3   | Mažiausia reikšmė | Didžiausia reikšmė | Mann-Whitney vidutiniai rangai | p     |
|-----------------------------------|-------|----|------|---------|------|-------------------|--------------------|--------------------------------|-------|
| Nepriklausomos plaučių sritys (%) | CPO   | 28 | 4,97 | 5,52    | 7,18 | 2,75              | 11,60              | 24,62                          | 0,517 |
|                                   | NT    | 17 | 4,42 | 4,97    | 6,63 | 2,21              | 17,68              | 22,02                          |       |
| Priklausomos plaučių sritys (%)   | CPO   | 28 | 0,00 | 0,00    | 0,00 | 0,00              | 2,21               | 21,88                          | 0,415 |
|                                   | NT    | 17 | 0,00 | 0,00    | 0,00 | 0,00              | 9,39               | 23,68                          |       |

6 lentelė. „Nebylios“ sritys, II epizodas. NT – gimdymas natūraliais takais, CPO – cezario pjūvio operacija

|                                   | Grupė | N  | Q1   | Mediana | Q3   | Mažiausia reikšmė | Didžiausia reikšmė | Mann-Whitney vidutiniai rangai | p            |
|-----------------------------------|-------|----|------|---------|------|-------------------|--------------------|--------------------------------|--------------|
| Nepriklausomos plaučių sritys (%) | CPO   | 28 | 4,97 | 6,08    | 8,01 | 1,10              | 18,23              | 23,00                          | 1,000        |
|                                   | NT    | 17 | 4,93 | 6,63    | 8,07 | 3,31              | 17,68              | 23,00                          |              |
| Priklausomos plaučių sritys (%)   | CPO   | 28 | 0,00 | 0,00    | 1,10 | 0,00              | 2,76               | 26,91                          | <b>0,032</b> |
|                                   | NT    | 17 | 0,00 | 0,00    | 0,00 | 0,00              | 11,60              | 20,63                          |              |

7 lentelė. „Nebylios“ sritys, III epizodas. NT – gimdymas natūraliais takais, CPO – cezario pjūvio operacija

|                                   | Grupė | N  | Q1   | Mediana | Q3   | Mažiausia reikšmė | Didžiausia reikšmė | Mann-Whitney vidutiniai rangai |       |
|-----------------------------------|-------|----|------|---------|------|-------------------|--------------------|--------------------------------|-------|
|                                   | CPO   | 28 | 4,42 | 5,25    | 7,18 | 3,31              | 12,15              | 19,00                          | 0,349 |
| Nepriklausomos plaučių sritys (%) | NT    | 14 | 5,25 | 6,56    | 8,28 | 0,00              | 16,02              | 22,75                          |       |
| Priklausomos plaučių sritys (%)   | CPO   | 28 | 0,00 | 0,00    | 0,28 | 0,00              | 22,10              | 23,11                          | 0,324 |
|                                   | NT    | 14 | 0,00 | 0,00    | 0,00 | 0,00              | 7,18               | 20,70                          |       |

8 lentelė. „Nebylios“ sritys, nepriklausomi plaučių regionai, trijų epizodų palyginimas. NT – gimdymas natūraliais takais, CPO – cezario pjūvio operacija

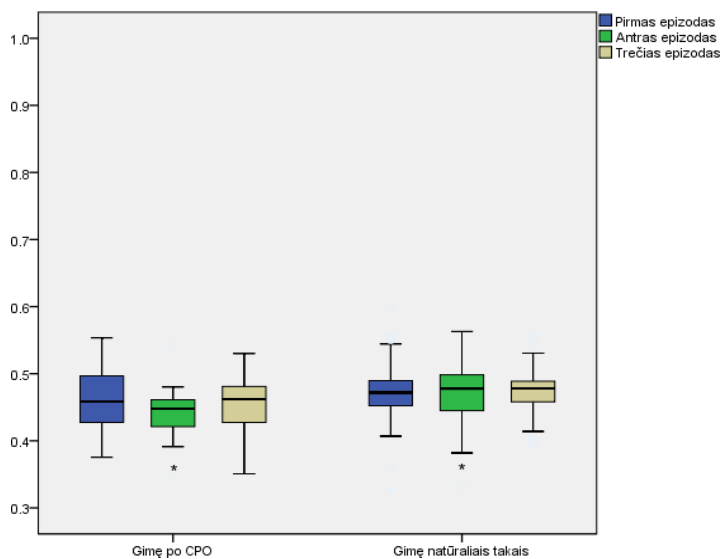
|                                      | Grupė |                  | Mann-Whitney<br>vidutiniai rangai | p     |
|--------------------------------------|-------|------------------|-----------------------------------|-------|
| Nepriklausomos<br>plaučių sritys (%) | CPO   | Pirmas epizodas  | 2,11                              | 0,878 |
|                                      |       | Antras epizodas  | 1,93                              |       |
|                                      |       | Trečias epizodas | 1,96                              |       |
|                                      | NT    | Pirmas epizodas  | 1,75                              | 0,230 |
|                                      |       | Antras epizodas  | 2,13                              |       |
|                                      |       | Trečias epizodas | 2,13                              |       |

9 lentelė. „Nebylios“ sritys, priklausomi plaučių regionai, trijų epizodų palyginimas. NT – gimdymas natūraliais takais, CPO – cezario pjūvio operacija.

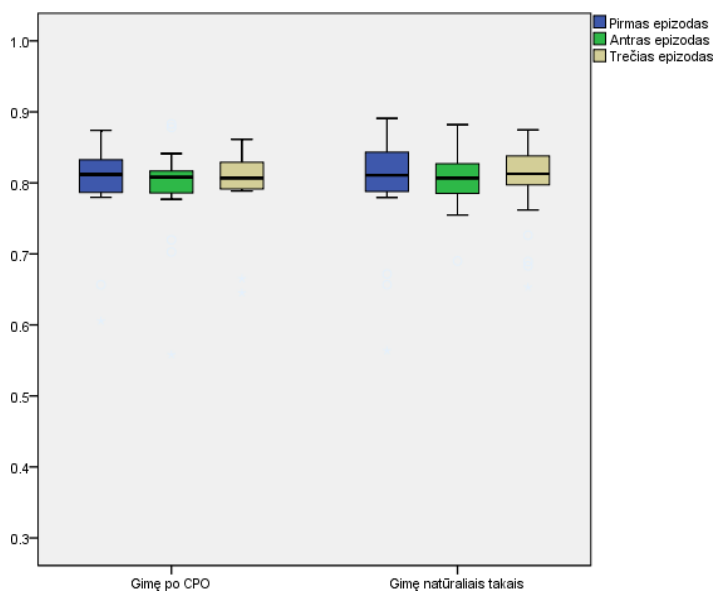
|                                       | Grupė |                  | Mann-Whitney<br>vidutiniai rangai | p     |
|---------------------------------------|-------|------------------|-----------------------------------|-------|
| Priklausomos<br>plaučių sritys<br>(%) | CPO   | Pirmas epizodas  | 1,79                              | 0,289 |
|                                       |       | Antras epizodas  | 2,18                              |       |
|                                       |       | Trečias epizodas | 2,04                              |       |
|                                       | NT    | Pirmas epizodas  | 2,04                              | 0,840 |
|                                       |       | Antras epizodas  | 2,00                              |       |
|                                       |       | Trečias epizodas | 1,96                              |       |

#### 4.2.2. Santykinė plaučių audinio įtemptis

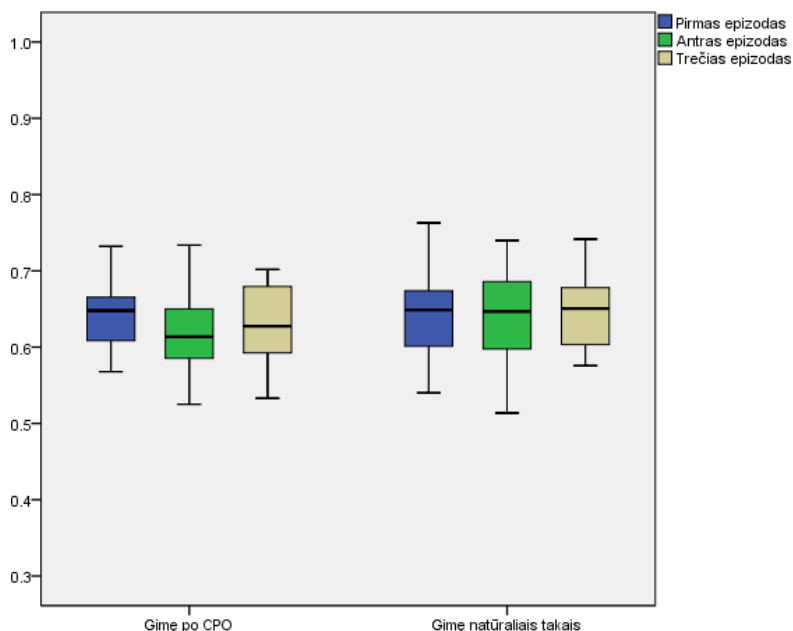
Statistiškai reikšmingas skirtumas tarp natūraliais takais ir po CPO gimusių naujagimių buvo matomas praėjus 1 val. po gimimo, tarp žemesnio kvartilio (Q-) santykinės įtempties verčių ( $p < 0,05$ ) (11 lentelė). Iš karto po gimimo ir praėjus 1,5 val. statistiškai reikšmingų skirtumų nebuvo nustatyta (10–12 lentelės). Natūraliais takais gimusiųjų grupėje buvo didesni su įtemptimi susiję pokyčiai dėl prasčiausiai ventiliuojamų vietų (25 proc. kvartilis – mažiausios įtempties, „pilkos“ sritys). Kiekvieno epizodo metu santykinės įtempties medianos skyrėsi labai mažai tarp naujagimių grupių arba apskritai nesiskyrė (12–14 pav.). Tačiau statistiškai reikšmingų skirtumų tarp pirmo, antro ir trečio epizodų rodiklių nebuvo nė vienoje iš tiriamųjų grupių ( $p > 0,05$ ) (13–15 lentelės).



12 pav. Trijų EIT įrašymo epizodų žemesniojo kvartilio (Q-) santykinės įtempties verčių pasiskirstymo palyginimas CPO – cezario pjūvio operacija. \* pažymėtas statistiškai reikšmingas skirtumas ( $p < 0,05$ )



13 pav. Trijų EIT įrašymo epizodų santykinės įtempties medianos verčių pasiskirstymo palyginimas. CPO – cezario pjūvio operacija. \* pažymėtas statistiškai reikšmingas skirtumas ( $p < 0,05$ )



14 pav. Trijų EIT įrašymo epizodų aukštesniojo kvartilio (Q+) santykinės įtempties verčių pasiskirstymo palyginimas. CPO – cezario pjūvio operacija. \* pažymėtas statistiškai reikšmingas skirtumas ( $p < 0,05$ )

10 lentelė. Santykinė įtemptis, I epizodas. NT – gimdymas natūraliais takais, CPO – cezario pjūvio operacija

|         | Grupė | N  | Q1   | Mediana | Q3   | Mažiausia reikšmė | Didžiausia reikšmė | Mann-Whitney vidutiniai rangai | p     |
|---------|-------|----|------|---------|------|-------------------|--------------------|--------------------------------|-------|
| Q-      | CPO   | 28 | 0,41 | 0,46    | 0,50 | 0,38              | 0,55               | 21,18                          | 0,468 |
|         | NT    | 17 | 0,45 | 0,47    | 0,49 | 0,33              | 0,60               | 24,11                          |       |
| Mediana | CPO   | 28 | 0,60 | 0,65    | 0,67 | 0,57              | 0,73               | 23,18                          | 0,944 |
|         | NT    | 17 | 0,60 | 0,65    | 0,67 | 0,54              | 0,76               | 22,89                          |       |
| Q+      | CPO   | 28 | 0,78 | 0,81    | 0,83 | 0,61              | 0,87               | 21,82                          | 0,640 |
|         | NT    | 17 | 0,79 | 0,81    | 0,84 | 0,56              | 0,89               | 23,71                          |       |

11 lentelė. Santykinė įtemptis, II epizodas. NT – gimdymas natūraliais takais, CPO – cezario pjūvio operacija

|         | Grupė | N  | Q1   | Mediana | Q3   | Mažiausia reikšmė | Didžiausia reikšmė | Mann-Whitney vidutiniai rangai | p            |
|---------|-------|----|------|---------|------|-------------------|--------------------|--------------------------------|--------------|
| Q-      | CPO   | 28 | 0,41 | 0,45    | 0,46 | 0,35              | 0,54               | 16,65                          | <b>0,011</b> |
|         | NT    | 17 | 0,44 | 0,48    | 0,50 | 0,33              | 0,56               | 26,86                          |              |
| Mediana | CPO   | 28 | 0,58 | 0,61    | 0,66 | 0,53              | 0,73               | 20,06                          | 0,242        |

|    | Grupė | N  | Q1   | Mediana | Q3   | Mažiausia reikšmė | Didžiausia reikšmė | Mann-Whitney vidutiniai rangai | p     |
|----|-------|----|------|---------|------|-------------------|--------------------|--------------------------------|-------|
|    | NT    | 17 | 0,59 | 0,65    | 0,69 | 0,51              | 0,74               | 24,79                          |       |
| Q+ | CPO   | 28 | 0,78 | 0,81    | 0,82 | 0,56              | 0,88               | 22,00                          | 0,691 |
|    | NT    | 17 | 0,78 | 0,81    | 0,83 | 0,69              | 0,88               | 23,61                          |       |

12 lentelė. Santykinė įtemptis, III epizodas. NT – gimdymas natūraliais takais, CPO – cezario pjūvio operacija

|         | Grupė | N  | Q1   | Mediana | Q3   | Mažiausia reikšmė | Didžiausia reikšmė | Mann-Whitney vidutiniai rangai | p     |
|---------|-------|----|------|---------|------|-------------------|--------------------|--------------------------------|-------|
| Q-      | CPO   | 28 | 0,42 | 0,46    | 0,48 | 0,35              | 0,53               | 17,29                          | 0,115 |
|         | NT    | 14 | 0,46 | 0,48    | 0,49 | 0,40              | 0,55               | 23,61                          |       |
| Mediana | CPO   | 28 | 0,59 | 0,63    | 0,68 | 0,53              | 0,70               | 18,79                          | 0,311 |
|         | NT    | 14 | 0,60 | 0,65    | 0,68 | 0,58              | 0,74               | 22,86                          |       |
| Q+      | CPO   | 28 | 0,79 | 0,81    | 0,83 | 0,65              | 0,86               | 20,00                          | 0,575 |
|         | NT    | 14 | 0,80 | 0,81    | 0,84 | 0,65              | 0,87               | 22,25                          |       |

13 lentelė. Žemesniojo kvartilio (Q-) santykinė įtemptis, trijų epizodų palyginimas. NT – gimdymas natūraliais takais, CPO – cezario pjūvio operacija

|     | Grupė |                  | Mann-Whitney vidutiniai rangai | p     |
|-----|-------|------------------|--------------------------------|-------|
| Q - | CPO   | Pirmas epizodas  | 2,21                           | 0,257 |
|     |       | Antras epizodas  | 1,64                           |       |
|     |       | Trečias epizodas | 2,14                           |       |
|     | NT    | Pirmas epizodas  | 1,95                           | 0,491 |
|     |       | Antras epizodas  | 2,18                           |       |
|     |       | Trečias epizodas | 1,88                           |       |

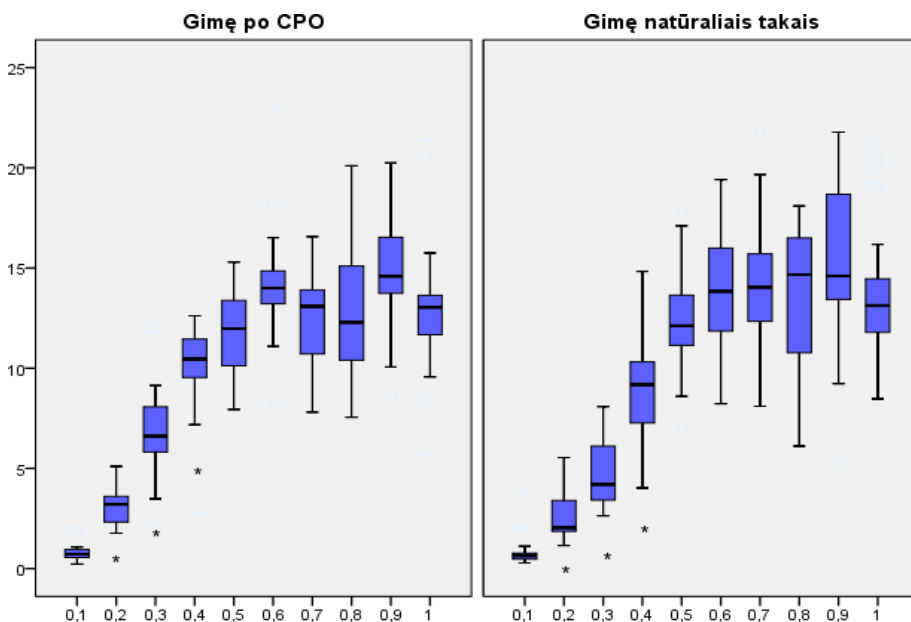
14 lentelė. Vidutinių santykinės įtempties verčių, trijų epizodų palyginimas. NT – gimdymas natūraliais takais, CPO – cezario pjūvio operacija

|         | Grupė |                  | Mann-Whitney vidutiniai rangai | p     |
|---------|-------|------------------|--------------------------------|-------|
| Mediana | CPO   | Pirmas epizodas  | 2,50                           | 0,071 |
|         |       | Antras epizodas  | 1,71                           |       |
|         |       | Trečias epizodas | 1,79                           |       |
|         | NT    | Pirmas epizodas  | 2,02                           | 0,828 |
|         |       | Antras epizodas  | 2,07                           |       |
|         |       | Trečias epizodas | 1,91                           |       |

15 lentelė. Aukštesniojo kvartilio (Q+) santykinė įtemptis, trijų epizodų palyginimas. NT – gimdymas natūraliais takais, CPO – cezario pjūvio operacija

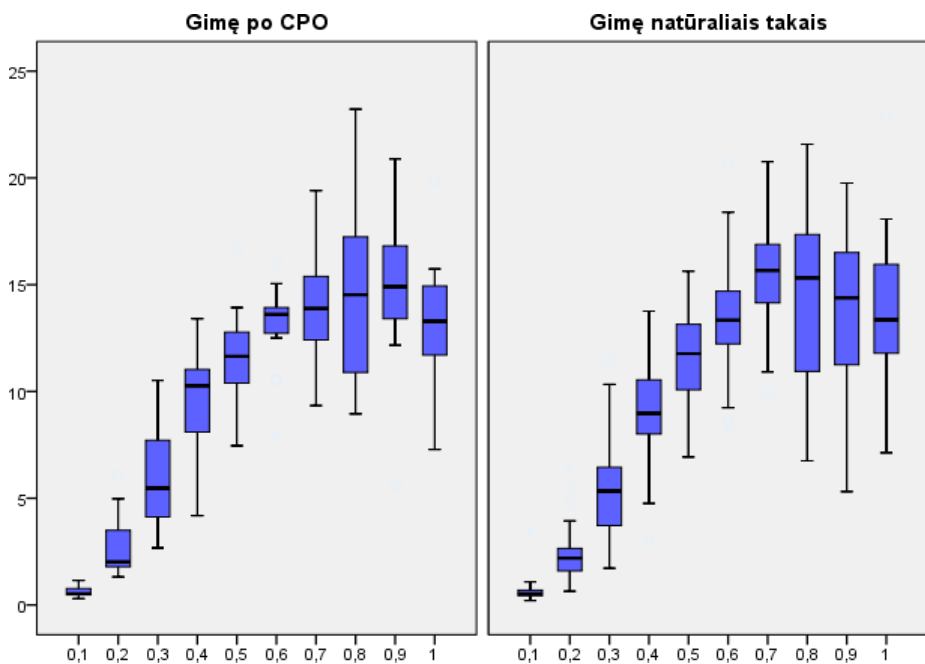
|    | Grupė |                  | Mann-Whitney<br>vidutiniai rangai | p     |
|----|-------|------------------|-----------------------------------|-------|
| Q+ | CPO   | Pirmas epizodas  | 2,07                              | 0,526 |
|    |       | Antras epizodas  | 2,00                              |       |
|    |       | Trečias epizodas | 1,93                              |       |
|    | NT    | Pirmas epizodas  | 2,16                              | 0,518 |
|    |       | Antras epizodas  | 1,86                              |       |
|    |       | Trečias epizodas | 1,98                              |       |

15–17 paveiksluose lyginami santykinio kvėpuojamojo tūrio vidurkiai procentais natūraliais takais ir po CPO gimusiųjų grupėse. Tiriamojoje naujagimių grupėje 10–20 %, 20–30 % ir 30–40 % santykinės plaučių audinio įtempties kategorijos lemia daugiau plaučių tūrio nei natūraliais takais gimusiųjų (tai yra mažesnių įtempties pokyčių – po CPO gimusiųjų pilkos sritys užima didesnę dalį plaučių vaizdo) ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$ ,  $p < 0,05$ ). Šie pokyčiai buvo statistiškai reikšmingi praėjus valandai po gimimo (II epizodas) (17 lentelė). Nenustatyta statistiškai reikšmingų skirtumų lyginant gimusius po CPO ir gimusius natūraliais takais naujagimius, pirmą ir trečią epizodus ( $p > 0,05$ ) (16–18 lentelės).

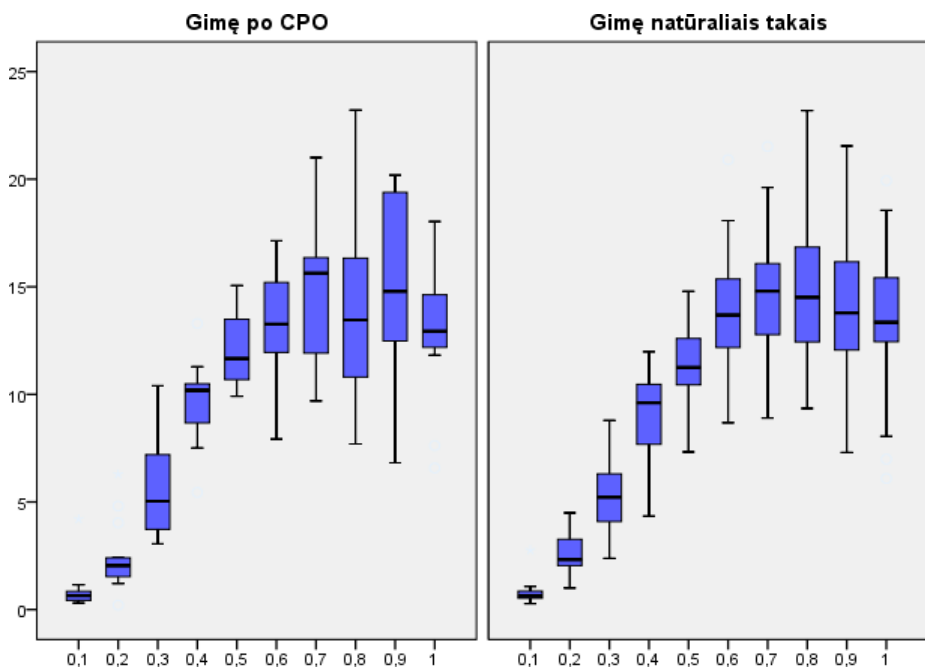


15 pav. Santykinis kvėpuojamasis tūris, vidurkiai. I epizodas. CPO – cezario pjūvio operacija.

\* pažymėtas statistiškai reikšmingas skirtumas ( $p < 0,05$ )



16 pav. Santykinis kvėpuojamasis tūris, vidurkiai. III epizodas. CPO – cezario pjūvio operacija. \* pažymėtas statistiškai reikšmingas skirtumas ( $p < 0,05$ )



17 pav. Santykinis kvėpuojamasis tūris, vidurkiai. III epizodas. CPO – cezario pjūvio operacija. \* pažymėtas statistiškai reikšmingas skirtumas ( $p < 0,05$ )

16 lentelė. Santykinis kvėpuojamasis tūris, I epizodas. NT – natūraliais takais gimę, CPO – po cezario pjūvio operacijos gimę naujagimiai

|     | Grupė | N  | Q1    | Mediana | Q3    | Mažiausia<br>reikšmė | Didžiausia<br>reikšmė | Mann-<br>Whitney<br>vidutiniai<br>rangai | p     |
|-----|-------|----|-------|---------|-------|----------------------|-----------------------|------------------------------------------|-------|
| 0.1 | CPO   | 28 | 0,46  | 0,53    | 0,81  | 0,30                 | 1,15                  | 23,94                                    | 0,708 |
|     | NT    | 17 | 0,43  | 0,53    | 0,70  | 0,20                 | 3,43                  | 22,43                                    |       |
| 0.2 | CPO   | 28 | 1,78  | 2,02    | 3,55  | 1,32                 | 6,07                  | 24,00                                    | 0,691 |
|     | NT    | 17 | 1,55  | 2,20    | 2,67  | 0,65                 | 6,39                  | 22,39                                    |       |
| 0.3 | CPO   | 28 | 3,58  | 5,47    | 8,09  | 2,68                 | 10,52                 | 24,41                                    | 0,574 |
|     | NT    | 17 | 3,62  | 5,33    | 6,60  | 1,72                 | 11,41                 | 22,14                                    |       |
| 0.4 | CPO   | 28 | 7,94  | 10,26   | 11,12 | 4,18                 | 13,41                 | 24,47                                    | 0,558 |
|     | NT    | 17 | 7,98  | 8,98    | 10,69 | 3,01                 | 13,76                 | 22,11                                    |       |
| 0.5 | CPO   | 28 | 10,02 | 11,65   | 12,92 | 7,46                 | 16,65                 | 23,00                                    | 1,000 |
|     | NT    | 17 | 10,07 | 11,77   | 13,16 | 6,93                 | 15,63                 | 23,00                                    |       |
| 0.6 | CPO   | 28 | 12,62 | 13,61   | 14,03 | 7,90                 | 16,02                 | 22,94                                    | 0,981 |
|     | NT    | 17 | 12,18 | 13,34   | 14,83 | 8,37                 | 20,71                 | 23,04                                    |       |
| 0.7 | CPO   | 28 | 12,10 | 13,89   | 15,55 | 9,34                 | 19,40                 | 18,12                                    | 0,052 |
|     | NT    | 17 | 13,92 | 15,66   | 16,95 | 9,89                 | 20,76                 | 25,96                                    |       |
| 0.8 | CPO   | 28 | 10,83 | 14,52   | 17,28 | 8,95                 | 23,22                 | 22,00                                    | 0,691 |
|     | NT    | 17 | 10,90 | 15,32   | 17,62 | 6,75                 | 21,58                 | 23,61                                    |       |
| 0.9 | CPO   | 28 | 13,37 | 14,91   | 17,44 | 5,64                 | 20,88                 | 26,12                                    | 0,215 |
|     | NT    | 17 | 11,24 | 14,38   | 16,51 | 5,32                 | 19,76                 | 21,11                                    |       |
| 1   | CPO   | 28 | 11,60 | 13,29   | 14,96 | 7,28                 | 19,86                 | 21,65                                    | 0,590 |
|     | NT    | 17 | 11,72 | 13,36   | 15,95 | 7,13                 | 22,90                 | 23,82                                    |       |

17 lentelė. Santykinis kvėpuojamasis tūris, II epizodas. NT – natūraliais takais gimę, CPO – po cezario pjūvio operacijos gimę naujagimiai

|     | Grupė | N  | Q1    | Mediana | Q3    | Mažiausia<br>reikšmė | Didžiausia<br>reikšmė | Mann-<br>Whitney<br>vidutiniai<br>rangai | p            |
|-----|-------|----|-------|---------|-------|----------------------|-----------------------|------------------------------------------|--------------|
| 0.1 | CPO   | 28 | 0,55  | 0,72    | 0,97  | 0,22                 | 1,86                  | 24,97                                    | 0,433        |
|     | NT    | 17 | 0,46  | 0,64    | 0,77  | 0,29                 | 3,76                  | 21,80                                    |              |
| 0.2 | CPO   | 28 | 2,24  | 3,21    | 3,68  | 1,77                 | 5,10                  | 28,00                                    | <b>0,047</b> |
|     | NT    | 17 | 1,84  | 2,04    | 3,52  | 1,15                 | 5,54                  | 19,96                                    |              |
| 0.3 | CPO   | 28 | 5,67  | 6,61    | 8,18  | 1,97                 | 11,97                 | 30,18                                    | <b>0,004</b> |
|     | NT    | 17 | 3,41  | 4,20    | 6,20  | 2,64                 | 8,08                  | 18,64                                    |              |
| 0.4 | CPO   | 28 | 9,08  | 10,46   | 11,72 | 2,76                 | 12,61                 | 28,71                                    | <b>0,023</b> |
|     | NT    | 17 | 7,22  | 9,18    | 10,49 | 4,02                 | 14,83                 | 19,54                                    |              |
| 0.5 | CPO   | 28 | 9,89  | 11,98   | 13,40 | 7,94                 | 15,29                 | 21,74                                    | 0,615        |
|     | NT    | 17 | 11,11 | 12,12   | 13,67 | 7,03                 | 17,74                 | 23,77                                    |              |
| 0.6 | CPO   | 28 | 13,12 | 14,00   | 15,10 | 8,32                 | 22,84                 | 23,82                                    | 0,743        |
|     | NT    | 17 | 11,71 | 13,84   | 16,02 | 8,22                 | 19,42                 | 22,50                                    |              |
| 0.7 | CPO   | 28 | 10,27 | 13,08   | 14,08 | 7,81                 | 16,57                 | 18,18                                    | 0,055        |
|     | NT    | 17 | 12,33 | 14,04   | 15,75 | 8,10                 | 21,83                 | 25,93                                    |              |
| 0.8 | CPO   | 28 | 10,39 | 12,29   | 15,44 | 7,55                 | 20,11                 | 20,41                                    | 0,303        |
|     | NT    | 17 | 10,52 | 14,67   | 16,56 | 6,11                 | 18,10                 | 24,57                                    |              |
| 0.9 | CPO   | 28 | 13,46 | 14,58   | 16,88 | 8,56                 | 20,25                 | 22,21                                    | 0,752        |
|     | NT    | 17 | 13,31 | 14,61   | 18,68 | 5,29                 | 21,78                 | 23,48                                    |              |
| 1   | CPO   | 28 | 11,44 | 13,04   | 14,24 | 5,66                 | 21,38                 | 21,65                                    | 0,590        |
|     | NT    | 17 | 11,69 | 13,13   | 14,59 | 8,47                 | 21,18                 | 23,82                                    |              |

18 lentelė. Santykinis kvėpuojamasis tūris, III epizodas. NT – natūraliais takais gimę, CPO – po cezario pjūvio operacijos gimę naujagimiai

|     | Grupė | N  | Q1    | Mediana | Q3    | Mažiausia reikšmė | Didžiausia reikšmė | Mann-Whitney vidutiniai rangai | p     |
|-----|-------|----|-------|---------|-------|-------------------|--------------------|--------------------------------|-------|
| 0.1 | CPO   | 28 | 0,42  | 0,65    | 0,91  | 0,31              | 4,20               | 21,00                          | 0,852 |
|     | NT    | 14 | 0,52  | 0,63    | 0,87  | 0,27              | 2,76               | 21,75                          |       |
| 0.2 | CPO   | 28 | 1,49  | 2,04    | 2,81  | 0,20              | 6,29               | 17,50                          | 0,135 |
|     | NT    | 14 | 2,01  | 2,32    | 3,28  | 1,00              | 4,50               | 23,50                          |       |
| 0.3 | CPO   | 28 | 3,67  | 5,03    | 7,64  | 3,06              | 10,40              | 22,64                          | 0,669 |
|     | NT    | 14 | 4,06  | 5,22    | 6,44  | 2,38              | 8,79               | 20,93                          |       |
| 0.4 | CPO   | 28 | 8,52  | 10,19   | 10,58 | 5,44              | 13,29              | 24,29                          | 0,298 |
|     | NT    | 14 | 7,67  | 9,61    | 10,55 | 4,34              | 11,98              | 20,11                          |       |
| 0.5 | CPO   | 28 | 10,54 | 11,66   | 13,57 | 9,91              | 15,06              | 24,07                          | 0,337 |
|     | NT    | 14 | 10,42 | 11,25   | 12,63 | 7,33              | 14,79              | 20,21                          |       |
| 0.6 | CPO   | 28 | 11,82 | 13,26   | 15,22 | 7,92              | 17,14              | 20,07                          | 0,594 |
|     | NT    | 14 | 12,06 | 13,69   | 15,46 | 8,68              | 20,91              | 22,21                          |       |
| 0.7 | CPO   | 28 | 11,86 | 15,63   | 16,36 | 9,69              | 21,00              | 21,36                          | 0,957 |
|     | NT    | 14 | 12,76 | 14,80   | 16,22 | 8,90              | 21,52              | 21,57                          |       |
| 0.8 | CPO   | 28 | 10,68 | 13,45   | 16,36 | 7,70              | 23,21              | 18,79                          | 0,311 |
|     | NT    | 14 | 12,24 | 14,51   | 17,00 | 9,35              | 23,19              | 22,86                          |       |
| 0.9 | CPO   | 28 | 12,31 | 14,79   | 19,52 | 6,82              | 20,19              | 23,29                          | 0,505 |
|     | NT    | 14 | 12,01 | 13,79   | 16,46 | 7,30              | 21,54              | 20,61                          |       |
| 1   | CPO   | 28 | 12,09 | 12,94   | 14,70 | 6,58              | 18,03              | 19,93                          | 0,557 |
|     | NT    | 14 | 12,43 | 13,35   | 15,42 | 6,09              | 19,93              | 22,29                          |       |

#### 4.2.3. Ventiliacijos centras

Šiame skyriuje lyginamas ventiliacijos centro verčių pasiskirstymas dviem kryptimis: iš dešinės į kairę bei ventraline ir dorsaline kryptimi. Rezultatai neparodė statistiškai reikšmingo ventiliacijos centro poslinkio nei tarp tiriamųjų grupių, nei kiekvienoje grupėje atskirai lyginant I, II ir III epizodus ( $p > 0,05$ ). Po CPO gimusiųjų grupėje, praėjus 90 min. po gimimo (pasiskirstymas iš dešinės į kairę), buvo daugiau naujagimių, kurių nustatyta ventiliacijos centro reikšmė neviršijo vidutinės. Ventraline ir dorsaline kryptimi ventiliacijos centro variacija po CPO gimusių naujagimių, praėjus 1 ir 1,5 val. po gimimo, beveik nesiskyrė. Nors tendencijos, susijusios su šiuo parametru, tam tikrose grupėse buvo matomos, jos nebuvo pakankamai reikšmingos, kad leistų daryti patikimas išvadas. Dėl nedidelės šių rezultatų įtakos tyrimo pagrindinėms išvadoms atskirų lentelių šiam parametru nebuvo pateikta. Ventiliacijos centro reikšmių visaverčiam interpretavimui būtų naudinga atlikti tolesnius EIT tyrimus, keičiant naujagimio kūno padėtį ir

atsižvelgiant į daugiau veiksmų.

#### 4.2.4. Kvėpuojamojo tūrio pasiskirstymas

Šiame skyriuje lyginamas natūraliais takais ir po CPO gimusiųjų dešiniojo ir kairiojo plaučio kvėpuojamojo tūrio sumos verčių pasiskirstymas per I, II ir III EIT įrašymo epizodus Tiriamosios ir kontrolinės grupių naujagimių kairiajame ir dešiniajame plautyje kvėpuojamojo tūrio pasiskirstymas reikšmingai nesiskyrė ( $p > 0,05$ ). Pirmo, antro ir trečio epizodo rodikliai statistiškai reikšmingai nesiskyrė nė vienos iš tiriamųjų grupių ( $p > 0,05$ ).

Nenustatyta statistiškai reikšmingų skirtumų lyginant gimusiųjų po CPO ir natūraliais takais kairės pusės rodiklius ( $p > 0,05$ ). Tačiau po CPO gimusių naujagimių dešiniajame plautyje įrašymo pabaigoje (III epizodas) buvo didesnis kvėpuojamojo tūrio pasiskirstymas link centrinių sričių ( $p < 0,05$ ) (19 lentelė). Natūraliais takais gimusių naujagimių iš karto po gimimo (I epizodas) buvo didesnis tūrio pasiskirstymas į centrines ventralines dešiniojo plaučio sritis ( $p < 0,05$ ) (20 lentelė).

Kvėpuojamojo tūrio pasiskirstymo reikšmių visaverčiam interpretavimui būtų naudinga atlikti tolesnius EIT tyrimus, keičiant naujagimio kūno padėtį ir atsižvelgiant į daugiau veiksmų.

19 lentelė. Dešiniojo ir kairiojo plaučio tikslinės sritys, III epizodas. V – ventralinis, CV – centrinis ventralinis, CD – centrinis dorsalinis, D – dorsalinis, NT – natūraliais takais gimę, CPO – po cezario pjūvio operacijos gimę naujagimiai

|                   |        | Gimimo būdas | N  | Q1    | Mediana | Q3    | Mažiausia reikšmė | Didžiausia reikšmė | Mann-Whitney vidutiniai rangai | p reikšmė    |
|-------------------|--------|--------------|----|-------|---------|-------|-------------------|--------------------|--------------------------------|--------------|
| Dešinysis plautis | V (%)  | CPO          | 28 | 7,13  | 14,30   | 14,59 | 1,42              | 14,77              | 17,50                          | 0,135        |
|                   |        | NT           | 14 | 11,81 | 14,55   | 14,80 | 4,69              | 15,13              | 23,50                          |              |
|                   | CV (%) | CPO          | 28 | 16,63 | 16,76   | 19,45 | 12,89             | 29,98              | 28,64                          | <b>0,008</b> |
|                   |        | NT           | 14 | 16,31 | 16,54   | 16,70 | 14,70             | 19,91              | 17,93                          |              |
|                   | CD (%) | CPO          | 28 | 18,02 | 18,25   | 27,53 | 17,74             | 36,67              | 26,86                          | <b>0,045</b> |
|                   |        | NT           | 14 | 17,80 | 17,90   | 21,32 | 17,65             | 28,55              | 18,82                          |              |
|                   | D (%)  | CPO          | 28 | 16,55 | 16,66   | 19,09 | 16,43             | 24,73              | 20,64                          | 0,749        |
|                   |        | NT           | 14 | 16,63 | 16,87   | 17,35 | 16,25             | 23,84              | 21,93                          |              |
| Kairysis plautis  | V (%)  | CPO          | 28 | 2,37  | 4,77    | 4,85  | 0,00              | 4,95               | 19,36                          | 0,423        |
|                   |        | NT           | 14 | 2,89  | 4,84    | 4,90  | 0,69              | 4,93               | 22,57                          |              |
|                   | CV (%) | CPO          | 28 | 6,09  | 7,13    | 7,19  | 0,05              | 10,74              | 20,14                          | 0,612        |
|                   |        | NT           | 14 | 7,07  | 7,13    | 7,21  | 3,44              | 7,35               | 22,18                          |              |
|                   | CD (%) | CPO          | 28 | 7,75  | 8,88    | 9,02  | 0,03              | 14,99              | 20,36                          | 0,669        |
|                   |        | NT           | 14 | 8,79  | 8,89    | 9,06  | 6,89              | 13,68              | 22,07                          |              |
|                   | D (%)  | CPO          | 28 | 8,87  | 13,17   | 13,30 | 0,00              | 14,30              | 17,21                          | 0,109        |
|                   |        | NT           | 14 | 13,11 | 13,24   | 13,42 | 10,46             | 18,64              | 23,64                          |              |

20 lentelė. Dešiniojo ir kairiojo plaučio centrinės ventralinės sritys, trijų epizodų palyginimas. NT – natūraliais takais gimę, CPO – po cezario pjūvio operacijos gimę naujagimiai

|                                           | Grupė |                  | Mann-Whitney<br>vidutiniai rangai | p            |
|-------------------------------------------|-------|------------------|-----------------------------------|--------------|
| Centrinis<br>ventralinis<br>dešinysis (%) | CPO   | Pirmas epizodas  | 1,71                              | 0,424        |
|                                           |       | Antras epizodas  | 2,14                              |              |
|                                           |       | Trečias epizodas | 2,14                              |              |
|                                           | NT    | Pirmas epizodas  | 2,52                              | <b>0,002</b> |
|                                           |       | Antras epizodas  | 1,89                              |              |
|                                           |       | Trečias epizodas | 1,59                              |              |
| Centrinis<br>ventralinis<br>kairysis (%)  | CPO   | Pirmas epizodas  | 2,14                              | 0,257        |
|                                           |       | Antras epizodas  | 2,21                              |              |
|                                           |       | Trečias epizodas | 1,64                              |              |
|                                           | NT    | Pirmas epizodas  | 1,91                              | 0,509        |
|                                           |       | Antras epizodas  | 2,18                              |              |
|                                           |       | Trečias epizodas | 1,91                              |              |

#### 4.3. Spontaniškai kvėpuojančių išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių EIT parametrų palyginimas

##### 4.3.1. „Nebylios“ sritys

Statistiškai reikšmingų skirtumų tarp vėlyvųjų neišnešiotų ir išnešiotų naujagimių buvo nustatyta nepriklausomose plaučių srityse (priekinėse arba mažiau veikiamose gravitacijos) per pirmą epizodą (21 lentelė). Vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių grupėje buvo nustatyta daugiau „nebylių“ sričių ( $p < 0,001$ ). Statistiškai reikšmingų skirtumų tarp grupių taip pat matoma priklausomose plaučių srityse (užpakalinėse arba labiau veikiamose gravitacijos) per visus tris epizodus – vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių grupėje nustatyta daugiau „nebylių“ sričių ( $p < 0,001$  visuose trijuose įrašuose) (21–23 lentelės).

21 lentelė. „Nebylios“ sritys, I epizodas

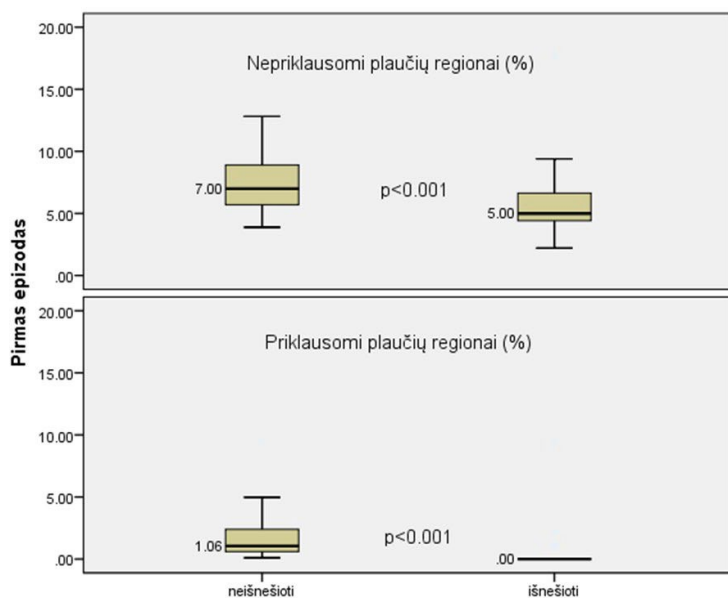
|                                         | Grupė                    | N  | Q1   | Mediana | Q3   | Mažiausia<br>reikšmė | Didžiausia<br>reikšmė | Mann-Whitney<br>vidutiniai<br>rangai | p<br>reikšmė     |
|-----------------------------------------|--------------------------|----|------|---------|------|----------------------|-----------------------|--------------------------------------|------------------|
| Nepriklausomos<br>plaučių sritys<br>(%) | Vėlyvieji<br>neišnešioti | 51 | 5,69 | 7,00    | 8,90 | 3,88                 | 16,98                 | 58,10                                | <b>&lt;0,001</b> |
|                                         | Išnešioti                | 45 | 4,42 | 5,00    | 6,89 | 2,21                 | 17,68                 | 37,62                                |                  |
| Priklausomos<br>plaučių sritys<br>(%)   | Vėlyvieji<br>neišnešioti | 51 | 0,59 | 1,06    | 2,39 | 0,10                 | 9,39                  | 67,75                                | <b>&lt;0,001</b> |
|                                         | Išnešioti                | 45 | 0,00 | 0,00    | 0,00 | 0,00                 | 9,39                  | 26,68                                |                  |

22 lentelė. „Nebylios“ sritys, II epizodas

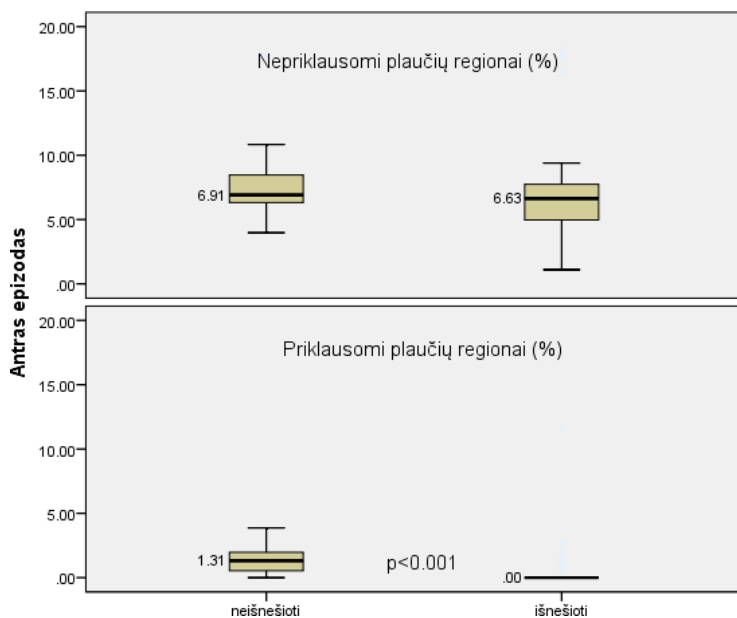
|                                   | Grupė                 | N  | Q1   | Mediana | Q3   | Mažiausia reikšmė | Didžiausia reikšmė | Mann-Whitney vidutiniai rangai | p reikšmė |
|-----------------------------------|-----------------------|----|------|---------|------|-------------------|--------------------|--------------------------------|-----------|
| Nepriklausomos plaučių sritys (%) | Vėlyvieji neišnešioti | 45 | 6,28 | 6,91    | 8,50 | 3,97              | 17,70              | 50,47                          | 0,071     |
|                                   | Išnešioti             | 45 | 4,97 | 6,63    | 7,97 | 1,10              | 18,23              | 40,53                          |           |
| Priklausomos plaučių sritys (%)   | Vėlyvieji neišnešioti | 45 | 0,52 | 1,31    | 2,00 | 0,00              | 5,50               | 61,66                          | <0,001    |
|                                   | Išnešioti             | 45 | 0,00 | 0,00    | 0,00 | 0,00              | 11,60              | 29,34                          |           |

23 lentelė. „Nebylios“ sritys, III epizodas

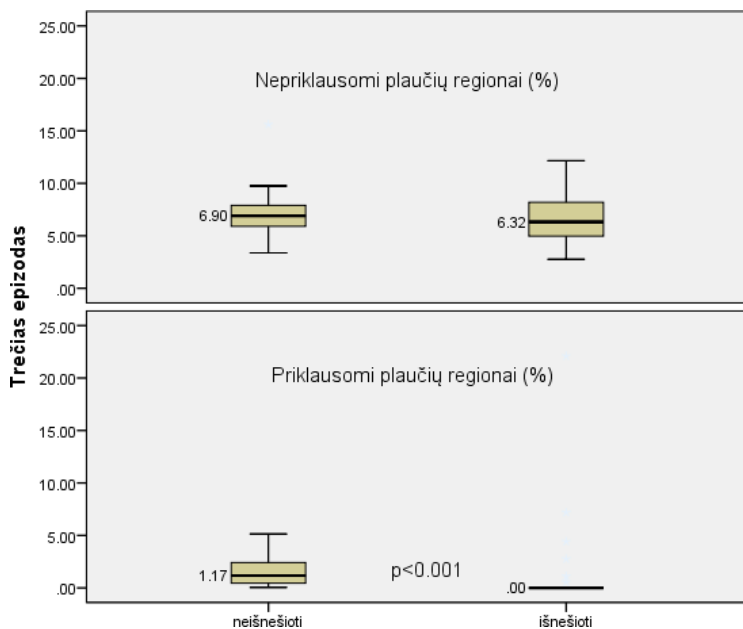
|                                   | Grupė                 | N  | Q1   | Mediana | Q3   | Mažiausia reikšmė | Didžiausia reikšmė | Mann-Whitney vidutiniai rangai | p reikšmė |
|-----------------------------------|-----------------------|----|------|---------|------|-------------------|--------------------|--------------------------------|-----------|
| Nepriklausomos plaučių sritys (%) | Vėlyvieji neišnešioti | 42 | 5,90 | 6,90    | 7,93 | 3,37              | 15,61              | 45,82                          | 0,212     |
|                                   | Išnešioti             | 42 | 4,97 | 6,32    | 8,21 | 0,00              | 16,02              | 39,18                          |           |
| Priklausomos plaučių sritys (%)   | Vėlyvieji neišnešioti | 42 | 0,42 | 1,17    | 2,44 | 0,05              | 6,71               | 59,07                          | <0,001    |
|                                   | Išnešioti             | 42 | 0,00 | 0,00    | 0,00 | 0,00              | 22,10              | 25,93                          |           |



18 pav. Savarankiškai kvėpuojančių išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių grupių palyginimas. „Nebylios“ plaučių sritys, I epizodas



19 pav. Savarankiškai kvėpuojančių išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių grupių palyginimas. „Nebylios“ plaučių sritys, II epizodas



20 pav. Savarankiškai kvėpuojančių išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių grupių palyginimas. „Nebylios“ plaučių sritys, III epizodas

### 4.3.2. Santykinė plaučių audinio įtemptis

Apatinio kvartilio (Q-) ir medianos (vidutiniai 50 proc. santykinės įtempties verčių) statistškai reikšmingų skirtumų tarp vėlyvųjų neišnešiotų ir išnešiotų naujagimių nebuvo ( $p > 0,05$ ) (24–25 lentelė). Vėlyvųjų neišnešiotų ir išnešiotų naujagimių statistškai reikšmingas viršutinio kvartilio (Q+) verčių skirtumas buvo nustatytas III epizode, didesni su įtemptimi susiję pokyčiai buvo išnešiotų naujagimių grupėje ( $p < 0,05$ ) (26 lentelė).

24 lentelė. Santykinė įtemptis, I epizodas

|         | Grupė                 | N  | Q1   | Mediana | Q3   | Mažiausia reikšmė | Didžiausia reikšmė | Mann-Whitney vidutiniai rangai | p reikšmė |
|---------|-----------------------|----|------|---------|------|-------------------|--------------------|--------------------------------|-----------|
| Q-      | Vėlyvieji neišnešioti | 51 | 0,45 | 0,46    | 0,48 | 0,36              | 0,53               | 46,33                          | 0,417     |
|         | Išnešioti             | 45 | 0,44 | 0,47    | 0,49 | 0,33              | 0,60               | 50,96                          |           |
| Mediana | Vėlyvieji neišnešioti | 51 | 0,62 | 0,63    | 0,66 | 0,48              | 0,70               | 46,82                          | 0,530     |
|         | Išnešioti             | 45 | 0,60 | 0,65    | 0,67 | 0,54              | 0,76               | 50,40                          |           |
| +Q      | Vėlyvieji neišnešioti | 51 | 0,79 | 0,81    | 0,82 | 0,72              | 0,85               | 46,12                          | 0,372     |
|         | Išnešioti             | 45 | 0,79 | 0,81    | 0,84 | 0,56              | 0,89               | 51,20                          |           |

25 lentelė. Santykinė įtemptis, II epizodas

|         | Grupė                 | N  | Q1   | Mediana | Q3   | Mažiausia reikšmė | Didžiausia reikšmė | Mann-Whitney vidutiniai rangai | p reikšmė |
|---------|-----------------------|----|------|---------|------|-------------------|--------------------|--------------------------------|-----------|
| Q-      | Vėlyvieji neišnešioti | 45 | 0,43 | 0,46    | 0,48 | 0,02              | 0,53               | 44,00                          | 0,586     |
|         | Išnešioti             | 45 | 0,44 | 0,46    | 0,49 | 0,33              | 0,56               | 47,00                          |           |
| Mediana | Vėlyvieji neišnešioti | 45 | 0,61 | 0,63    | 0,65 | 0,51              | 0,72               | 42,16                          | 0,225     |
|         | Išnešioti             | 45 | 0,58 | 0,64    | 0,67 | 0,51              | 0,74               | 48,84                          |           |
| Q+      | Vėlyvieji neišnešioti | 45 | 0,78 | 0,80    | 0,82 | 0,69              | 0,85               | 42,67                          | 0,304     |
|         | Išnešioti             | 45 | 0,78 | 0,81    | 0,83 | 0,56              | 0,88               | 48,33                          |           |

26 lentelė. Santykinė įtemptis, III epizodas

|         | Grupė                 | N  | Q1   | Mediana | Q3   | Mažiausia reikšmė | Didžiausia reikšmė | Mann-Whitney vidutiniai rangai | p reikšmė    |
|---------|-----------------------|----|------|---------|------|-------------------|--------------------|--------------------------------|--------------|
| Q-      | Vėlyvieji neišnešioti | 42 | 0,43 | 0,46    | 0,48 | 0,31              | 0,54               | 38,21                          | 0,107        |
|         | Išnešioti             | 42 | 0,44 | 0,47    | 0,48 | 0,35              | 0,55               | 46,79                          |              |
| Mediana | Vėlyvieji neišnešioti | 42 | 0,61 | 0,63    | 0,65 | 0,47              | 0,70               | 39,17                          | 0,210        |
|         | Išnešioti             | 42 | 0,60 | 0,65    | 0,68 | 0,53              | 0,74               | 45,83                          |              |
| Q+      | Vėlyvieji neišnešioti | 42 | 0,78 | 0,79    | 0,81 | 0,64              | 0,85               | 36,33                          | <b>0,021</b> |

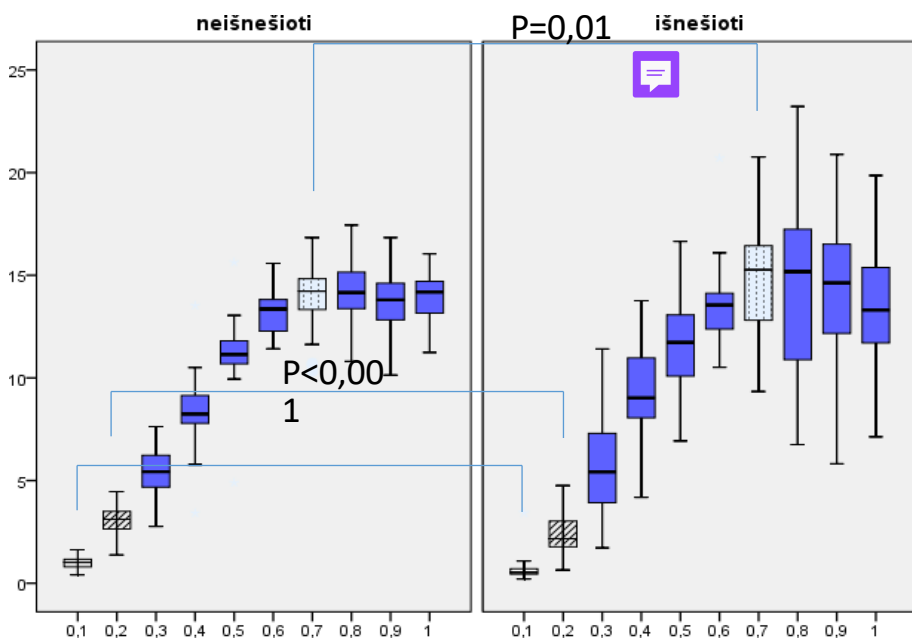
|  | Grupė     | N  | Q1   | Mediana | Q3   | Mažiausia<br>reikšmė | Didžiausia<br>reikšmė | Mann-Whitney<br>vidutiniai rangai | p<br>reikšmė |
|--|-----------|----|------|---------|------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|--------------|
|  | Išnešioti | 42 | 0,80 | 0,81    | 0,84 | 0,65                 | 0,87                  | 48,67                             |              |

Vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių su įtemptimi susiję pokyčiai buvo didesni nei išnešiotų naujagimių 10 proc. ir 20 proc. santykinės įtempties kategorijose pagal visus tris epizodus (t. y. mažesni įtempties pokyčiai – „pilkos“ sritys – užima didesnę plaučių vaizdo dalį tiriamojoje grupėje), atitinkamai  $p < 0,001$  ir  $p = 0,001$  I epizode;  $p < 0,001$  ir  $p = 0,039$  II epizode;  $p < 0,001$  ir  $p < 0,001$  III epizode (27–29 lentelės). Ir atvirkščiai, išnešiotų naujagimių su įtemptimi susiję pokyčiai buvo didesni 70 proc. kategorijoje, I epizode ( $p = 0,012$ ), 50 proc. ir 90 proc. įtempties kategorijose, II epizode (atitinkamai  $p = 0,039$  ir  $p = 0,005$ ) (27–28 lentelės, 21 pav.).

27 lentelė. Santykinis kvėpuojamasis tūris, I epizodas

|     | Grupė                    | N  | Q1    | Mediana | Q3    | Mažiausia<br>reikšmė | Didžiausia<br>reikšmė | Mann-Whitney<br>vidutiniai rangai | p<br>reikšmė     |
|-----|--------------------------|----|-------|---------|-------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|------------------|
| 0.1 | Vėlyvieji<br>neišnešioti | 51 | 0,79  | 1,01    | 1,18  | 0,41                 | 2,12                  | 63,25                             | <b>&lt;0,001</b> |
|     | Išnešioti                | 45 | 0,44  | 0,53    | 0,74  | 0,20                 | 3,43                  | 31,78                             |                  |
| 0.2 | Vėlyvieji<br>neišnešioti | 51 | 2,64  | 3,12    | 3,51  | 1,38                 | 4,91                  | 57,22                             | <b>0,001</b>     |
|     | Išnešioti                | 45 | 1,73  | 2,17    | 3,26  | 0,65                 | 6,39                  | 38,62                             |                  |
| 0.3 | Vėlyvieji<br>neišnešioti | 51 | 4,64  | 5,43    | 6,25  | 2,77                 | 9,94                  | 49,20                             | 0,794            |
|     | Išnešioti                | 45 | 3,72  | 5,42    | 7,38  | 1,72                 | 11,41                 | 47,71                             |                  |
| 0.4 | Vėlyvieji<br>neišnešioti | 51 | 7,78  | 8,25    | 9,22  | 3,42                 | 13,52                 | 43,29                             | 0,051            |
|     | Išnešioti                | 45 | 8,01  | 9,03    | 11,00 | 3,01                 | 13,76                 | 54,40                             |                  |
| 0.5 | Vėlyvieji<br>neišnešioti | 51 | 10,63 | 11,14   | 11,84 | 4,89                 | 15,63                 | 46,22                             | 0,392            |
|     | Išnešioti                | 45 | 10,08 | 11,73   | 13,10 | 6,93                 | 16,65                 | 51,09                             |                  |
| 0.6 | Vėlyvieji<br>neišnešioti | 51 | 12,26 | 13,36   | 13,85 | 9,25                 | 15,58                 | 46,67                             | 0,492            |
|     | Išnešioti                | 45 | 12,36 | 13,55   | 14,28 | 7,90                 | 20,71                 | 50,58                             |                  |
| 0.7 | Vėlyvieji<br>neišnešioti | 51 | 13,31 | 14,22   | 14,84 | 10,31                | 16,84                 | 41,78                             | <b>0,012</b>     |
|     | Išnešioti                | 45 | 12,70 | 15,27   | 16,45 | 9,34                 | 20,76                 | 56,11                             |                  |

|     | Grupė                    | N  | Q1    | Mediana | Q3    | Mažiausia<br>reikšmė | Didžiausia<br>reikšmė | Mann-Whitney<br>vidutiniai rangai | p<br>reikšmė |
|-----|--------------------------|----|-------|---------|-------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|--------------|
| 0.8 | Vėlyvieji<br>neišnešioti | 51 | 13,25 | 14,15   | 15,15 | 9,48                 | 17,44                 | 45,96                             | 0,342        |
|     | Išnešioti                | 45 | 10,88 | 15,17   | 17,28 | 6,75                 | 23,22                 | 51,38                             |              |
| 0.9 | Vėlyvieji<br>neišnešioti | 51 | 12,79 | 13,80   | 14,64 | 8,66                 | 16,83                 | 43,80                             | 0,079        |
|     | Išnešioti                | 45 | 12,00 | 14,63   | 16,63 | 5,32                 | 20,88                 | 53,82                             |              |
| 1   | Vėlyvieji<br>neišnešioti | 51 | 13,04 | 14,18   | 14,71 | 9,65                 | 16,04                 | 50,94                             | 0,361        |
|     | Išnešioti                | 45 | 11,68 | 13,31   | 15,54 | 7,13                 | 22,90                 | 45,73                             |              |



21 pav. Santykinio kvėpuojamojo tūrio verčių pasiskirstymas pagal skirtingas santykinės įtempties kategorijas (išnešioti ir vėlyvieji neišnešioti naujagimiai)

28 lentelė. Santykinis kvėpuojamasis tūris, II epizodas

|     | Grupė                    | N  | Q1   | Mediana | Q3   | Mažiausia<br>reikšmė | Didžiausia<br>reikšmė | Mann-Whitney<br>vidutiniai rangai | p<br>reikšmė |
|-----|--------------------------|----|------|---------|------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|--------------|
| 0.1 | Vėlyvieji<br>neišnešioti | 45 | 0,77 | 0,94    | 1,17 | 0,45                 | 3,12                  | 57,24                             | <0,001       |
|     | Išnešioti                | 45 | 0,52 | 0,66    | 0,81 | 0,22                 | 3,76                  | 33,76                             |              |
| 0.2 | Vėlyvieji<br>neišnešioti | 45 | 2,52 | 3,09    | 3,73 | 1,82                 | 13,87                 | 51,18                             | 0,039        |
|     | Išnešioti                | 45 | 1,94 | 2,66    | 3,62 | 1,15                 | 5,54                  | 39,82                             |              |
| 0.3 | Vėlyvieji<br>neišnešioti | 45 | 4,94 | 5,69    | 6,80 | 3,96                 | 14,08                 | 49,22                             | 0,176        |
|     | Išnešioti                | 45 | 3,60 | 5,52    | 7,09 | 1,97                 | 11,97                 | 41,78                             |              |

|     | Grupė                 | N  | Q1    | Mediana | Q3    | Mažiausia reikšmė | Didžiausia reikšmė | Mann-Whitney vidutiniai rangai | p reikšmė |
|-----|-----------------------|----|-------|---------|-------|-------------------|--------------------|--------------------------------|-----------|
| 0.4 | Vėlyvieji neišnešioti | 45 | 7,81  | 8,93    | 9,37  | 3,85              | 12,31              | 40,58                          | 0,074     |
|     | Išnešioti             | 45 | 7,62  | 9,53    | 11,00 | 2,76              | 14,83              | 50,42                          |           |
| 0.5 | Vėlyvieji neišnešioti | 45 | 10,69 | 11,45   | 12,12 | 4,87              | 14,67              | 39,82                          | 0,039     |
|     | Išnešioti             | 45 | 10,62 | 12,06   | 13,53 | 7,03              | 17,74              | 51,18                          |           |
| 0.6 | Vėlyvieji neišnešioti | 45 | 12,21 | 13,02   | 14,05 | 9,98              | 18,90              | 40,71                          | 0,082     |
|     | Išnešioti             | 45 | 12,12 | 13,85   | 15,79 | 8,22              | 22,84              | 50,29                          |           |
| 0.7 | Vėlyvieji neišnešioti | 45 | 13,37 | 14,08   | 15,07 | 10,10             | 21,49              | 49,27                          | 0,171     |
|     | Išnešioti             | 45 | 11,74 | 13,66   | 15,27 | 7,81              | 21,83              | 41,73                          |           |
| 0.8 | Vėlyvieji neišnešioti | 45 | 13,12 | 14,01   | 14,86 | 9,19              | 15,91              | 45,44                          | 0,984     |
|     | Išnešioti             | 45 | 10,39 | 14,49   | 16,23 | 6,11              | 20,11              | 45,56                          |           |
| 0.9 | Vėlyvieji neišnešioti | 45 | 13,02 | 13,68   | 14,59 | 7,00              | 17,72              | 37,84                          | 0,005     |
|     | Išnešioti             | 45 | 13,43 | 14,58   | 17,78 | 5,29              | 21,78              | 53,16                          |           |
| 1   | Vėlyvieji neišnešioti | 45 | 12,68 | 13,66   | 14,68 | 8,04              | 18,36              | 48,76                          | 0,237     |
|     | Išnešioti             | 45 | 11,62 | 13,04   | 14,46 | 5,66              | 21,38              | 42,24                          |           |

29 lentelė. Santykinis kvėpuojamasis tūris, III epizodas

|     | Grupė                 | N  | Q1      | Mediana | Q3    | Mažiausia reikšmė | Didžiausia reikšmė | Mann-Whitney vidutiniai rangai | p reikšmė |
|-----|-----------------------|----|---------|---------|-------|-------------------|--------------------|--------------------------------|-----------|
| 0.1 | Vėlyvieji neišnešioti | 42 | 0,75    | 0,95    | 1,25  | 0,58              | 1,98               | 53,95                          | <0,001    |
|     | Išnešioti             | 42 | 0,50    | 0,63    | 0,86  | 0,27              | 4,20               | 31,05                          |           |
| 0.2 | Vėlyvieji neišnešioti | 42 | 2,51    | 3,12    | 3,94  | 1,57              | 7,68               | 51,95                          | <0,001    |
|     | Išnešioti             | 42 | 1,82    | 2,22    | 3,25  | 0,20              | 6,29               | 33,05                          |           |
| 0.3 | Vėlyvieji neišnešioti | 42 | 5,01    | 5,79    | 6,69  | 2,91              | 9,77               | 46,29                          | 0,155     |
|     | Išnešioti             | 42 | 3,93    | 5,14    | 7,13  | 2,38              | 10,40              | 38,71                          |           |
| 0.4 | Vėlyvieji neišnešioti | 42 | 7,81    | 8,83    | 9,71  | 5,55              | 12,92              | 38,17                          | 0,103     |
|     | Išnešioti             | 42 | 7,72    | 9,77    | 10,53 | 4,34              | 13,29              | 46,83                          |           |
| 0.5 | Vėlyvieji neišnešioti | 42 | 10,69   | 11,39   | 12,19 | 8,77              | 17,40              | 42,29                          | 0,936     |
|     | Išnešioti             | 42 | 10,47   | 11,26   | 12,99 | 7,33              | 15,06              | 42,71                          |           |
| 0.6 | Vėlyvieji neišnešioti | 42 | 12,43   | 12,94   | 14,10 | 10,84             | 19,80              | 39,76                          | 0,304     |
|     | Išnešioti             | 42 | 11,95   | 13,42   | 15,22 | 7,92              | 20,91              | 45,24                          |           |
| 0.7 | Vėlyvieji neišnešioti | 42 | 13,20   | 14,03   | 14,78 | 10,98             | 16,53              | 39,05                          | 0,195     |
|     | Išnešioti             | 42 | 12,59   | 14,86   | 16,36 | 8,90              | 21,52              | 45,95                          |           |
| 0.8 | Vėlyvieji neišnešioti | 42 | 12,9097 | 13,96   | 15,12 | 8,51              | 18,81              | 41,67                          | 0,754     |

|     | Grupė                 | N  | Q1    | Mediana | Q3    | Mažiausia reikšmė | Didžiausia reikšmė | Mann-Whitney vidutiniai rangai | p reikšmė |
|-----|-----------------------|----|-------|---------|-------|-------------------|--------------------|--------------------------------|-----------|
| 0.9 | Išnešioti             | 42 | 11,83 | 14,16   | 16,47 | 7,70              | 23,21              | 43,33                          | 0,295     |
|     | Vėlyvieji neišnešioti | 42 | 12,79 | 13,46   | 14,77 | 7,87              | 16,66              | 39,71                          |           |
|     | Išnešioti             | 42 | 12,10 | 13,88   | 16,79 | 6,82              | 21,54              | 45,29                          |           |
| 1   | Vėlyvieji neišnešioti | 42 | 12,54 | 13,52   | 14,37 | 6,50              | 16,90              | 42,90                          | 0,879     |
|     | Išnešioti             | 42 | 12,39 | 13,10   | 15,23 | 6,09              | 19,93              | 42,10                          |           |

#### 4.3.3. Ventiliacijos centras

Statistiškai reikšmingų su šiuo parametru susijusių skirtumų buvo nustatyta per visus tris epizodus, ventraline ir dorsaline kryptimi ( $p < 0,001$ ,  $p < 0,001$ ,  $p < 0,001$ ,  $p < 0,001$ ). Vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių oringumo rodikliai ventraline ir dorsaline kryptimi buvo didesni nei išnešiotų naujagimių. Vėlyvųjų neišnešiotų ir išnešiotų naujagimių oringumo statistiškai reikšmingų skirtumų iš dešinės į kairę nebuvo ( $p > 0,05$ ). Dėl nedidelės šių rezultatų įtakos tyrimo pagrindinėms išvadoms atskirų lentelių šiam parametru nebuvo pateikta. Ventiliacijos centro reikšmių visaverčiam interpretavimui būtų naudinga atlikti tolesnius EIT tyrimus, keičiant naujagimio kūno padėtį ir atsižvelgiant į daugiau veiksnių.

#### 4.3.4. Kvėpuojamojo tūrio pasiskirstymas

Tiriamosios ir kontrolinės grupių kvėpuojamojo tūrio pasiskirstymas kairiajame ir dešiniajame plaučiuose pagal laiką reikšmingai nesiskyrė ( $p > 0,05$ ). Tačiau pastebėta reikšmingų dešiniojo plaučio kvėpuojamojo tūrio pasiskirstymo skirtumų visuose trijuose įrašuose ( $p < 0,01$ ). Lyginant su vėlyvaisiais neišnešiotais naujagimiais, išnešiotų naujagimių dešiniojo plaučio kvėpuojamasis tūris pasiskirstęs labiau į ventralinę ir centrinę ventralinę sritis (I epizode:  $p < 0,001$ , II epizode:  $p < 0,001$ ,  $p = 0,001$ , III epizode:  $p < 0,001$ ,  $p = 0,001$ ). Atvirkščiai, vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių kvėpuojamasis tūris pasiskirstęs į centrines dorsalines ir dorsalines dešiniojo plaučio sritis, lyginant su išnešiotais naujagimiais ( $p < 0,001$  I ir II epizoduose;  $p = 0,006$  ir  $p < 0,001$  atitinkamai III epizode). Visuose trijuose epizoduose nustatytas reikšmingas išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių kairiojo plaučio kvėpuojamojo tūrio pasiskirstymo skirtingose srityse skirtumas. Apskritai išnešiotų naujagimių kvėpuojamasis tūris buvo pasiskirstęs į ventralines kairiojo plaučio sritis ( $p < 0,001$  I ir II epizoduose;  $p = 0,001$  III epizode), o vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių kvėpuojamasis tūris buvo pasiskirstęs į centrines nugarines sritis ( $p < 0,001$ ). Be to, nustatyta, kad

kairiojo plaučio centrinės ventralinės ir dorsalinės sritys naujagimių grupėse skyrėsi, nors ir nenuosekliai. III epizode vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių kvėpuojamasis tūris pasiskirstė į centrinės ventralinės kairiojo plaučio sritis ( $p = 0,046$ ). I epizode šios grupės naujagimių kvėpuojamasis tūris pasiskirstė į kairiojo plaučio nugarines sritis ( $p = 0,023$ ). Kvėpuojamojo tūrio pasiskirstymo reikšmių visaverčiam interpretavimui būtų naudinga atlikti tolesnius EIT tyrimus, keičiant naujagimio kūno padėtį ir atsižvelgiant į daugiau veiksnių.

#### 4.4. Natūraliais takais gimusių išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių EIT parametrų palyginimas

##### 4.4.1. „Nebylios“ sritys

Statistiškai reikšmingų skirtumų tarp natūraliais takais gimusių išnešiotų ir VNN, susijusių su „nebyliomis“ (neventiliuojamomis arba mažai ventiliuojamomis) sritimis, buvo matoma tik I epizode, nuo gravitacijos nepriklausomose plaučių srityse ( $p < 0,05$ ), neišnešiotų naujagimių grupėje „nebylių“ sričių buvo daugiau (30 lentelė). Nuo gravitacijos priklausomose srityse išnešiotų naujagimių ir VNN rodikliai statistiškai reikšmingai skyrėsi visuose trijuose epizoduose ( $p < 0,001$ ,  $p < 0,001$ ,  $p < 0,001$ ), neišnešiotų naujagimių grupėje „nebylių“ sričių buvo daugiau (30–32 lentelės, 22 pav.).

30 lentelė. „Nebylios“ sritys, I epizodas

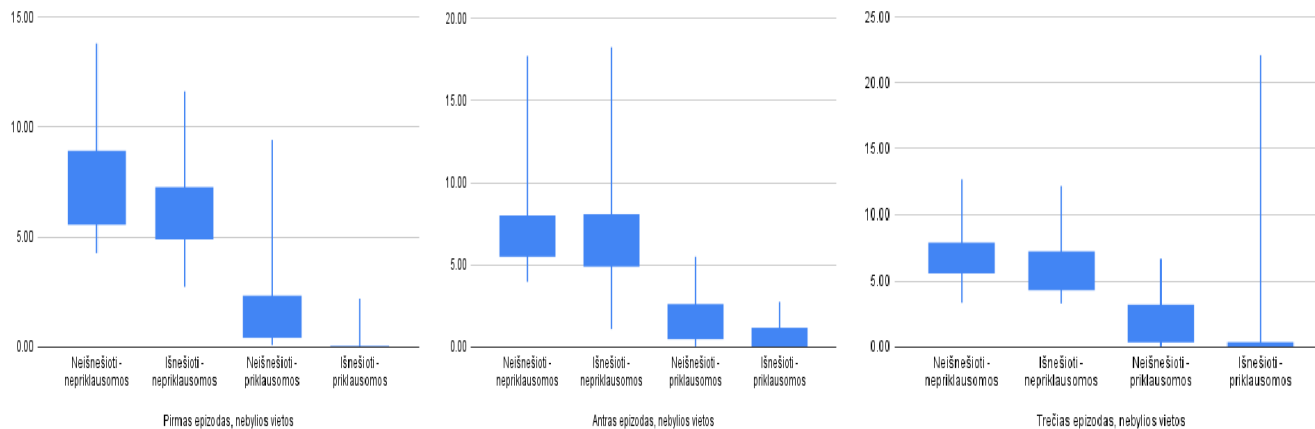
|                                   | Grupė       | N  | Q1   | Mediana | Q3   | Mažiausia reikšmė | Didžiausia reikšmė | Mann-Whitney vidutiniai rangai | p reikšmė        |
|-----------------------------------|-------------|----|------|---------|------|-------------------|--------------------|--------------------------------|------------------|
| Nepriklausomos plaučių sritys (%) | Neišnešioti | 36 | 5,64 | 6,81    | 8,84 | 4,29              | 13,79              | 30,17                          | <b>0,030</b>     |
|                                   | Išnešioti   | 17 | 4,97 | 5,52    | 7,18 | 2,75              | 11,60              | 20,29                          |                  |
| Priklausomos plaučių sritys (%)   | Neišnešioti | 36 | 0,48 | 1,01    | 2,29 | 0,10              | 9,39               | 34,75                          | <b>&lt;0,001</b> |
|                                   | Išnešioti   | 17 | 0,00 | 0,00    | 0,00 | 0,00              | 2,21               | 10,59                          |                  |

31 lentelė. „Nebylios“ sritys, II epizodas

|                                         | Grupė       | N  | Q1   | Mediana | Q3   | Mažiausia<br>reikšmė | Didžiausia<br>reikšmė | Mann-<br>Whitney<br>vidutiniai<br>rangai | p<br>reikšmė |
|-----------------------------------------|-------------|----|------|---------|------|----------------------|-----------------------|------------------------------------------|--------------|
| Nepriklausomos<br>plaučių sritys<br>(%) | Neišnešioti | 32 | 5,57 | 6,70    | 7,93 | 3,97                 | 17,70                 | 26,19                                    | 0,425        |
|                                         | Išnešioti   | 17 | 4,97 | 6,08    | 8,01 | 1,10                 | 18,23                 | 22,76                                    |              |
| Priklausomos<br>plaučių sritys<br>(%)   | Neišnešioti | 32 | 0,56 | 1,42    | 2,54 | 0,04                 | 5,50                  | 30,31                                    | <0,001       |
|                                         | Išnešioti   | 17 | 0,00 | 0,00    | 1,10 | 0,00                 | 2,76                  | 15,00                                    |              |

32 lentelė. „Nebylios“ sritys, III epizodas

|                                         | Grupė       | N  | Q1   | Mediana | Q3   | Mažiausia<br>reikšmė | Didžiausia<br>reikšmė | Mann-<br>Whitney<br>vidutiniai<br>rangai | p<br>reikšmė |
|-----------------------------------------|-------------|----|------|---------|------|----------------------|-----------------------|------------------------------------------|--------------|
| Nepriklausomos<br>plaučių sritys<br>(%) | Neišnešioti | 31 | 5,70 | 6,78    | 7,85 | 3,37                 | 12,65                 | 25,03                                    | 0,122        |
|                                         | Išnešioti   | 14 | 4,42 | 5,25    | 7,18 | 3,31                 | 12,15                 | 18,50                                    |              |
| Priklausomos<br>plaučių sritys<br>(%)   | Neišnešioti | 31 | 0,45 | 1,19    | 3,13 | 0,05                 | 6,71                  | 27,68                                    | <0,001       |
|                                         | Išnešioti   | 14 | 0,00 | 0,00    | 0,28 | 0,00                 | 22,10                 | 12,64                                    |              |



22 pav. Natūraliais takais gimusių IN ir VNN „nebylių“ sričių I, II ir III epizodų verčių palyginimas nuo gravitacijos priklausomose ir nepriklausomose plaučių srityse

#### 4.4.2. Santykinė plaučių audinio įtemptis

Nenustatyta statistiškai reikšmingų skirtumų lyginant išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių apatinio kvartilio (Q-), viršutinio kvartilio (Q+) bei medianos rodiklius ( $p > 0,05$ ) (33– 35 lentelės).

33 lentelė. Santykinė įtemptis, I epizodas

|         | Grupė       | N  | Q1   | Mediana | Q3   | Mažiausia reikšmė | Didžiausia reikšmė | Mann-Whitney vidutiniai rangai | p reikšmė |
|---------|-------------|----|------|---------|------|-------------------|--------------------|--------------------------------|-----------|
| Q-      | Neišnešioti | 36 | 0,45 | 0,47    | 0,48 | 0,36              | 0,53               | 27,31                          | 0,834     |
|         | Išnešioti   | 17 | 0,41 | 0,46    | 0,50 | 0,38              | 0,55               | 26,35                          |           |
| Mediana | Neišnešioti | 36 | 0,62 | 0,63    | 0,65 | 0,48              | 0,70               | 26,28                          | 0,620     |
|         | Išnešioti   | 17 | 0,60 | 0,65    | 0,67 | 0,57              | 0,73               | 28,53                          |           |
| Q+      | Neišnešioti | 36 | 0,78 | 0,81    | 0,82 | 0,72              | 0,85               | 26,50                          | 0,732     |
|         | Išnešioti   | 17 | 0,78 | 0,81    | 0,83 | 0,61              | 0,87               | 28,06                          |           |

34 lentelė. Santykinė įtemptis, II epizodas

|         | Grupė       | N  | Q1   | Mediana | Q3   | Mažiausia reikšmė | Didžiausia reikšmė | Mann-Whitney vidutiniai rangai | p reikšmė |
|---------|-------------|----|------|---------|------|-------------------|--------------------|--------------------------------|-----------|
| Q-      | Neišnešioti | 32 | 0,43 | 0,45    | 0,48 | 0,02              | 0,53               | 26,41                          | 0,345     |
|         | Išnešioti   | 17 | 0,41 | 0,45    | 0,46 | 0,35              | 0,54               | 22,35                          |           |
| Mediana | Neišnešioti | 32 | 0,61 | 0,62    | 0,65 | 0,51              | 0,72               | 25,66                          | 0,659     |
|         | Išnešioti   | 17 | 0,58 | 0,61    | 0,66 | 0,53              | 0,73               | 23,76                          |           |
| Q+      | Neišnešioti | 32 | 0,78 | 0,80    | 0,82 | 0,69              | 0,85               | 24,75                          | 0,867     |
|         | Išnešioti   | 17 | 0,78 | 0,81    | 0,82 | 0,56              | 0,88               | 25,47                          |           |

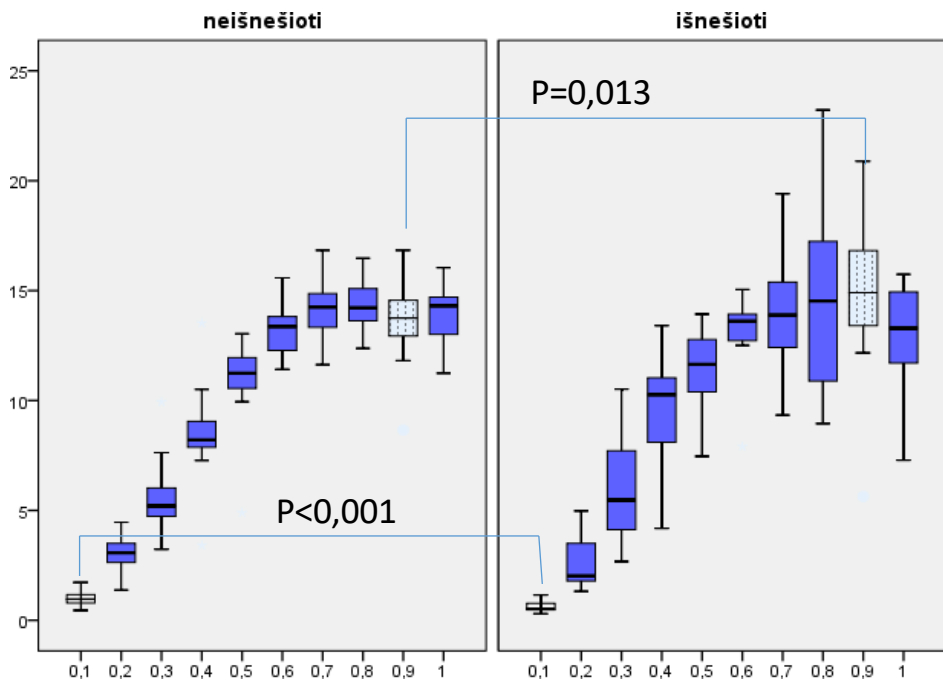
35 lentelė. Santykinė įtemptis, III epizodas

|         | Grupė       | N  | Q1   | Mediana | Q3   | Mažiausia reikšmė | Didžiausia reikšmė | Mann-Whitney vidutiniai rangai | p reikšmė |
|---------|-------------|----|------|---------|------|-------------------|--------------------|--------------------------------|-----------|
| Q-      | Neišnešioti | 31 | 0,43 | 0,46    | 0,47 | 0,31              | 0,54               | 22,90                          | 0,941     |
|         | Išnešioti   | 14 | 0,42 | 0,46    | 0,48 | 0,35              | 0,53               | 23,21                          |           |
| Mediana | Neišnešioti | 31 | 0,61 | 0,63    | 0,65 | 0,47              | 0,70               | 22,94                          | 0,961     |
|         | Išnešioti   | 14 | 0,59 | 0,63    | 0,68 | 0,53              | 0,70               | 23,14                          |           |
| Q+      | Neišnešioti | 31 | 0,77 | 0,80    | 0,82 | 0,64              | 0,85               | 21,32                          | 0,202     |
|         | Išnešioti   | 14 | 0,79 | 0,81    | 0,83 | 0,65              | 0,86               | 26,71                          |           |

Įvertinus I epizodo duomenis nustatyta, kad statistiškai reikšmingai skiriasi išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių santykinis kvėpuojamasis tūris 0,1 ir 0,9 lygio įtempties kategorijose ( $p < 0,001$ ,  $p < 0,05$ ): 0,1 lygio įtempties daugiau nustatyta VNN grupėje, o 0,9 lygio įtempties – išnešiotų naujagimių grupėje (36 lentelė, 23 pav.).

36 lentelė. Santykinis kvėpuojamasis tūris, I epizodas

|     | Grupė       | N  | Q1    | Median<br>a | Q3    | Mažiausia<br>reikšmė | Didžiausia<br>reikšmė | Mann-Whitney<br>vidutiniai rangai | p<br>reikšmė     |
|-----|-------------|----|-------|-------------|-------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|------------------|
| 0.1 | Neišnešioti | 36 | 0,78  | 0,96        | 1,17  | 0,45                 | 1,73                  | 32,14                             | <b>&lt;0,001</b> |
|     | Išnešioti   | 17 | 0,46  | 0,52        | 0,81  | 0,30                 | 1,15                  | 16,12                             |                  |
| 0.2 | Neišnešioti | 36 | 2,63  | 3,07        | 3,51  | 1,38                 | 4,91                  | 29,28                             | 0,118            |
|     | Išnešioti   | 17 | 1,78  | 2,02        | 3,55  | 1,32                 | 6,07                  | 22,18                             |                  |
| 0.3 | Neišnešioti | 36 | 4,73  | 5,20        | 6,04  | 2,77                 | 9,94                  | 26,14                             | 0,555            |
|     | Išnešioti   | 17 | 3,58  | 5,47        | 8,09  | 2,68                 | 10,52                 | 28,82                             |                  |
| 0.4 | Neišnešioti | 36 | 7,83  | 8,21        | 9,06  | 3,42                 | 13,52                 | 24,19                             | 0,054            |
|     | Išnešioti   | 17 | 7,94  | 10,26       | 11,12 | 4,18                 | 13,41                 | 32,94                             |                  |
| 0.5 | Neišnešioti | 36 | 10,55 | 11,24       | 11,95 | 4,89                 | 15,63                 | 25,86                             | 0,435            |
|     | Išnešioti   | 17 | 10,02 | 11,65       | 12,92 | 7,46                 | 16,65                 | 29,41                             |                  |
| 0.6 | Neišnešioti | 36 | 12,27 | 13,36       | 13,84 | 9,25                 | 15,58                 | 26,31                             | 0,634            |
|     | Išnešioti   | 17 | 12,61 | 13,61       | 14,03 | 7,90                 | 16,02                 | 28,47                             |                  |
| 0.7 | Neišnešioti | 36 | 13,32 | 14,25       | 14,88 | 10,59                | 16,84                 | 26,86                             | 0,924            |
|     | Išnešioti   | 17 | 12,10 | 13,89       | 15,55 | 9,34                 | 19,40                 | 27,29                             |                  |
| 0.8 | Neišnešioti | 36 | 13,61 | 14,22       | 15,12 | 9,57                 | 17,44                 | 26,81                             | 0,894            |
|     | Išnešioti   | 17 | 10,83 | 14,52       | 17,28 | 8,95                 | 23,22                 | 27,41                             |                  |
| 0.9 | Neišnešioti | 36 | 12,90 | 13,75       | 14,57 | 8,66                 | 16,83                 | 23,36                             | <b>0,013</b>     |
|     | Išnešioti   | 17 | 13,37 | 14,90       | 17,44 | 5,64                 | 20,88                 | 34,71                             |                  |
| 1   | Neišnešioti | 36 | 12,99 | 14,31       | 14,71 | 9,65                 | 16,04                 | 28,39                             | 0,341            |
|     | Išnešioti   | 17 | 11,60 | 13,29       | 14,96 | 7,28                 | 19,86                 | 24,06                             |                  |



23 pav. Santykinio kvėpuojamojo tūrio verčių pasiskirstymas skirtingose santykinės įtempties kategorijose (natūraliais takais gimę išnešioti ir vėlyvieji neišnešioti naujagimiai)

Įvertinus II epizodo duomenis nustatyta, kad statistiškai reikšmingai skiriasi išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių santykinis kvėpuojamasis tūris 0,1, 0,4, 0,7 ir 0,9 lygio įtempties kategorijose ( $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$ ,  $p < 0,05$ ,  $p < 0,05$ ): 0,1 bei 0,7 lygio įtempties daugiau nustatyta neišnešiotų naujagimių grupėje, o 0,4 ir 0,9 lygio įtempties – išnešiotų naujagimių grupėje (37 lentelė).

37 lentelė. Santykinis kvėpuojamasis tūris, II epizodas

|     | Grupė       | N  | Q1    | Mediana | Q3    | Mažiausia<br>reikšmė | Didžiausia<br>reikšmė | Mann-Whitney<br>vidutiniai<br>rangai | p<br>reikšmė |
|-----|-------------|----|-------|---------|-------|----------------------|-----------------------|--------------------------------------|--------------|
| 0.1 | Neišnešioti | 32 | 0,73  | 0,95    | 1,25  | 0,45                 | 3,12                  | 28,53                                | <b>0,018</b> |
|     | Išnešioti   | 17 | 0,55  | 0,72    | 0,97  | 0,22                 | 1,86                  | 18,35                                |              |
| 0.2 | Neišnešioti | 32 | 2,57  | 3,18    | 4,08  | 1,82                 | 13,87                 | 25,88                                | 0,556        |
|     | Išnešioti   | 17 | 2,24  | 3,21    | 3,68  | 1,77                 | 5,10                  | 23,35                                |              |
| 0.3 | Neišnešioti | 32 | 5,07  | 5,78    | 6,81  | 4,21                 | 14,08                 | 23,06                                | 0,193        |
|     | Išnešioti   | 17 | 5,67  | 6,61    | 8,18  | 1,97                 | 11,97                 | 28,65                                |              |
| 0.4 | Neišnešioti | 32 | 7,84  | 8,94    | 9,38  | 3,85                 | 11,99                 | 20,81                                | <b>0,005</b> |
|     | Išnešioti   | 17 | 9,08  | 10,46   | 11,72 | 2,76                 | 12,61                 | 32,88                                |              |
| 0.5 | Neišnešioti | 32 | 10,28 | 11,47   | 12,17 | 4,87                 | 14,67                 | 23,09                                | 0,200        |
|     | Išnešioti   | 17 | 9,89  | 11,98   | 13,40 | 7,94                 | 15,29                 | 28,59                                |              |
| 0.6 | Neišnešioti | 32 | 12,14 | 12,86   | 14,01 | 9,98                 | 17,12                 | 22,09                                | 0,051        |
|     | Išnešioti   | 17 | 13,12 | 14,00   | 15,10 | 8,32                 | 22,84                 | 30,47                                |              |
| 0.7 | Neišnešioti | 32 | 13,16 | 13,87   | 14,91 | 11,25                | 16,96                 | 28,44                                | <b>0,021</b> |
|     | Išnešioti   | 17 | 10,27 | 13,08   | 14,08 | 7,81                 | 16,57                 | 18,53                                |              |
| 0.8 | Neišnešioti | 32 | 13,09 | 13,77   | 14,71 | 9,67                 | 15,89                 | 26,94                                | 0,193        |
|     | Išnešioti   | 17 | 10,39 | 12,29   | 15,44 | 7,55                 | 20,11                 | 21,35                                |              |
| 0.9 | Neišnešioti | 32 | 12,94 | 13,61   | 14,48 | 9,36                 | 17,72                 | 21,81                                | <b>0,032</b> |
|     | Išnešioti   | 17 | 13,46 | 14,58   | 16,88 | 8,56                 | 20,25                 | 31,00                                |              |
| 1   | Neišnešioti | 32 | 12,67 | 13,81   | 14,84 | 8,04                 | 18,36                 | 27,03                                | 0,172        |
|     | Išnešioti   | 17 | 11,44 | 13,04   | 14,24 | 5,66                 | 21,38                 | 21,18                                |              |

Įvertinus III epizodo duomenis nustatyta, kad statistiškai reikšmingai skiriasi išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių santykinis kvėpuojamasis tūris 0,1 ir 0,2 lygio įtempties kategorijose ( $p < 0,01$ ,  $p < 0,01$ ): 0,1 bei 0,2 lygio įtempties daugiau nustatyta neišnešiotų naujagimių grupėje (38 lentelė).

38 lentelė. Santykinis kvėpuojamasis tūris, III epizodas

|     | Grupė       | N  | Q1   | Mediana | Q3   | Mažiausia<br>reikšmė | Didžiausia<br>reikšmė | Mann-Whitney<br>vidutiniai<br>rangai | p<br>reikšmė |
|-----|-------------|----|------|---------|------|----------------------|-----------------------|--------------------------------------|--------------|
| 0.1 | Neišnešioti | 31 | 0,75 | 0,88    | 1,24 | 0,58                 | 1,98                  | 26,61                                | <b>0,006</b> |
|     | Išnešioti   | 14 | 0,42 | 0,65    | 0,91 | 0,31                 | 4,20                  | 15,00                                |              |
| 0.2 | Neišnešioti | 31 | 2,57 | 3,15    | 3,99 | 1,57                 | 7,68                  | 26,74                                | <b>0,004</b> |
|     | Išnešioti   | 14 | 1,49 | 2,04    | 2,81 | 0,20                 | 6,29                  | 14,71                                |              |
| 0.3 | Neišnešioti | 31 | 5,04 | 5,85    | 6,97 | 2,91                 | 9,77                  | 24,00                                | 0,447        |

|     | Grupė       | N  | Q1    | Mediana | Q3    | Mažiausia reikšmė | Didžiausia reikšmė | Mann-Whitney vidutiniai rangai | p reikšmė |
|-----|-------------|----|-------|---------|-------|-------------------|--------------------|--------------------------------|-----------|
|     | Išnešioti   | 14 | 3,67  | 5,03    | 7,64  | 3,06              | 10,40              | 20,79                          |           |
| 0.4 | Neišnešioti | 31 | 7,95  | 9,09    | 9,86  | 5,55              | 12,92              | 20,52                          | 0,059     |
|     | Išnešioti   | 14 | 8,52  | 10,19   | 10,58 | 5,44              | 13,29              | 28,50                          |           |
| 0.5 | Neišnešioti | 31 | 10,62 | 11,42   | 12,28 | 9,46              | 17,40              | 22,19                          | 0,540     |
|     | Išnešioti   | 14 | 10,54 | 11,66   | 13,57 | 9,91              | 15,06              | 24,79                          |           |
| 0.6 | Neišnešioti | 31 | 12,44 | 12,89   | 13,85 | 10,84             | 19,80              | 22,45                          | 0,677     |
|     | Išnešioti   | 14 | 11,82 | 13,26   | 15,22 | 7,92              | 17,14              | 24,21                          |           |
| 0.7 | Neišnešioti | 31 | 13,00 | 13,92   | 14,58 | 10,98             | 16,51              | 21,74                          | 0,339     |
|     | Išnešioti   | 14 | 11,86 | 15,63   | 16,36 | 9,69              | 21,00              | 25,79                          |           |
| 0.8 | Neišnešioti | 31 | 12,94 | 13,94   | 14,91 | 8,51              | 18,81              | 23,81                          | 0,540     |
|     | Išnešioti   | 14 | 10,68 | 13,45   | 16,36 | 7,70              | 23,21              | 21,21                          |           |
| 0.9 | Neišnešioti | 31 | 12,59 | 13,46   | 14,84 | 7,87              | 16,66              | 21,52                          | 0,259     |
|     | Išnešioti   | 14 | 12,31 | 14,79   | 19,52 | 6,82              | 20,19              | 26,29                          |           |
| 1   | Neišnešioti | 31 | 12,39 | 13,58   | 14,35 | 6,50              | 16,90              | 23,71                          | 0,590     |
|     | Išnešioti   | 14 | 12,09 | 12,94   | 14,70 | 6,58              | 18,03              | 21,43                          |           |

#### 4.4.3. Ventiliacijos centras

Išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių ventiliacijos centro rodikliai ventraline ir dorsaline kryptimi statistiškai reikšmingai skyrėsi visuose trijuose epizoduose ( $p = 0,001$ ,  $p < 0,001$ ,  $p < 0,01$ ), neišnešiotų naujagimių rodikliai buvo aukštesni. Išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių ventiliacijos centro rodikliai iš dešinės į kairę statistiškai reikšmingai nesiskyrė ( $p > 0,05$ ). Dėl nedidelės šių rezultatų įtakos tyrimo pagrindinėms išvadoms atskirų lentelių šiam parametrai nebuvo pateikta. Ventiliacijos centro reikšmių visaverčiam interpretavimui būtų naudinga atlikti tolesnius EIT tyrimus, keičiant naujagimio kūno padėtį ir atsižvelgiant į daugiau veiksnių.

#### 4.4.4. Kvėpuojamojo tūrio pasiskirstymas

Nenustatyta statistiškai reikšmingų skirtumų lyginant išnešiotus ir vėlyvuosius neišnešiotus naujagimius ( $p > 0,05$ ).

Tiriant dešinią plautį statistiškai reikšmingų skirtumų nustatyta ventralinėse ir centrinėse ventralinėse srityse visuose trijuose epizoduose ( $p < 0,05$ ). Išnešiotų naujagimių dešiniajame plautyje oringumas buvo pasiskirstęs į ventralines ir centrines ventralines tikslines sritis. Taip pat tiriant dešinią plautį tik I epizode nustatyta statistiškai reikšmingų skirtumų – VNN

oringumas buvo pasiskirstęs į dorsalias ir centrines dorsalias tikslines sritis.

Išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių kairiojo plaučio oringumo pasiskirstymas statistiškai reikšmingai skyrėsi visuose trijuose epizoduose ( $p < 0,01$ ). Išnešiotų naujagimių grupėje oringumas buvo labiau pasiskirstęs į ventralinę tikslinę sritį, o neišnešiotų naujagimių – į centrinę dorsalinę sritį. Išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių kairiojo plaučio centrinę ventralinę ir dorsalinę sritys statistiškai reikšmingai nesiskyrė ( $p < 0,05$ ). Kvėpuojamojo tūrio pasiskirstymo reikšmių visaverčiam interpretavimui būtų naudinga atlikti tolesnius EIT tyrimus, keičiant naujagimio kūno padėtį ir atsižvelgiant į daugiau veiksnių.

#### 4.5. Po CPO gimusių išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių EIT parametrų palyginimas

##### 4.5.1. „Nebylios“ sritys

Statistiškai reikšmingų skirtumų tarp išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių grupių nepriklausomose nuo gravitacijos plaučių srityse buvo matoma tik I epizode ( $p < 0,05$ ), neišnešiotų grupėje „nebylių“ sričių buvo daugiau (39 lentelė). Statistiškai reikšmingų skirtumų tarp išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių grupių priklausomose nuo gravitacijos plaučių srityse buvo nustatyta per visus tris matavimus ( $p < 0,001$ ,  $p < 0,001$ ,  $p < 0,001$ ), VNN „nebylių“ sričių turėjo daugiau (39–41 lentelės, 24 pav.).

39 lentelė. „Nebylios“ sritys, I epizodas

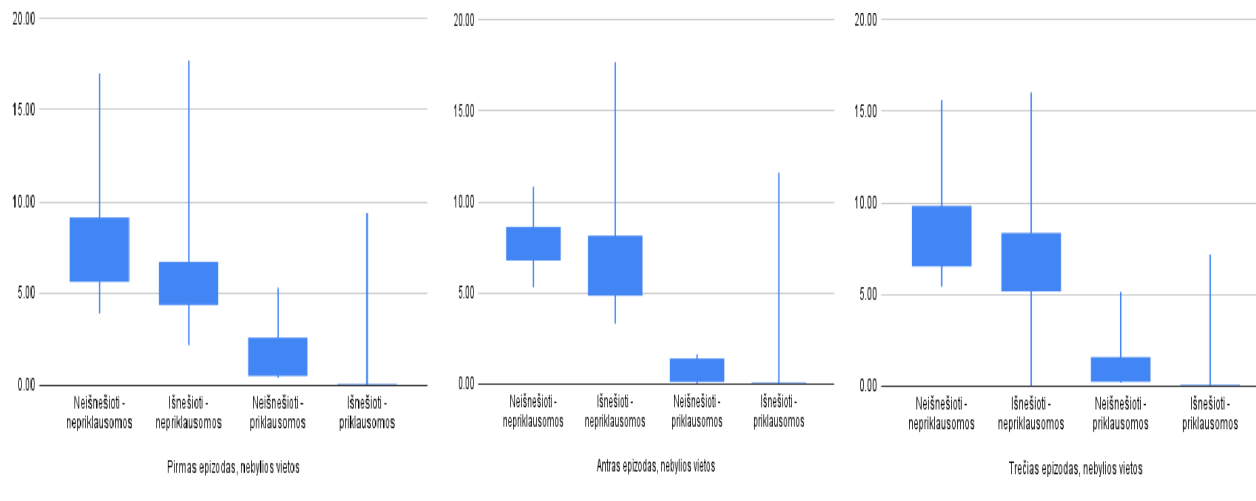
|                                   | Grupė       | N  | Q1   | Mediana | Q3   | Mažiausia reikšmė | Didžiausia reikšmė | Mann-Whitney vidutiniai rangai | p reikšmė        |
|-----------------------------------|-------------|----|------|---------|------|-------------------|--------------------|--------------------------------|------------------|
| Nepriklausomos plaučių sritys (%) | Neišnešioti | 15 | 5,69 | 7,14    | 9,07 | 3,88              | 16,98              | 28,67                          | <b>0,011</b>     |
|                                   | Išnešioti   | 28 | 4,42 | 4,97    | 6,63 | 2,21              | 17,68              | 18,43                          |                  |
| Priklausomos plaučių sritys (%)   | Neišnešioti | 15 | 0,60 | 1,28    | 2,55 | 0,42              | 5,29               | 33,60                          | <b>&lt;0,001</b> |
|                                   | Išnešioti   | 28 | 0,00 | 0,00    | 0,00 | 0,00              | 9,39               | 15,79                          |                  |

40 lentelė. „Nebylios“ sritys, II epizodas

|                                      | Grupė       | N  | Q1   | Mediana | Q3   | Mažiausia<br>reikšmė | Didžiausia<br>reikšmė | Mann-<br>Whitney<br>vidutiniai<br>rangai | p<br>reikšmė |
|--------------------------------------|-------------|----|------|---------|------|----------------------|-----------------------|------------------------------------------|--------------|
| Nepriklausomos<br>plaučių sritys (%) | Neišnešioti | 13 | 6,86 | 7,54    | 8,55 | 5,31                 | 10,83                 | 26,38                                    | 0,050        |
|                                      | Išnešioti   | 28 | 4,93 | 6,63    | 8,07 | 3,31                 | 17,68                 | 18,50                                    |              |
| Priklausomos<br>plaučių sritys (%)   | Neišnešioti | 13 | 0,20 | 0,83    | 1,33 | 0,00                 | 1,63                  | 31,35                                    | <0,001       |
|                                      | Išnešioti   | 28 | 0,00 | 0,00    | 0,00 | 0,00                 | 11,60                 | 16,20                                    |              |

41 lentelė. „Nebylios“ sritys, III epizodas

|                                      | Grupė       | N  | Q1   | Mediana | Q3   | Mažiausia<br>reikšmė | Didžiausia<br>reikšmė | Mann-<br>Whitney<br>vidutiniai<br>rangai | p<br>reikšmė |
|--------------------------------------|-------------|----|------|---------|------|----------------------|-----------------------|------------------------------------------|--------------|
| Nepriklausomos<br>plaučių sritys (%) | Neišnešioti | 11 | 6,61 | 7,80    | 9,75 | 5,43                 | 15,61                 | 24,18                                    | 0,150        |
|                                      | Išnešioti   | 28 | 5,25 | 6,56    | 8,28 | 0,00                 | 16,02                 | 18,36                                    |              |
| Priklausomos<br>plaučių sritys (%)   | Neišnešioti | 11 | 0,32 | 1,04    | 1,51 | 0,20                 | 5,14                  | 31,82                                    | <0,001       |
|                                      | Išnešioti   | 28 | 0,00 | 0,00    | 0,00 | 0,00                 | 7,18                  | 15,36                                    |              |



24 pav. Po CPO gimusių IN ir VNN „nebylių“ sričių I, II ir III epizodų verčių palyginimas nuo gravitacijos priklausomose ir nepriklausomose plaučių srityse

#### 4.5.2. Santykinė plaučių audinio įtemptis

Nenustatyta statistiškai reikšmingų skirtumų lyginant išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių apatinio kvartilio (Q-), viršutinio kvartilio (Q+) ir medianos rodiklius ( $p > 0,05$ ) (42–44 lentelės).

42 lentelė. Santykinė plaučių audinio įtemptis, I epizodas

|         | Grupė       | N   | Q1 | Mediana | Q3   | Mažiausia reikšmė | Didžiausia reikšmė | Mann-Whitney vidutiniai rangai | p reikšmė |
|---------|-------------|-----|----|---------|------|-------------------|--------------------|--------------------------------|-----------|
| Q-      | Neišnešioti | 150 | 44 | 0,46    | 0,48 | 0,41              | 0,50               | 19,40                          | 0,320     |
|         | Išnešioti   | 280 | 45 | 0,47    | 0,49 | 0,33              | 0,60               | 23,39                          |           |
| Mediana | Neišnešioti | 150 | 61 | 0,63    | 0,66 | 0,57              | 0,67               | 20,47                          | 0,558     |
|         | Išnešioti   | 280 | 60 | 0,65    | 0,67 | 0,54              | 0,76               | 22,82                          |           |
| Q+      | Neišnešioti | 150 | 79 | 0,80    | 0,81 | 0,77              | 0,83               | 19,73                          | 0,386     |
|         | Išnešioti   | 280 | 79 | 0,81    | 0,84 | 0,56              | 0,89               | 23,21                          |           |

43 lentelė. Santykinė plaučių audinio įtemptis, II epizodas

|         | Grupė       | N   | Q1 | Mediana | Q3   | Mažiausia reikšmė | Didžiausia reikšmė | Mann-Whitney vidutiniai rangai | p reikšmė |
|---------|-------------|-----|----|---------|------|-------------------|--------------------|--------------------------------|-----------|
| Q-      | Neišnešioti | 130 | 45 | 0,48    | 0,49 | 0,38              | 0,50               | 19,92                          | 0,695     |
|         | Išnešioti   | 280 | 44 | 0,48    | 0,50 | 0,33              | 0,56               | 21,50                          |           |
| Mediana | Neišnešioti | 130 | 61 | 0,64    | 0,65 | 0,53              | 0,67               | 17,38                          | 0,188     |
|         | Išnešioti   | 280 | 59 | 0,65    | 0,69 | 0,51              | 0,74               | 22,68                          |           |
| Q+      | Neišnešioti | 130 | 78 | 0,80    | 0,82 | 0,70              | 0,83               | 18,31                          | 0,327     |
|         | Išnešioti   | 280 | 78 | 0,81    | 0,83 | 0,69              | 0,88               | 22,25                          |           |

44 lentelė. Santykinė plaučių audinio įtemptis, III epizodas

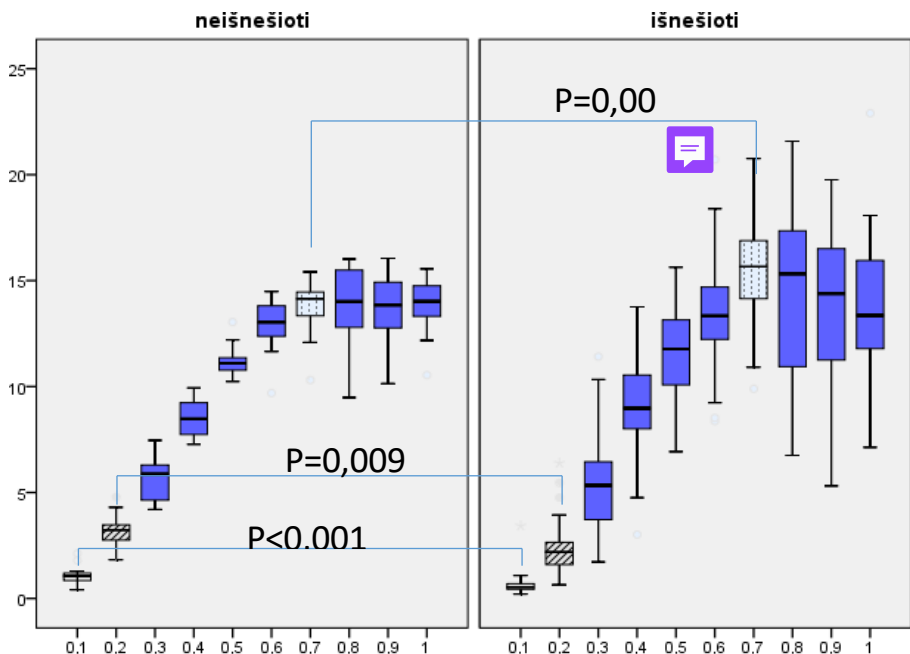
|         | Grupė       | N   | Q1 | Mediana | Q3   | Mažiausia reikšmė | Didžiausia reikšmė | Mann-Whitney vidutiniai rangai | p reikšmė |
|---------|-------------|-----|----|---------|------|-------------------|--------------------|--------------------------------|-----------|
| Q-      | Neišnešioti | 110 | 44 | 0,47    | 0,48 | 0,41              | 0,50               | 16,82                          | 0,275     |
|         | Išnešioti   | 280 | 46 | 0,48    | 0,49 | 0,40              | 0,55               | 21,25                          |           |
| Mediana | Neišnešioti | 110 | 61 | 0,63    | 0,65 | 0,57              | 0,66               | 16,45                          | 0,224     |
|         | Išnešioti   | 280 | 60 | 0,65    | 0,68 | 0,58              | 0,74               | 21,39                          |           |
| Q+      | Neišnešioti | 110 | 78 | 0,79    | 0,81 | 0,76              | 0,83               | 15,09                          | 0,092     |
|         | Išnešioti   | 280 | 80 | 0,81    | 0,84 | 0,65              | 0,87               | 21,93                          |           |

Įvertinus I epizodo duomenis nustatyta, kad statistiškai reikšmingai skiriasi išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių santykinis kvėpuojamasis tūris 0,1, 0,2 ir 0,7 lygio įtempties kategorijose ( $p < 0,001$ ,  $p < 0,01$ ,  $p < 0,01$ ): 0,1 bei 0,2 lygio įtempties daugiau nustatyta VNN grupėje, o 0,7 lygio

įtempties – išnešiotų naujagimių grupėje (45 lentelė, 25 pav.).

45 lentelė. Santykinis kvėpuojamasis tūris, I epizoda

|     | Grupė       | N  | Q1    | Mediana | Q3    | Mažiausia<br>reikšmė | Didžiausia<br>reikšmė | Mann-Whitney<br>vidutiniai rangai | p<br>reikšmė |
|-----|-------------|----|-------|---------|-------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|--------------|
| 0.1 | Neišnešioti | 15 | 0,83  | 1,06    | 1,23  | 0,41                 | 2,12                  | 32,20                             | <0,001       |
|     | Išnešioti   | 28 | 0,43  | 0,53    | 0,70  | 0,20                 | 3,43                  | 16,54                             |              |
| 0.2 | Neišnešioti | 15 | 2,68  | 3,22    | 3,54  | 1,83                 | 4,79                  | 28,87                             | 0,009        |
|     | Išnešioti   | 28 | 1,55  | 2,20    | 2,67  | 0,65                 | 6,39                  | 18,32                             |              |
| 0.3 | Neišnešioti | 15 | 4,64  | 5,87    | 6,31  | 4,20                 | 7,46                  | 24,87                             | 0,273        |
|     | Išnešioti   | 28 | 3,62  | 5,33    | 6,60  | 1,72                 | 11,41                 | 20,46                             |              |
| 0.4 | Neišnešioti | 15 | 7,69  | 8,48    | 9,25  | 7,28                 | 9,93                  | 19,67                             | 0,372        |
|     | Išnešioti   | 28 | 7,98  | 8,98    | 10,69 | 3,01                 | 13,76                 | 23,25                             |              |
| 0.5 | Neišnešioti | 15 | 10,75 | 11,10   | 11,40 | 10,24                | 13,04                 | 21,00                             | 0,702        |
|     | Išnešioti   | 28 | 10,07 | 11,77   | 13,16 | 6,93                 | 15,63                 | 22,54                             |              |
| 0.6 | Neišnešioti | 15 | 12,22 | 13,04   | 13,92 | 9,69                 | 14,48                 | 20,60                             | 0,593        |
|     | Išnešioti   | 28 | 12,18 | 13,34   | 14,83 | 8,37                 | 20,71                 | 22,75                             |              |
| 0.7 | Neišnešioti | 15 | 12,94 | 14,14   | 14,59 | 10,31                | 15,41                 | 14,93                             | 0,007        |
|     | Išnešioti   | 28 | 13,92 | 15,66   | 16,95 | 9,89                 | 20,76                 | 25,79                             |              |
| 0.8 | Neišnešioti | 15 | 12,72 | 14,01   | 15,63 | 9,48                 | 16,02                 | 19,33                             | 0,308        |
|     | Išnešioti   | 28 | 10,90 | 15,32   | 17,62 | 6,75                 | 21,58                 | 23,43                             |              |
| 0.9 | Neišnešioti | 15 | 12,76 | 13,84   | 15,20 | 10,14                | 16,05                 | 21,00                             | 0,702        |
|     | Išnešioti   | 28 | 11,24 | 14,38   | 16,51 | 5,32                 | 19,76                 | 22,54                             |              |
| 1   | Neišnešioti | 15 | 13,27 | 14,02   | 14,83 | 10,54                | 15,55                 | 23,13                             | 0,665        |
|     | Išnešioti   | 28 | 11,72 | 13,36   | 15,95 | 7,13                 | 22,90                 | 21,39                             |              |



25 pav. Santykinio kvėpuojamojo tūrio verčių pasiskirstymas pagal skirtingas santykinės įtempties kategorijas (po CPO gimę išnešioti ir vėlyvieji neišnešioti naujagimiai)

Išvertinus II epizodo duomenis nustatyta, kad statistiškai reikšmingai skiriasi išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių santykinis kvėpuojamasis tūris 0,1 lygio įtempties kategorijoje ( $p = 0,001$ ): 0,1 lygio įtempties daugiau nustatyta VNN grupėje (46 lentelė).

46 lentelė. Santykinis kvėpuojamasis tūris, II epizodas

|     | Grupė       | N  | Q1    | Mediana | Q3    | Mažiausia reikšmė | Didžiausia reikšmė | Mann-Whitney vidutiniai rangai | p reikšmė    |
|-----|-------------|----|-------|---------|-------|-------------------|--------------------|--------------------------------|--------------|
| 0.1 | Neišnešioti | 13 | 0,85  | 0,89    | 1,02  | 0,68              | 1,31               | 30,08                          | <b>0,001</b> |
|     | Išnešioti   | 28 | 0,46  | 0,64    | 0,77  | 0,29              | 3,76               | 16,79                          |              |
| 0.2 | Neišnešioti | 13 | 2,41  | 2,57    | 3,39  | 1,82              | 5,15               | 24,46                          | 0,207        |
|     | Išnešioti   | 28 | 1,84  | 2,04    | 3,52  | 1,15              | 5,54               | 19,39                          |              |
| 0.3 | Neišnešioti | 13 | 4,17  | 5,14    | 6,41  | 3,96              | 9,04               | 25,46                          | 0,104        |
|     | Išnešioti   | 28 | 3,41  | 4,20    | 6,20  | 2,64              | 8,08               | 18,93                          |              |
| 0.4 | Neišnešioti | 13 | 7,58  | 8,84    | 9,44  | 6,92              | 12,31              | 20,38                          | 0,823        |
|     | Išnešioti   | 28 | 7,22  | 9,18    | 10,49 | 4,02              | 14,83              | 21,29                          |              |
| 0.5 | Neišnešioti | 13 | 10,96 | 11,31   | 11,99 | 8,63              | 13,48              | 16,77                          | 0,123        |
|     | Išnešioti   | 28 | 11,11 | 12,12   | 13,67 | 7,03              | 17,74              | 22,96                          |              |
| 0.6 | Neišnešioti | 13 | 12,93 | 13,24   | 14,38 | 10,62             | 18,90              | 20,00                          | 0,716        |
|     | Išnešioti   | 28 | 11,71 | 13,84   | 16,02 | 8,22              | 19,42              | 21,46                          |              |

|     | Grupė       | N  | Q1    | Mediana | Q3    | Mažiausia<br>reikšmė | Didžiausia<br>reikšmė | Mann-Whitney<br>vidutiniai rangai | p reikšmė |
|-----|-------------|----|-------|---------|-------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------|
| 0.7 | Neišnešioti | 13 | 13,53 | 14,46   | 15,54 | 10,10                | 21,49                 | 22,31                             | 0,634     |
|     | Išnešioti   | 28 | 12,33 | 14,04   | 15,75 | 8,10                 | 21,83                 | 20,39                             |           |
| 0.8 | Neišnešioti | 13 | 12,85 | 14,60   | 15,35 | 9,19                 | 15,91                 | 19,38                             | 0,556     |
|     | Išnešioti   | 28 | 10,52 | 14,67   | 16,56 | 6,11                 | 18,10                 | 21,75                             |           |
| 0.9 | Neišnešioti | 13 | 13,04 | 14,00   | 14,65 | 7,00                 | 15,95                 | 17,31                             | 0,179     |
|     | Išnešioti   | 28 | 13,31 | 14,61   | 18,68 | 5,29                 | 21,78                 | 22,71                             |           |
| 1   | Neišnešioti | 13 | 12,68 | 13,47   | 14,45 | 11,02                | 15,80                 | 22,00                             | 0,716     |
|     | Išnešioti   | 28 | 11,69 | 13,13   | 14,59 | 8,47                 | 21,18                 | 20,54                             |           |

Įvertinus III epizodo duomenis nustatyta, kad statistiškai reikšmingai skiriasi išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių santykinis kvėpuojamasis tūris 0,1 lygio įtempties kategorijoje ( $p < 0,01$ ): 0,1 lygio įtempties daugiau nustatyta VNN grupėje (47 lentelė).

47 lentelė. Santykinis kvėpuojamasis tūris, III epizodas

|     | Grupė       | N  | Q1    | Mediana | Q3    | Mažiausia<br>reikšmė | Didžiausia<br>reikšmė | Mann-Whitney<br>vidutiniai rangai | p reikšmė    |
|-----|-------------|----|-------|---------|-------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|--------------|
| 0.1 | Neišnešioti | 11 | 0,80  | 1,05    | 1,29  | 0,61                 | 1,89                  | 29,18                             | <b>0,002</b> |
|     | Išnešioti   | 28 | 0,52  | 0,63    | 0,87  | 0,27                 | 2,76                  | 16,39                             |              |
| 0.2 | Neišnešioti | 11 | 2,37  | 3,09    | 3,67  | 1,95                 | 4,14                  | 25,18                             | 0,075        |
|     | Išnešioti   | 28 | 2,01  | 2,32    | 3,28  | 1,00                 | 4,50                  | 17,96                             |              |
| 0.3 | Neišnešioti | 11 | 4,56  | 5,28    | 6,06  | 4,09                 | 7,00                  | 21,18                             | 0,685        |
|     | Išnešioti   | 28 | 4,06  | 5,22    | 6,44  | 2,38                 | 8,79                  | 19,54                             |              |
| 0.4 | Neišnešioti | 11 | 7,76  | 8,46    | 9,29  | 6,95                 | 11,10                 | 17,64                             | 0,417        |
|     | Išnešioti   | 28 | 7,67  | 9,61    | 10,55 | 4,34                 | 11,98                 | 20,93                             |              |
| 0.5 | Neišnešioti | 11 | 10,98 | 11,32   | 12,03 | 8,77                 | 14,69                 | 20,64                             | 0,827        |
|     | Išnešioti   | 28 | 10,42 | 11,25   | 12,63 | 7,33                 | 14,79                 | 19,75                             |              |
| 0.6 | Neišnešioti | 11 | 12,15 | 13,55   | 14,54 | 11,37                | 16,16                 | 18,64                             | 0,640        |
|     | Išnešioti   | 28 | 12,06 | 13,69   | 15,46 | 8,68                 | 20,91                 | 20,54                             |              |
| 0.7 | Neišnešioti | 11 | 13,53 | 14,28   | 15,67 | 12,63                | 16,53                 | 20,00                             | 1,000        |
|     | Išnešioti   | 28 | 12,76 | 14,80   | 16,22 | 8,90                 | 21,52                 | 20,00                             |              |
| 0.8 | Neišnešioti | 11 | 12,58 | 14,03   | 15,46 | 10,74                | 16,30                 | 18,00                             | 0,492        |
|     | Išnešioti   | 28 | 12,24 | 14,51   | 17,00 | 9,35                 | 23,19                 | 20,79                             |              |
| 0.9 | Neišnešioti | 11 | 12,86 | 13,39   | 14,20 | 10,85                | 15,55                 | 18,64                             | 0,640        |
|     | Išnešioti   | 28 | 12,01 | 13,79   | 16,46 | 7,30                 | 21,54                 | 20,54                             |              |
| 1   | Neišnešioti | 11 | 12,86 | 13,42   | 14,43 | 11,82                | 16,74                 | 20,00                             | 1,000        |
|     | Išnešioti   | 28 | 12,43 | 13,35   | 15,42 | 6,09                 | 19,93                 | 20,00                             |              |

#### 4.5.3. Ventiliacijos centras

Išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių ventiliacijos centro rodikliai ventraline ir dorsaline kryptimi statistiškai reikšmingai skyrėsi visuose trijuose epizoduose ( $p < 0,001$ ,  $p = 0,001$ ,  $p = 0,001$ ), VNN rodikliai buvo aukštesni. Išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių ventiliacijos centro rodikliai iš dešinės į kairę statistiškai reikšmingai nesiskyrė ( $p > 0,05$ ). Dėl nedidelės šių rezultatų įtakos tyrimo pagrindinėms išvadoms atskirų lentelių šiam parametrai nebuvo pateikta. Ventiliacijos centro reikšmių visaverčiam interpretavimui būtų naudinga atlikti tolesnius EIT tyrimus, keičiant naujagimio kūno padėtį ir atsižvelgiant į daugiau veiksnių.

#### 4.5.4. Kvėpuojamojo tūrio pasiskirstymas

Nenustatyta statistiškai reikšmingų skirtumų lyginant išnešiotus ir vėlyvuosius neišnešiotus naujagimius ( $p > 0,05$ ).

Tiriant dešinįjį plautį statistiškai reikšmingų skirtumų nustatyta ventralinėse, centrinėse ventralinėse ir dorsalinėse tikslinėse srityse per visus tris epizodus ( $p < 0,05$ ). Išnešiotų naujagimių dešiniojo plaučio oringumas buvo pasiskirstęs į ventralines ir centrines ventralines sritis, o VNN – į dorsalias. Taip pat tiriant dešinįjį plautį tik I ir II epizoduose nustatyta statistiškai reikšmingų skirtumų centrinėje dorsalinėje srityje – VNN oringumas buvo pasiskirstęs į ją.

Statistiškai reikšmingi skirtumai tarp išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių kairiojo plaučio ventralinėje ir centrinėje dorsalinėje srityse skyrėsi visuose trijuose epizoduose ( $p < 0,01$ ). Išnešiotų naujagimių grupėje oringumas buvo pasiskirstęs į ventralinę, o VNN – į centrinę dorsalinę sritis.

Išnešiotų ir vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių kairiojo plaučio centrinėje ventralinėje ir dorsalinėje srityse oringumas statistiškai reikšmingai nesiskyrė ( $p < 0,05$ ). Kvėpuojamojo tūrio pasiskirstymo reikšmių visaverčiam interpretavimui būtų naudinga atlikti tolesnius EIT tyrimus, keičiant naujagimio kūno padėtį ir atsižvelgiant į daugiau veiksnių.



## 4. REZULTATŲ APTARIMAS

Šiame darbe siekėme įvertinti sveikų išnešiotų naujagimių, gimusių natūraliai ir po cezario pjūvio operacijos, plaučių oringumo pokyčius iš karto po gimimo ir palyginti juos su vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių plaučių oringumo pokyčiais ankstyvuoju periodu po gimimo. Atsižvelgdami į tai, kad vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių organų ir sistemų, iš jų ir kvėpavimo sistemos, brendimas ir vystymasis yra neviseškai pasibaigęs, tikėjomės išsiaiškinti šios grupės naujagimių plaučių oringumo ypatumus, lygindami šiuos mažylis su išnešiotais naujagimiais, kurie sąlygiškai pasitarnavo mums kaip kontrolinė grupė. Kita vertus, šalia savitumų, susijusių su gestaciniu amžiumi, t. y. su naujagimio branda, siekėme išsiaiškinti, kiek ir vienos, ir kitos grupės naujagimių plaučių oringumui ankstyvuoju laikotarpiu po gimdymo turėjo įtakos gimdymo būdas. Deja, iki šiol sukaupta palyginti nedaug žinių tiek apie naujagimių gestacinio amžiaus, tiek apie gimdymo būdo įtaką plaučių oringumui tik gimusiam naujagimiui, nes iki šiol nebuvo pakankamai patikimo neinvazinio tyrimo būdo, leidžiančio įvertinti pokyčius plaučiuose realiuoju laiku. Nors ir yra žinoma, kad vėlyviesiems neišnešiotiems naujagimiams gerokai dažniau pasitaiko kvėpavimo sunkumų nei išnešiotiems naujagimiams, tačiau kokie mechanizmai lemia šiuos skirtumus iki galo nėra aišku. Tas pats pasakytina ir apie gimimą po cezario pjūvio operacijos, po kurios kvėpavimo sutrikimų pasitaiko daug dažniau, nei gimus natūraliai. Tik pradėjus taikyti elektrinio impedanso tomografijos tyrimą naujagimiams, atsirado galimybė be invazijos, nesukeliant naujagimiui skausmo ar streso, labai anksti įvertinti plaučių oringumo pokyčius realiuoju laiku.

Savo darbe EIT metodu siekėme nustatyti ir įvertinti keturis svarbius plaučių oringumo rodiklius – „nebylias“ sritis, t. y. tas plaučių dalis, kurios funkcinio požiūriu nedalyvauja plaučių dujų apykaitoje, ventiliuojamas sritis, t. y. kvėpuojant aktyviai dalyvaujančias plaučių dalis, santykinį kvėpuojamąjį tūrį (geriausiai oro prisipildžiusias plaučių dalis) ir plaučių oringumo pasiskirstymą (tolygumą). Šie keturi svarbūs plaučių oringumo parametrai buvo pagrindas tiek lyginant išnešiotus ir vėlyvuosius neišnešiotus naujagimius, tiek bandant rasti skirtumų tarp natūraliu keliu ir po CPO gimusių naujagimių.

Lyginant natūraliu būdu ir po CPO gimusius naujagimius ryškiausių plaučių oringumo skirtumų buvo praėjus vienai valandai, o ne iš karto po gimimo. Nustatyta, kad natūraliais takais gimusių naujagimių nuo gravitacijos priklausomose plaučių srityse oringumas buvo geresnis, o neventiliuojamų ar

mažai ventiliuojamų sričių buvo mažiau nei gimusiųjų po CPO. Šie mūsų gauti rezultatai dera su gravitaciniu oringumo pasiskirstymo principu, kuris aprašytas literatūroje – sveikų naujagimių, kuriems netaikoma dirbtinė ventiliacija, priklausomos plaučių sritys yra geriau ventiliuojamos nei nepriklausomos (149, 175). Vis dėlto mūsų tyrimas išryškina, kad gimdymo būdas daro papildomą įtaką ventiliacijos pasiskirstymui, o tai leidžia plėsti žinias apie naujagimių grupių plaučių oringumo skirtumus. Didesnis oringumo pasiskirstymas į nepriklausomas plaučių sritis paprastai buvo nustatomas intensyvios terapijos skyrių pacientams ir buvo susijęs su blogesne kvėpavimo funkcija. Tačiau Schinckel su bendraautoriais padarė išvadą, kad gravitacijos vaidmuo stabilios būklės spontaniškai kvėpuojantiems naujagimiams yra ribotas, o oringumo pasiskirstymas labiau yra nulemtas naujagimio anatominių ypatumų gulint jam tam tikroje padėtyje (176). Daugiau „nebylių“ sričių po CPO gimusiems naujagimiams galimai susidaro dėl tose vietose nepasišalinusio plaučių skysčio arba alveolių kolapso dėl surfaktanto trūkumo. Blank su bendraautoriais, pasitelkę ultragarsinį plaučių tyrimą, tirdami tapačias naujagimių grupes nustatė, kad visiškas plaučių skysčio pasišalinimas po gimimo gali užtrukti iki kelių valandų ir akivaizdžių skirtumų tarp tiriamųjų naujagimių grupių buvo matoma ir praėjus 1,5 val. (177). Mūsų tyrime pirmąją gyvenimo valandą stebėjome statistiškai reikšmingų oringumo skirtumų pagal kelis EIT parametrus, tai vėliau, trečiojo epizodo metu išliko skirtumų tik tarp ventiliuojamų sričių. Naujagimiams, gimusiems po planinės CPO, antrame epizode didžiausias santykinis kvėpuojamojo tūrio procentas abiejuose plaučiuose buvo mažesnės ventiliacijos srityse (10–20 %, 20–30 % ir 30–40 %), kurios EIT vaizduose žymimos kaip „pilkosios“ sritys. Šios sritys atitinka sumažėjusio oringumo zonas, kuriose ventiliacija yra geresnė nei „nebyliose“ srityse, tačiau vis tiek ribota – impedanso pokyčiai čia nesiekia 10 procentų. Kadangi plaučių audinio išsiplėtimas priklauso nuo kvėpuojamojo tūrio, geriau ventiliuojamose srityse šis išsiplėtimas yra ryškiausias. Galiausiai, tik natūraliais takais gimusiems naujagimiams buvo nustatyti oringumo pasiskirstymo, tolygumo pokyčiai, kintantys laikui bėgant. Tai reiškia, kad iš karto po gimimo daugiausiai oro pateko į centrinės ventralines plaučių sritis, bet tyrimo pabaigoje oringumas tapo tolygesnis.

Ankstesnėse publikacijose gimimas po CPO buvo siejamas su dažnesniu kvėpavimo sutrikimo sindromu (KSS), praeinančiąja naujagimių tachipnėja (PNT) ir persistuojančiąja naujagimių plautine hipertenzija (PNPH) (178). Manoma, kad motinos organizme gaminami katecholaminai natūralaus gimdymo metu lemia surfaktanto gamybos reguliavimą ir transepitelinę natrio jonų pernašą, dėl kurios vyksta skysčio rezorbcija iš

alveolių į plaučių audinį. Pereinamuoju laikotarpiu padidėjusią plaučių perfuziją turi atitikti oringumo didėjimas, antraip sutrinka normali naujagimio adaptacija. Naujagimiui, gimusiam po CPO, plaučių skystis pasišalina lėčiau, liekamasis plaučių skysčio tūris yra didesnis, todėl optimali dujų apykaita pasiekama per ilgesnį laiką. Be to, surfaktanto alveolių paviršiuje gaminama mažiau. Atliekant CPO prieš spontaninio gimdymo pradžią naujagimio plaučiai yra kur kas mažiau subrendę nei atliekant CPO prasidėjus gimdymui (179). Anksčiau kvėpavimo sistemos pokyčiai po CPO ankstyvuojų adaptacijos periodu buvo aprašyti gyvūnų tyrimuose, naudojant plaučių rentgenografiją su kontrastu, tačiau dėl invazyvumo ir kenksmingo spinduliuotės poveikio šio tyrimo naudojimas klinikinėje praktikoje yra ribotas (180). 2018 m. atliktame tyrime skirtingu būdu gimę naujagimiai buvo lyginami atliekant plaučių ultragarsinį tyrimą, tačiau reikšmingų skirtumų buvo nustatyta tik pačioje pradžioje ir jie per 2 valandas po gimimo išnyko. Visiems naujagimiams nepriklausomai nuo gimimo būdo pavyko pasiekti reikiamą plaučių oringumą ir dalinį skysčio pašalinimą iš plaučių per 20 min., o visiškai skystis pasišalino – per kelias valandas nuo gimimo (177).

Iki šiol nemažai publikacijų skirta gimimo būdo nulemtu trumpalaikio ir ilgalaikio sergamumo kvėpavimo sistemos ligomis vertinimui (181–184). Tačiau publikacijos, apibūdinančios išnešiotų naujagimių plaučių adaptacijos skirtumus pirmosiomis valandomis po gimimo, yra pavienės. 2017 m. Bhargava ir bendraautorai įvertino natūraliais takais ir po CPO gimusių išnešiotų naujagimių deguonies saturacijos skirtumus ir nustatė, kad CPO grupės ji buvo kur kas mažesnė per pirmąsias 30 minučių po gimimo. Įprastai naujagimiams užtenka 12–14 minučių pasiekti suaugusiojo saturacijos normą – 95 procentus. Šio tyrimo radiniai atitinka mūsų gautus rezultatus, kad CPO grupės adaptacija prie ekstrauterinės aplinkos vyksta lėčiau (185).

Remiantis Bhargava ir bendraautoriais, po gimimo, atlikus pirmąjį įkvėpimą, susidaro plaučių funkcinė liekamoji talpa (angl. *functional residual capacity* – FRC), padidėja plaučių kraujotaka ir prasideda anglies dioksido šalinimas pro plaučius. Iškvėpiamo CO<sub>2</sub> lygis (toliau – ECO<sub>2</sub>) koreliuoja su plaučių oringumu ir parodo kvėpavimo takų praeinamumą bei plaučių dujų apykaitą. Tačiau išmatavus ECO<sub>2</sub>, kvėpavimo dažnį ir kvėpuojamąjį tūrį naujagimiams, gimusiems natūraliais takais ir po planinės CPO, nebuvo rasta reikšmingų plaučių adaptacijos skirtumų pereinamuoju laikotarpiu. Matavimai buvo atlikti per pirmąsias 30 gyvenimo minučių (186). Skirtingai nei ankstesnis tyrimas, Finn ir bendraautorai nustatė sulėtėjusį plaučių funkcinės liekamosios talpos didėjimą CPO grupėje. Tai atitinka mūsų tyrimo rezultatus bei ankstesnius radinius, naudojant pletizmografiją (187), nes didesnis skysčio kiekis plaučių intersticiume turėtų

pailginti laiką, per kurį dujų apykaita naujagimio plaučiuose tampa optimali (188). Tačiau minėtame tyrime ši tendencija buvo ryškiausia pirmosiomis gyvenimo minutėmis, o EIT tyrime išryškėjo pirmosios gyvenimo valandos pabaigoje.

Vaizdiniai tyrimo metodai tiksliau parodo procesus, vykstančius naujagimio plaučiuose ankstyvuojų adaptacijos laikotarpiu. Blank ir bendraautorai atliko plaučių ultragarsinius tyrimus sveikų naujagimių plaučių oringumo pokyčiams stebėti ir nustatė, kad dalinė plaučių skysčio rezorbcija įvyko per pirmąsias 20 minučių po gimimo, o visiškai plaučių funkcinė liekamoji talpa pasiekta per 4 valandas. Skirtingu būdu gimusių naujagimių grupėms palyginti buvo naudojama validuota įvertinimo sistema: kuo aukštesnis apskaičiuotas balas, tuo geresnis plaučių oringumas ir skysčio klirensas. Naujagimiai, gimę po planinės CPO, turėjo mažesnę plaučių oringumą nei natūraliais takais gimę ir po skubios CPO gimę naujagimiai 1–10 min. ir 11–20 min. po gimimo. Blank ir bendra autorių tyrime, praėjus 1 valandai po gimimo, naujagimių, gimusių po planinės CPO, plaučių oringumas buvo nereikšmingai mažesnis nei kitų grupių. Tuo tarpu mes EIT tyrime užfiksavome didžiausią skirtumą tarp tiriamosios ir kontrolinės grupių po 1 valandos. Plaučių ultragarsinis tyrimas neparodė skirtumo tarp natūraliais takais ir po CPO gimusiųjų. Statistiškai reikšmingai geresnis oringumas ultragarsinio tyrimo metu buvo po skubios CPO gimusių naujagimių, palyginti su planinės CPO grupe (iki 1 val. po gimimo) (189). Esant išnešiotam nėštumui tokios operacijos dažniausiai atliekamos dėl intrauterinės hipoksijos arba nesėkmingo gimdymo natūraliais takais, neretai jau prasidėjus gimdymo procesui ir plaučių skysčio pasišalinimui. Todėl tai yra mažiau rizikinga kvėpavimo sistemos adaptacijai nei planinė CPO, atlikta iki spontaninio gimdymo pradžios, nevisiškai subrendus plaučiams ir esant surfaktanto deficitui. Ateityje būtų tikslinga atlikti išsamesnius EIT tyrimus, atskirai lyginti šias CPO grupes.

Martelius ir bendraautorai ultragarsu tyrė išnešiotų naujagimių plaučius po gimimo. Natūraliais takais ir po planinės CPO gimusiųjų grupėse per pirmąsias 24 valandas buvo reikšmingas B linijų gausumo sumažėjimas, parodantis vykstančią skysčio migraciją. Praėjus vienai valandai po gimdymo tarp grupių nebuvo reikšmingo skirtumo, o praėjus trimis valandoms po CPO gimusių naujagimių plaučiuose skysčio kiekis buvo gerokai didesnis nei gimusiųjų natūraliu būdu. Po 24 valandų šis skirtumas išnyko (190, 191). Lyginant su plaučių echoskopija, EIT anksčiau identifikavo uždelstą skysčių pasišalinimą ir prastesnę oringumą naujagimių po planinės cezario pjūvio operacijos.

Šiame tyrime daugiausia dėmesio skyrėme vėlyvųjų neišnešiotų

naujagimių grupei (34–36 gestacijos savaitės), kurie, nors vizualiai ir kliniškai yra artimesni išnešiotiems naujagimiams nei labai neišnešiotiems, vis dėlto dažnai susiduria su kvėpavimo sunkumais dėl nepakankamos plaučių brandos. Nepakankamai išsivystę plaučiai gali padidinti tokių komplikacijų, kaip antai praeinančioji naujagimio tachipnėja (TTN) ir kvėpavimo sutrikimo sindromas (KSS), skaičių. Lygindami vėlyvųjų neišnešiotų ir išnešiotų naujagimių plaučių oringumo rodiklius, siekėme nustatyti būdingus skirtumus, kurie galėtų būti naudingi klinikinėje praktikoje ir padėtų gerinti kvėpavimo rezultatus. Vėlyvuojų neišnešiotumo laikotarpiu plaučiai vis dar bręsta, vyksta alveolių vystymasis ir surfaktanto gamyba, todėl VNN alveolinė struktūra dažnai būna mažiau subrendusi, surfaktanto kiekis – mažesnis, o kvėpavimo kontrolė – neviseškai susiformavusi. Dėl to ši grupė išlieka jautresnė kvėpavimo sutrikimams. Remiantis pradinėmis prielaidomis, vėlyviesiems neišnešiotiems naujagimiams, palyginti su išnešiotais, buvo tikėtini ryškesni EIT parametrų nukrypimai: didesnis „nebylių“ sričių skaičius bei pakitęs kvėpuojamojo tūrio pasiskirstymas. Suprasti šias ypatybes yra svarbu dėl kelių dalykų. Visų pirma, tai leidžia anksti identifikuoti VNN, kuriems gresia sunkios kvėpavimo sistemos komplikacijos, ir laiku pritaikyti tikslingas intervencijas. Taip pat jos suteikia išsamią informaciją apie specifinius vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių kvėpavimo palaikymo poreikius, kurie gali labai skirtis nuo išnešiotų naujagimių kvėpavimo palaikymo poreikių. Remiantis gautomis įžvalgomis, galima laiku nuspręsti, kada tikslinga taikyti kvėpavimo palaikymo priemones ar papildomai skirti surfaktantą plaučių oringumui pagerinti ir ilgalaikių kvėpavimo ligų rizikai sumažinti. Mūsų tyrimas atskleidė, kad vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių plaučių oringumas buvo mažesnis, palyginti su išnešiotų naujagimių. Tai reiškia, kad VNN kyla didesnė rizika, kad adaptacijos laikotarpiu plaučiai bus nepakankamai ventiliuojami, o tai vėliau gali sukelti kvėpavimo komplikacijų. Oringumo nepakankamumą gali lemti daugybė veiksnių, pavyzdžiui, sutrikęs plaučių struktūrų brendimas, plaučių patologija, mažas plaučių tūris ar paslankumas, nereguliarus kvėpavimo dažnis, plaučių konsolidacija, nesubrendusi alveolių architektūra, minimali surfaktanto baltymo B raiška arba infekcija. Priešlaikinis perėjimas į ekstrauterinę aplinką gali būti kvėpavimo sutrikimo sindromo (KSS), praeinančiosios naujagimio tachipnėjos (PNT) ir kitų kvėpavimo sistemos ligų priežastis (192). Kalyoncu ir bendraautoriai nustatė, kad vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių kvėpavimo sutrikimų rizika yra didesnė nei išnešiotų naujagimių. Dažniausiai būna šios būklės: praeinančioji naujagimio tachipnėja, kvėpavimo sutrikimo sindromas (KSS) ir pneumonija (193). Atasay ir bendraautorių tyrimas atskleidė, kad 30 proc. įtrauktų vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių patyrė kvėpavimo sutrikimą (194).

Funkciniai iššūkiai, su kuriais susiduria VNN, – sunkumai išlaikyti funkcinę liekamąją plaučių talpą, padidėjęs kvėpavimo takų pasipriešinimas ir kvėpavimo takų kolapso rizikos išvengimas. Be to, perėjimas nuo skysčio pripildytų plaučių prie kvėpavimo aplinkos oru yra labai svarbus procesas, tačiau priešlaikinio gimdymo atveju jis gali užtrukti dėl nepakankamai išsivysčiusių epitelio natrio kanalų, ypač nesant savaiminės gimdymo pradžios (195). Aplinkos veiksniai, tokie kaip motinos rūkymas, oro tarša ir stresas nėštumo metu, gali pagilinti šios naujagimių grupės kvėpavimo sistemos problemas (196). Tyrimų duomenimis, norint sumažinti KSS ir kitų komplikacijų, susijusių su vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių plaučių nebrandumu, riziką, būtina taikyti kvėpavimo palaikymo metodus. Kadangi priklausomos plaučių sritys paprastai yra užpakalinės, priklausomai nuo naujagimio padėties jos gali būti labiau veikiamos gravitacijos ir blogiau ventiliuotis, palyginti su nepriklausomomis plaučių sritimis. Didesnis „nebylių“ sričių skaičius VNN priklausomose plaučių srityse rodo, kad jose gali būti sutrikęs oringumas ir (arba) „pertempimas“ (angl. *overdistention*), galintys lemti oringumo ir kraujotakos neatitiktį ir pabloginti kvėpavimo funkciją. Tai rodo, kaip svarbu atidžiai stebėti, kad būtų užtikrintas tinkamas plaučių oringumas, optimali plaučių perfuzija ir prognozuojamos kvėpavimo sistemos baigtys ankstyvuojant adaptacijos laikotarpiu. Sumažėjęs plaučių oringumas, ypač priklausomose srityse, atitinka specialių tūrio ir slėgio strategijų poreikį gaivinimo metu, kaip pabrėžta van Vonderen ir bendraautorių tyrime. Jame pateiktas platus naujagimių pereinamojo laikotarpio apibūdinimas (197). Nors naujagimio pozicijos optimizavimas gali pagerinti kvėpavimo funkciją, vertinant kvėpavimo indukcinės pletizmografijos būdu, anot Gouna ir bendraautorių, EIT potencialiai galėtų būti jautrus metodas pagrindiniams VNN plaučių adaptacijos iššūkiams nustatyti jau praėjus 30 minučių po gimimo. Šis rezultatų sutapimas reiškia, kad į klinikinę vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių priežiūrą galima integruoti ir pozicinę terapiją, ir EIT monitoravimą, siekiant potencialiai pagerinti kvėpavimo sistemos baigtis (198).

Lyginant tiriamosios ir kontrolinės grupių rezultatus, nustatyta skirtumų tarp santykinės įtempties ir regioninio oringumo pasiskirstymo tendencijų. Didesnis oringumo pasiskirstymas į ventralines (priekines) plaučių sritis vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių (VNN) grupėje gali rodyti skirtingą plaučių brandos lygį ir kvėpavimo mechaniką. Nors plaučių tūrio pasiskirstymas kiekviename plautyje laikui bėgant išliko gana pastovus, tarp grupių, ypač dešiniajame plautyje, pastebėta reikšmingų skirtumų. Sveikatos priežiūros specialistai turėtų atsižvelgti į šiuos skirtumus teikdami pagalbą išnešiotiems ir vėlyviesiems neišnešiotiems naujagimiams, kad būtų išvengta

atelektazės ar plaučių pažeidimų. Santykinė įtemptis (ventiliuojamos sritys), rodanti plaučių audinio lankstumą ir galimybę plėstis, yra svarbus rodiklis vertinant plaučių brandą ir funkciją. Tyrimas parodė, kad abiejų grupių bendras santykinės įtempties lygis (apatiniuose kvartiluose ir medianose) buvo panašus, tačiau reikšmingų skirtumų buvo viršutiniuose kvartiluose (Q<sup>+</sup>) trečio epizodo metu. Išnešiotų naujagimių grupėje trečio epizodo metu matoma didesnė ventiliuojamų sričių reikšmė viršutiniame kvartilyje rodo, kad jų plaučių audinys yra paslankesnis ir geriau prisitaiko prie padidėjusių kvėpavimo poreikių. Tuo tarpu VNN grupėje dažniau pasitaikė sričių, kur audinio išsiplėtimas mažesnis, o tai rodo mažesnę plaučių brandos ir elastingumo lygį. Šioms sritims reikia ypatingos priežiūros, siekiant užtikrinti optimalų plaučių funkcionavimą ir dujų apykaitą. Išnešioti naujagimiai pasižymi geresniu plaučių audinio išsiplėtimu aukštesniuose procentiniuose santykinės įtempties diapazonuose, kas leidžia efektyviau prisitaikyti prie kvėpavimo poreikių po gimimo. Vis dėlto per didelis tam tikrų plaučių sričių išsiplėtimas ir vėlesnis plaučių audinio subliūškimas gali kelti riziką, todėl reikalinga nuosekli ir subalansuota plaučių oringumo kontrolė. Svarbu pabrėžti, kad EIT technologija ateityje gali padėti vertinti ne tik oringumą, bet ir regioninę plaučių perfuziją (110–114, 118). Kai oringumas yra nepakankamas (pvz., nustatoma daugiau „nebylių“ arba labai žemos įtempties sričių), gali sutrikti ir normalus kraujo pritekėjimas į alveoles, ypač jei dėl alveolių kolapso atsiranda kraujotakos ir ventiliacijos neatitiktis. Tokia būklė padidina hipokseminio pažeidimo ar net persistuojančios naujagimių plautinės hipertenzijos (PNPH) riziką (8, 56, 59). Todėl išsamus oringumo ir perfuzijos vertinimas realiuoju laiku, naudojant EIT gali būti naudingas, norint greičiau identifikuoti galimą regioninę ventiliacijos nepakankamumą.

Atlikta nemažai tyrimų, kuriuose vertinama neišnešiotų ir išnešiotų naujagimių kvėpavimo būklė ir gydymo taktika. Todėl naujagimių plaučių oringumo palyginimas ankstyvuoju adaptacijos laikotarpiu, naudojant elektrinio impedanso tomografiją, kelia didelį mokslinį susidomėjimą. Daugelis tyrimų buvo skirta labai neišnešiotiems naujagimiams (5, 199–202). Nors nustatėme, kad vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių plaučių oringumas buvo mažesnis, palyginti su išnešiotais naujagimiais, o tai rodo didesnę kvėpavimo komplikacijų riziką, Gaertner ir bendraautoriai įrodė EIT parametrų prognostinę vertę labai neišnešiotų naujagimių kvėpavimo baigtims ankstyvuoju adaptacijos laikotarpiu. Analizuodami EIT parametrus, užfiksuotus jau praėjus 30 minučių po gimimo, tyrėjai nustatė tam tikrus plaučių oringumo žymenis, t. y. mažesnę aeruojamo plaučių tūrio procentą ir didesnę oringumo tolygumo santykį, kurie tiksliai prognozavo deguonies terapijos poreikį praėjus 28 dienoms po gimimo. Tai leidžia manyti, kad EIT

gali būti naudinga priemonė siekiant optimaliai pritaikyti kvėpavimo palaikymo taktiką šiai populiacijai ir pagerinti rezultatus. Tačiau tyrimas turi tam tikrų trūkumų, pavyzdžiui, mažą imtį. Be to, šiems rezultatams patvirtinti reikia didesnių perspektyviųjų tyrimų. Nepaisant to, rezultatai rodo, kad svarbu anksti atlikti neišnešiotų naujagimių plaučių oringumo patikrą, ir šiame kontekste EIT gali atlikti svarbų vaidmenį. Tai atveria duris tolesniems tyrimams ir galimam klinikiniam pritaikymui šioje pažeidžiamoje populiacijoje (1). Bentsen ir bendraautorių atliktame tyrime pateikiami tęstiniai duomenys apie labai neišnešiotų naujagimių plaučių oringumą gimimo metu, kurie yra svarbus kontekstas mūsų pačių tyrimo rezultatams. Bentsen ir bendraautorių tyrime buvo stebima grupė naujagimių, siekiant įvertinti plaučių oringumą arčiau gimimo. Tuo tarpu mūsų tyrime dėmesys sutelktas būtent į laikotarpį po gimdymo ir plaučių oringumo pokyčių stebėjimą per pirmąsias 90 minučių po gimimo, naudojant EIT. Mūsų rezultatai rodo, kad VNN ir IN plaučių oringumas skiriasi, o VNN ankstyvuojų adaptacijos laikotarpiu plaučių oringumas buvo mažesnis. Naudojant EIT galima stebėti šiuos skirtumus realiuoju laiku, o tai padėtų gydytojams greitai priimti sprendimus. Priešingai, Bentsen ir bendraautorių tyrime buvo naudojama elektromagnetinė indukcinė pletizmografija, siekiant suprasti neišnešiotų naujagimių plaučių oringumą vėlesniame raidos etape, kas suteikia žinių apie kvėpavimo brendimą laikui bėgant. Tačiau mūsų tyrime išryškėja iškart po gimimo pasireiškęs VNN plaučių oringumo sutrikimas, rodantis, kad ankstyvosios adaptacijos problemų gali kilti dėl nevisiškos struktūrinės ir funkcinės plaučių brandos. EIT teikia galimybę atlikti vertinimus realiuoju laiku, o pletizmografija leidžia išmatuoti krūtinės ląstos dujų tūrį ir funkcinę liekamąją talpą, tačiau jai trūksta tiesioginio pritaikymo prie ligonio lovos ir skiriamosios gebos laiko atžvilgiu. Tiek EIT, tiek elektromagnetinė indukcinė pletizmografija kartu padeda pagilinti žinias apie naujagimių plaučių adaptaciją ir pagerinti neišnešiotų naujagimių priežiūrą intensyviosios terapijos skyriuose, tačiau EIT suteikia gerokai tikslesnį erdvinį vaizdą, ypač jei norima stebėti regioninį oringumo pasiskirstymą (203). Be to, Veneroni ir bendraautoriai atliko tyrimą, naudodami priverstinių virpesių techniką (angl. *forced oscillation technique* – FOT), kad realiuoju laiku stebėtų neišnešiotų naujagimių, kuriems skiriamas kvėpavimo palaikymas, plaučių oringumą ir mechaniką (204). Tyrėjų išvados atskleidė pradinio plaučių oringumo kintamumą, turintį įtakos vėlesnių kvėpavimo intervencijų veiksmingumui. Kaip ir mūsų tyrime, jie išryškino plaučių oringumo heterogeniškumą neišnešiotų naujagimių gimimo metu, taip pat pabrėžė diagnostikos metodų svarbą, siekiant valdyti kvėpavimo priežiūrą. Veneroni ir bendraautoriai daugiausia dėmesio skyrė FOT metodo

galimybėms monitoruoti kvėpavimo mechanikos pokyčius dirbtinės plaučių ventilacijos metu, tuo tarpu mūsų EIT tyrimas leido išsamiai apžvelgti erdvinį plaučių oringumo pasiskirstymą, išryškinant faktinio plaučių tūrio pokyčius ir galimą regioninį pažeidžiamumą. Tana ir bendraautorai atliko tyrimą, kuriame daugiausia dėmesio skyrė neišnešiotiems naujagimiams, sergantiems kvėpavimo sutrikimo sindromu, ir analizavo plaučių tūrio pokyčius bei hemodinaminę būklę didelio dažnio ventilacijos metu (82). Tuo tarpu mūsų tyrimas buvo sutelktas į vėlyvųjų neišnešiotų ir išnešiotų naujagimių grupę, kuri buvo tiriama spontaninio kvėpavimo metu. Mūsų tyrimo rezultatai patvirtina Tana ir bendraautorų teiginį dėl neišnešiotų naujagimių plaučių pažeidžiamumo. Tačiau mes išplėtojome šį teiginį, tirdami vėlyvuosius neišnešiotus naujagimius. Naudodami EIT savo tyrime, bandėme parodyti, kad VNN plaučių oringumas gali būti prastesnis, kaip matyti iš skirtingų oringumo modelių skirtingose plaučių srityse. Tai rodo, kad jiems kvėpavimo takų komplikacijų rizika yra didesnė. Mūsų rezultatai sutampa su Tana ir bendraautorų išvadomis apie neišnešiotus naujagimius, kuriems pasireiškė kvėpavimo sutrikimo sindromas, ir parodo, kad net ir nesergant akivaizdžia liga, VNN būdingi pastebimi plaučių oringumo pokyčiai, dėl kurių jie gali būti jautresni kvėpavimo problemoms.

Tyrimuose pabrėžiama, kad vėlyvieji neišnešioti naujagimiai, dažnai vadinami „beveik išnešiotais“ (angl. *near-term*), yra labiau pažeidžiami dėl nesubrendusios kvėpavimo sistemos ir didesnės kvėpavimo takų ligų rizikos, palyginti su išnešiotais naujagimiais (36). Blank ir bendraautorų tyrimo, kuriame lyginama vėlyvųjų neišnešiotų ir išnešiotų naujagimių plaučių oringumo dinamika ankstyvuojų adaptacijos laikotarpiu, rezultatai sutampa su mūsų išvadomis ir atskleidžia reikšmingus plaučių prisipildymo oru greičio ir tūrio skirtumus. Naudodami plaučių ultragarsinį tyrimą, tyrėjai nustatė, kad per pirmąsias 24 valandas po gimimo vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių plaučiai prisipildė oro vėliau ir lėčiau, palyginti su išnešiotų naujagimių (205). Mūsų tyrimas taip pat rodo, kad vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių plaučių oringumas yra mažesnis, palyginti su išnešiotų naujagimių, o tai rodo galimą uždelsto plaučių oringumo ir kvėpavimo sistemos komplikacijų ryšį. Vėlyvieji neišnešioti naujagimiai galimai yra labiau pažeidžiami kvėpavimo sistemos adaptacijos metu, nes jie neturėjo galimybės lavinti kvėpavimo įgūdžių, kurių reikia lemiamu pereinamuoju laikotarpiu. Taikant EIT gaunamas nuolatinis regioninio plaučių oringumo vaizdas ir galima suprasti dinaminį naujagimių oringumo pokyčius, vykstančius pereinamuoju laikotarpiu. Lyginant su McEvoy ir bendraautorų atliktu tyrimu, kuriame daugiausiai dėmesio buvo skiriama vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių kvėpavimo funkcijai vertinti naudojant tradicinius spirometrijos metodus, EIT rezultatai suteikia

papildomos informacijos. McEvoy ir bendraautorių tyrime pabrėžiamas sumažėjęs laiko iki maksimalaus iškvėpimo srauto ir bendro iškvėpimo laiko santykis (TPTEF:TE), padidėjęs kvėpavimo pasipriešinimas ir kvėpuojamojo tūrio svyravimai, rodantys galimus iškvėpiamo oro srauto ribojimus. Šiame tyrime nustatyti plaučių oringumo ir mechaninių savybių skirtumai gali padėti paaiškinti McEvoy ir bendraautorių nurodytus duomenis apie VNN kvėpavimo problemas (206). Mūsų tyrimo privalumas – išsamus plaučių oringumo dinamikos vertinimas ankstyvuoju adaptacijos laikotarpiu. Lyginant vėlyvuosius neišnešiotus ir išnešiotus naujagimius, nustatyti reikšmingi plaučių oringumo parametrų skirtumai: ventilacijos centro, „nebylių“ ir ventiliuojamų sričių, kvėpuojamojo tūrio pasiskirstymo. Šie skirtumai suteikia vertingos informacijos, padedančios geriau suprasti sutrikusią ankstyvąją naujagimių postnatalinę adaptaciją. Gauti rezultatai gali turėti klinikinės reikšmės optimizuojant šios populiacijos kvėpavimo priežiūros taktiką. Tačiau tyrimas turi tam tikrų ribojimų. Visų pirma, naujagimiai buvo tiriami tik vienoje pozicijoje – gulintys ant nugaros. Naujagimiai nebuvo guldomi ant pilvo ar šono, dėl šios priežasties nebuvo įmanoma išsamiau paaiškinti nuo padėties priklausomų EIT parametrų (pvz., ventilacijos pasiskirstymo į tikslines plaučių sritis ar ventilacijos centro) skirtumų tarp tiriamųjų grupių priežasčių. Tyrimą riboja ir tai, kad jis buvo atliekamas viename centre, bei santykiškai

trumpas stebėjimo intervalas, tai neleidžia atsakyti, kaip ilgalaikėje perspektyvoje klostosi neišnešiotų naujagimių kvėpavimo sistemos adaptacija. Be to, analizavome gana homogenišką, santykinai sveikų naujagimių grupę. Į tolesnius tyrimus būtų naudinga įtraukti ir neišnešiotus naujagimius, turinčius rimtesnių patologijų, taip pat ištirti, kaip pozicinė terapija ar surfaktanto skyrimo laikas sąveikauja su regioniniu plaučių oringumo pokyčiu. Tokie duomenys padėtų sukurti individualizuotas kvėpavimo priežiūros taktikas, pagrįstas EIT realaus laiko monitoravimu. Norint integruoti elektrinio impedanso tomografiją (EIT) į naujagimių priežiūrą, reikia susitarti dėl jos vaidmens vaikų ir naujagimių skyriuose. Ateityje, atliekant mokslinius tyrimus ir kuriant prietaisus, daugiausia dėmesio turėtų būti skiriama kurti praktiškas ir funkcionalias EIT sistemas, pritaikytas įvairioms klinikinėms sąlygoms. Norint priimti tinkamus sprendimus, būtinas gydytojų ir medicinos įrangos gamintojų bendradarbiavimas. Šios sistemos turi būti pritaikytos įvairioms naujagimių populiacijos grupėms, užtikrinti tinkamas elektrodų sąsajas ir informacinius ekranus (109). Tikėtina, kad iš pradžių EIT bus pritaikyta kaip stebėsenos priemonė, ypač siekiant anksti nustatyti nepageidaujamus reiškinius neinvazinio kvėpavimo palaikymo sąlygomis (pvz., netinkamą PEEP lygį).

Tai leistų įvertinti EIT galimybes pagerinti rizikingų procedūrų, pavyzdžiui, intubacijos, atlikimą, ir sumažinti priklausomybę nuo tokių tyrimų kaip krūtinės ląstos rentgenografija. Tokia patirtis sudarys prielaidų kurti EIT sistemas, kuriomis būtų galima vadovautis klinikinėje praktikoje sudėtingesnėmis sąlygomis, pavyzdžiui, parenkant slėgį DPV metu. Galiausiai siekiama įrodyti, jog EIT gali pagerinti klinikinius rezultatus, kad iš mokslinių tyrimų objekto ji taptų įprasta vaikų ir naujagimių priežiūros dalimi.



## 5. IŠVADOS

1. Natūraliai gimusių išnešiotų naujagimių, kitaip nei gimusių po cezario pjūvio operacijos naujagimių, plaučių oringumas yra geresnis. Po cezario pjūvio operacijos gimusiems naujagimiams yra būdingi didesni neventiliuojamų arba mažiau ventiliuojamų plaučių plotai, ypač nuo gravitacijos priklausomose plaučių dalyse, taip pat blogesnis bendras plaučių oringumas.
2. Natūraliai gimusių vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių, palyginti su išnešiotais naujagimiais, plaučiuose 90 min. po gimimo išlieka daugiau neventiliuojamų arba blogai ventiliuojamų plotų tiek nuo gravitacijos priklausomose, tiek nuo jos nepriklausomose plaučių dalyse, o oringumas pirmiausia didėja (plaučiai plečiasi) centrinėse, o ne periferinėse plaučių dalyse.
3. Po cezario pjūvio gimusių vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių, palyginti su po cezario pjūvio operacijos gimusiais išnešiotais naujagimiais, plaučių oringumas yra blogesnis nuo gravitacijos priklausomose plaučių dalyse, o kvėpuojamojo tūrio pasiskirstymas dėl blogesnio oringumo periferinėse plaučių dalyse yra netolygus.
4. Vėlyvųjų neišnešiotų naujagimių plaučių oringumas yra blogesnis nei išnešiotų naujagimių nepriklausomai nuo jų gimimo būdo. Nors gimimo būdas turi įtakos plaučių oringumui visas pirmąsias 90 min. po gimimo, tačiau vėlyvųjų neišnešiotų ir išnešiotų naujagimių ankstyvosios kvėpavimo sistemos adaptacijos skirtumus labiausiai nulemia ne gimimo būdas, o naujagimio gimimas prieš laiką.

## 7. PRAKTINĖS REKOMENDACIJOS

1. Elektrinio impedanso tomografijos metodas yra vertingas, vertinant lokalius plaučių oringumo pokyčius realiuoju laiku tiek išnešiotų, tiek neišnešiotų naujagimių, ir turėtų būti plačiau taikomas kasdienėje klinikinėje praktikoje.
2. Plaučių oringumo pokyčiai ankstyvuoju pereinamuoju laikotarpiu, vertinant juos elektrinio impedanso tomografijos metodu, gali padėti geriau suprasti neišnešiotų naujagimių kvėpavimo funkcijos adaptacijos ypatumus ir numatyti galimus adaptacinio periodo kvėpavimo sutrikimus ir kvėpuojamosios terapijos poreikį.
3. Cezario pjūvio operacija pablogina tiek išnešiotų, tiek neišnešiotų naujagimių ankstyvojo adaptacinio periodo kvėpuojamąją funkciją, todėl esant galimybei pirmenybė turėtų būti teikiama natūraliam naujagimio gimimui.

## 8. DISERTACIJOS AUTORIAUS PUBLIKACIJOS IR PRANEŠIMAI

### Publikacijos:

1. Regional differences in lung ventilation during the early transition period in late preterm and term neonates assessed by electrical impedance tomography. A. Janulionis, V. Sutova, V. Langiene, E. Virsilas, V. Drejeriene, A. Liubsys, A.Valiulis. Children 2024, WoSCC Q2 IF=2.1. doi.org/10.3390/children11111314
2. Electrical impedance tomography confirmed the impact of method of delivery of term neonate on early lung aeration. A. Janulionis, V. Sutova, V. Langiene, E. Virsilas, V. Drejeriene, A. Liubsys, A.Valiulis. Adv Clin Exp Med. 2024, WoSCC Q3 IF=2.1. doi.org/10.17219/acem/190742
3. Non-invasive respiratory support effects on sighs in preterm infants by electrical impedance tomography. E. Virsilas, A. Liubsys, A. Janulionis, A. Valiulis. Indian Journal of Pediatrics, WoSCC Q1 IF=5.319. doi: [10.1007/s12098-022-04413-8](https://doi.org/10.1007/s12098-022-04413-8).
4. Electrical impedance tomography in pulmonary edema and hemorrhage. E. Virsilas, A. Liubsys, A. Janulionis, A.Valiulis. Pediatrics & Neonatology, WoSCC Q2 IF=2.083. doi: [10.1016/j.pedneo.2021.12.003](https://doi.org/10.1016/j.pedneo.2021.12.003).
5. Elektrinio impedanso tomografijos pritaikymas vertinant spontaniškai kvėpuojančių išnešiotų ir neišnešiotų naujagimių plaučių ventiliacijos ypatumus. V. Šutova, A. Janulionis, V. Drejerienė, V. Langienė, E. Viršilas, A. Valiulis, R. Leišys, A. Valiulis. Sveikatos mokslai (Health Sciences). 2020;30(3):1-5. doi: [10.35988/sm-hs.2020.067](https://doi.org/10.35988/sm-hs.2020.067). [DB: Index Copernicus]
6. Plaučių funkcijos vaizdavimas elektrinio impedanso tomografija: klinikinis taikymas. E. Viršilas, A. Janulionis, A. Liubšys, A. Valiulis. Sveikatos mokslai (Health Sciences). 2020;30(1):190-196. doi: [10.35988/sm-hs.2020.032](https://doi.org/10.35988/sm-hs.2020.032). [DB: Index Copernicus]

### Pranešimai:

1. Elektrinio impedanso tomografijos galimybės ir iššūkiai pulmonologijoje. PULMONOLOGIJS IR ALERGOLOGIJS RUDUO 2019. E. Viršilas, A. Janulionis, Liubšys, A. Valiulis.
2. Electrical impedance tomography – a step towards individualized care. Konferencija: „Perinatal Care During the Health Care Reforms: Problems

- and Perspectives“, 2020, Poltava, Ukraine. E. Viršilas, A. Janulionis, A. Liubšys, A. Valiulis.
3. Electric impedance tomography: new diagnostic tool in paediatric and neonatal pulmonology. „31' Vilnius international conference- school of paediatric pulmonology and allergology“, 2021, Chisinau – Kyiv – Tbilisi – Vilnius. E. Viršilas, A. Janulionis, A. Liubšys, A. Valiulis.
  4. Electrical impedance tomography based evaluation of the aeration of the lungs of newborns born naturally and through section caesarea. The 9-th Congress of European Academy of Paediatric societies, Barcelona, 2022. A. Janulionis, E. Viršilas, A. Liubšys, A. Valiulis.
  5. Early postnatal lung aeration of term newborns can be influenced by method of delivery. 5-th international conference of Evolutionary medicine. The 22-nd Congress of European Antropological association. Vilnius, 2022. A. Janulionis, E. Viršilas, A. Liubšys, A. Valiulis.
  6. Electrical impedance tomography studies of the lungs of newborn during the early postnatal adaptation: practical implications. 7-th International Congress, Georgian Respiratory association. Batumi, 2022. E. Viršilas, A. Janulionis.

## 9. PRIEDAI



VILNIAUS REGIONINIS BIOMEDICININIŲ TYRIMŲ ETIKOS KOMITETAS  
*sui generis* darinys prie VILNIAUS UNIVERSITETO

### LEIDIMAS ATLIKTI BIOMEDICININĮ TYRIMĄ

2020 11 24 Nr.2020/11-1287-767

Tyrimo pavadinimas:

**Elektrinio impedanso tomografija vėlyvų neišnešiotų naujagimių plaučių būklės įvertinimui ir tausojančiam gydymui ankstyvajame pereinamajame laikotarpyje**

Protokolo Nr.: 1  
Versija: 02  
Data: 2020 11 17

Informuoto asmens sutikimo forma: 1  
2020 10 22

Pagrindinis tyrėjas: **Arūnas Valiulis**

Ištaigos pavadinimas: VšĮ Vilniaus miesto klinikinė ligoninė  
Adresas: Antakalnio g. 57, Vilnius

Leidimas galioja iki: **2023 09**

Leidimas išduotas Vilniaus regioninio biomedicininio tyrimų etikos komiteto posėdžio (protokolas Nr. 2020/11), vykusio 2020 m. lapkričio 24 d. sprendimu.

Pirmininkas

prof. dr. (HP) Saulius Vosylius

Viešojoji įstaiga  
Universiteto g. 3  
01513 Vilnius

Duomenys kaupiami ir saugomi  
Juridinių asmenų registre  
Kodas 211950810

Komiteto duomenys:  
M. K. Čiurlionio g. 21, LT-03101 Vilnius  
Tel. (8 5) 268 6998, el. p. rbttek@mf.vu.lt

## 10. LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Lista G, Maturana A, Moya FR. Achieving and maintaining lung volume in the preterm infant: from the first breath to the NICU. *Eur J Pediatr*. 2017; 176(10): 1287–1293. doi:10.1007/s00431-017-2984-y
2. Takenaka K, Waffarn F, Dabestani A, Gardin JM, Henry WL. A pulsed Doppler echocardiographic study of the postnatal changes in pulmonary artery and ascending aortic flow in normal term newborn infants. *Am Heart J*. 1987; 113(3): 759–766. doi:10.1016/0002-8703(87)90717-4
3. Helve O, Pitkänen O, Janér C, Andersson S. Pulmonary fluid balance in the human newborn infant. *Neonatology*. 2009; 95(4): 347–352. doi:10.1159/000209300
4. Ferrante G, Carota G, Li Volti G, Giuffrè M. Biomarkers of Oxidative Stress for Neonatal Lung Disease. *Front Pediatr*. 2021; 9:618867. Published 2021 Feb 18. doi:10.3389/fped.2021.618867
5. Hütten MC, Wolfs TG, Kramer BW. Can the preterm lung recover from perinatal stress?. *Mol Cell Pediatr*. 2016; 3(1): 15. doi:10.1186/s40348-016-0043-9
6. Harding R, Maritz G. Maternal and fetal origins of lung disease in adulthood. *Seminars in Fetal and Neonatal Medicine*. 2012; 17(2): 67–72. doi:10.1016/j.siny.2012.01.005
7. Tribe RM, Taylor PD, Kelly NM, Rees D, Sandall J, Kennedy HP. Parturition and the perinatal period: can mode of delivery impact on the future health of the neonate?. *J Physiol*. 2018; 596(23): 5709–5722. doi:10.1113/JP275429
8. Babooa N, Shi WJ, Chen C. Factors relating caesarean section to persistent pulmonary hypertension of the newborn. *World J Pediatr*. 2017; 13(6): 517–527. doi:10.1007/s12519-017-0056-z
9. Milner AD, Saunders RA, Hopkin IE. Effects of delivery by caesarean section on lung mechanics and lung volume in the human neonate. *Arch Dis Child*. 1978; 53(7): 545–548. doi:10.1136/adc.53.7.545
10. Nikkol EM, Kirjavainen TT, Ekblad UU, Kero PO, Salonen MA. Postnatal adaptation after Caesarean section or vaginal delivery, studied with the static-chance-sensitive bed. *Acta Paediatr*. 2002; 91(9): 927–933. doi:10.1080/080352502760272605
11. Manocha J Dr, Mahajan K Dr, Kumar A Dr. Comparative study of early neonatal morbidities of late preterm and term neonates. *ijsr*. Published online March 1, 2021: 23–25. doi:10.36106/8532772
12. Machado LC Júnior, Passini Júnior R, Rodrigues Machado Rosa I. Late prematurity: a systematic review. *Jornal de Pediatria*. 2014; 90(3): 221–

231. [doi:10.1016/j.jpeds.2013.08.012](https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2013.08.012)
13. D. Snyers, C. Lefèbvre, R. Viellevoe, V. Rigo. [Late preterm : high-risk newborns despite appearances]. *Revue Medicale de Liege*. Published online 2020.
  14. Kumar C. Late Preterm and Early Term Neonates: A New Group of High Risk Newborn in Neonatology with Varied Complications. *J Neonatal Biol*. 2014; 03(05). [doi:10.4172/2167-0897.1000e112](https://doi.org/10.4172/2167-0897.1000e112)
  15. Huff K, Rose RS, Engle WA. Late Preterm Infants. *Pediatric Clinics of North America*. 2019; 66(2): 387–402. [doi:10.1016/j.pcl.2018.12.008](https://doi.org/10.1016/j.pcl.2018.12.008)
  16. S. Kotecha, F. Dunstan, S. Kotecha. Long term respiratory outcomes of late preterm-born infants. *Seminars in fetal & neonatal medicine*. 2012; 17 2: 77–81. [doi:10.1016/j.siny.2012.01.004](https://doi.org/10.1016/j.siny.2012.01.004)
  17. Andrikopoulou M, Emeruwa UN, Ludwig E, Overton E, Gyamfi-Bannerman C. Race and neonatal respiratory morbidity in the late preterm period. *Am J Obstet Gynecol MFM*. 2021; 3(5): 100408. [doi:10.1016/j.ajogmf.2021.100408](https://doi.org/10.1016/j.ajogmf.2021.100408)
  18. Hooper SB, Polglase GR, Roehr CC. Cardiopulmonary changes with aeration of the newborn lung. *Paediatric Respiratory Reviews*. 2015; 16(3): 147–150. [doi:10.1016/j.prrv.2015.03.003](https://doi.org/10.1016/j.prrv.2015.03.003)
  19. Lakshminrusimha S, Steinhorn RH. Pulmonary Vascular Biology During Neonatal Transition. *Clinics in Perinatology*. 1999; 26(3): 601–619. [doi:10.1016/s0095-5108\(18\)300393](https://doi.org/10.1016/s0095-5108(18)300393)
  20. Jain L. Alveolar Fluid Clearance in Developing Lungs and its Role in Neonatal Transition. *Clinics in Perinatology*. 1999; 26(3): 585–599. [doi:10.1016/s0095-5108\(18\)30038-1](https://doi.org/10.1016/s0095-5108(18)30038-1)
  21. J. J. Vonderer, A. Pas. Mini-symposium: Alveolar and Vascular Transition at Birth The first breaths of life: imaging studies of the human infant during neonatal transition. Published online 2015.
  22. van Vonderer JJ, te Pas AB. The first breaths of life: imaging studies of the human infant during neonatal transition. *Paediatric Respiratory Reviews*. 2015; 16(3): 143–146. [doi:10.1016/j.prrv.2015.03.001](https://doi.org/10.1016/j.prrv.2015.03.001)
  23. Hooper SB, Harding R. Pulmonary Transition at Birth. In: *The Lung*. Elsevier; 2004: 201–211. [doi:10.1016/b978-012324751-3/500486](https://doi.org/10.1016/b978-012324751-3/500486)
  24. Strang LB. Growth and Development of the Lung: Fetal and Postnatal. *Annu Rev Physiol*. 1977; 39(1): 253–276. [doi:10.1146/annurev.ph.39.030177.001345](https://doi.org/10.1146/annurev.ph.39.030177.001345)
  25. Warburton D. Overview of Lung Development in the Newborn Human. *Neonatology*. 2017; 111(4): 398–401. [doi:10.1159/000458465](https://doi.org/10.1159/000458465)
  26. Schittny JC. Development of the lung. *Cell Tissue Res*. 2017; 367(3): 427–444. [doi:10.1007/s00441-016-2545-0](https://doi.org/10.1007/s00441-016-2545-0)

27. Mullassery D, Smith NP. Lung development. *Seminars in Pediatric Surgery*. 2015; 24(4): 152–155. doi:[10.1053/j.sempedsurg.2015.01.011](https://doi.org/10.1053/j.sempedsurg.2015.01.011)
28. Yamamoto M, Wilting J, Abe H, Murakami G, Rodríguez-Vázquez JF, Abe S ichi. Development of the pulmonary pleura with special reference to the lung surface morphology: a study using human fetuses. *Anat Cell Biol*. 2018; 51(3): 150. doi:[10.5115/acb.2018.51.3.150](https://doi.org/10.5115/acb.2018.51.3.150)
29. Jobe AH, Whitsett JA, Abman SH, eds. *Fetal and Neonatal Lung Development*. Cambridge University Press; 2016. doi:[10.1017/cbo9781139680349](https://doi.org/10.1017/cbo9781139680349)
30. Woods JC, Schittny J. Lung structure at preterm and term birth. *Cambridge University Press*. Published online 2016. doi:[10.7892/BORIS.83430](https://doi.org/10.7892/BORIS.83430)
31. Warburton D. Overview of Lung Development in the Newborn Human. *Neonatology*. 2017; 111(4): 398–401. doi:[10.1159/000458465](https://doi.org/10.1159/000458465)
32. Loering S, Cameron GJM, Starkey MR, Hansbro PM. Lung development and emerging roles for type 2 immunity. *The Journal of Pathology*. 2019; 247(5): 686–696. doi:[10.1002/path.5211](https://doi.org/10.1002/path.5211)
33. Smith LJ, McKay KO, van Asperen PP, Selvadurai H, Fitzgerald DA. Normal Development of the Lung and Premature Birth. *Paediatric Respiratory Reviews*. 2010; 11(3): 135–142. doi:[10.1016/j.prrv.2009.12.006](https://doi.org/10.1016/j.prrv.2009.12.006)
34. Lucia J Smith, K. McKay, P. V. van Asperen, H. Selvadurai, D. Fitzgerald. Normal development of the lung and premature birth. *Paediatric respiratory reviews*. 2010; 11 3: 135–142. doi:[10.1016/j.prrv.2009.12.006](https://doi.org/10.1016/j.prrv.2009.12.006)
35. Karnati S, Kollikonda S, Abu-Shaweesh J. Late preterm infants – Changing trends and continuing challenges. *International Journal of Pediatrics and Adolescent Medicine*. 2020; 7(Suppl 1): 38–46. doi:[10.1016/j.ijpam.2020.02.006](https://doi.org/10.1016/j.ijpam.2020.02.006)
36. Sharma D, Padmavathi IV, Tabatabaii SA, Farahbakhsh N. Late preterm: a new high risk group in neonatology. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*. 2019; 34(16): 2717–2730. doi:[10.1080/14767058.2019.1670796](https://doi.org/10.1080/14767058.2019.1670796)
37. Gkentzi D, Dimitriou G. Long-Term Outcome of Infants Born Late Preterm. *CPR*. 2015; 10(4): 263–267. doi:[10.2174/1573400510666141114224257](https://doi.org/10.2174/1573400510666141114224257)
38. Boyle EM. Neonatal outcomes following late preterm birth. *Fet Matern Med Rev*. 2012; 23(2): 97–119. doi:[10.1017/s0965539512000071](https://doi.org/10.1017/s0965539512000071)
39. Gouyon JB, Iacobelli S, Ferdynus C, Bonsante F. Neonatal problems of late and moderate preterm infants. *Seminars in Fetal and Neonatal*

- Medicine*. 2012; 17(3): 146–152. doi:[10.1016/j.siny.2012.01.015](https://doi.org/10.1016/j.siny.2012.01.015)
40. Morgan JC, Boyle EM. The late preterm infant. *Paediatrics and Child Health*. 2018; 28(1): 13–17. doi:[10.1016/j.paed.2017.10.003](https://doi.org/10.1016/j.paed.2017.10.003)
  41. H. Mumdzhiyev. [The late preterm infants--time to put our mind]. *Akusherstvo i ginekologiya*. Published online 2012.
  42. Guglani L, Lakshminrusimha S, Ryan RM. Transient Tachypnea of the Newborn. *Pediatrics In Review*. 2008; 29(11): e59–e65. doi:[10.1542/pir.29.11.e59](https://doi.org/10.1542/pir.29.11.e59)
  43. Thorkelsson T, Sigfusson G. Neonatal Lung Diseases. In: *Pediatric Critical Care Medicine*. Springer London; 2014: 249–262. doi:[10.1007/978-1-4471-6356-5\\_14](https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6356-5_14)
  44. Gortner L, Tutdibi E. Respiratorische Erkrankungen bei Früh- und Neugeborenen – Aktuelle Diagnostik und Therapie. *Z Geburtshilfe Neonatol*. 2011; 215(04): 145–151. doi:[10.1055/s-0031-1285835](https://doi.org/10.1055/s-0031-1285835)
  45. Laurie A, Hogden, Kayla Munger, S. Duffek. Neonatal Respiratory Distress. *South Dakota medicine : the journal of the South Dakota State Medical Association*. Published online 2021.
  46. Mahoney AD, Jain L. Respiratory Disorders in Moderately Preterm, Late Preterm, and Early Term Infants. *Clinics in Perinatology*. 2013; 40(4): 665–678. doi:[10.1016/j.clp.2013.07.004](https://doi.org/10.1016/j.clp.2013.07.004)
  47. Pike KC, Lucas JSA. Respiratory consequences of late preterm birth. *Paediatric Respiratory Reviews*. 2015; 16(3): 182–188. doi:[10.1016/j.prrv.2014.12.001](https://doi.org/10.1016/j.prrv.2014.12.001)
  48. J. Craig Jackson. Respiratory Disorders in the Preterm Infant. Published online 2018.
  49. Kommawar A, Borkar R, Vagha J, Lakhkar B, Meshram R, Taksandae A. Study of respiratory distress in newborn. *Int J Contemp Pediatr*. 2017; 4(2): 490. doi:[10.18203/2349-3291.ijcp20170695](https://doi.org/10.18203/2349-3291.ijcp20170695)
  50. Sarkisyan EA, Dumova SV, Volkova AI, et al. Current approaches to respiratory pathology in late preterm infants. *Russ vestn perinatol pediatri*. 2023; 68(4): 14–23. doi:[10.21508/1027-4065-2023-68-4-14-xx](https://doi.org/10.21508/1027-4065-2023-68-4-14-xx)
  51. Ho JJ, Subramaniam P, Davis PG. Continuous distending pressure for respiratory distress in preterm infants. *Cochrane Database Syst Rev*. 2015; 2015(7): CD002271. Published 2015 Jul 4. doi:[10.1002/14651858.CD002271.pub2](https://doi.org/10.1002/14651858.CD002271.pub2)
  52. Suga S, Yasuhi I, Aoki M, et al. Risk factors associated with respiratory disorders in late preterm infants. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*. 2015; 29(3): 447–451. doi:[10.3109/14767058.2014.1003804](https://doi.org/10.3109/14767058.2014.1003804)

53. Marinonio ASS, Costa-Nobre DT, Sañudo A, et al. Temporal Trend and Risk Factors for Respiratory Distress Syndrome-Associated Neonatal Mortality in Preterm Infants: A Population- Based Study in a Middle-Income Country. *American Journal of Perinatology*. 2022. doi:[10.1055/s-0042-1754410](https://doi.org/10.1055/s-0042-1754410)
54. D. Bassler, K. Kreutzer, P. McNamara, H. Kirpalani. Milrinone for persistent pulmonary hypertension of the newborn. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2010; 11. doi:[10.1002/14651858.CD007802.pub2](https://doi.org/10.1002/14651858.CD007802.pub2)
55. Amish Jain, P. McNamara. Persistent pulmonary hypertension of the newborn: Advances in diagnosis and treatment. *Seminars in fetal & neonatal medicine*. 2015; 20 4: 262–271. doi:[10.1016/j.siny.2015.03.001](https://doi.org/10.1016/j.siny.2015.03.001)
56. Erica W Mandell, J. Kinsella, S. Abman. Persistent pulmonary hypertension of the newborn. *Pediatric Pulmonology*. 2020; 56: 661–669. doi:[10.1002/ppul.25073](https://doi.org/10.1002/ppul.25073)
57. M. Puthiyachirakkal, M. Mhanna. Pathophysiology, Management, and Outcome of Persistent Pulmonary Hypertension of the Newborn: A Clinical Review. *Frontiers in Pediatrics*. 2013; 1. doi:[10.3389/fped.2013.00023](https://doi.org/10.3389/fped.2013.00023)
58. Gebreheat G, Tadesse B, Teame H. Predictors of respiratory distress syndrome, sepsis and mortality among preterm neonates admitted to neonatal intensive care unit in northern Ethiopia. *Journal of Pediatric Nursing*. 2021. doi:[10.1016/j.pedn.2021.09.029](https://doi.org/10.1016/j.pedn.2021.09.029)
59. Joaquim E B Cabral, J. Belik. Persistent pulmonary hypertension of the newborn: recent advances in pathophysiology and treatment. *Jornal de Pediatria*. 2013; 89 3: 226–242. doi:[10.1016/j.jped.2012.11.009](https://doi.org/10.1016/j.jped.2012.11.009)
60. A. Hilgendorff, C. Apitz, D. Bonnet, G. Hansmann. Pulmonary hypertension associated with acute or chronic lung diseases in the preterm and term neonate and infant. The European Paediatric Pulmonary Vascular Disease Network, endorsed by ISHLT and DGPK. *Heart*. 2016; 102. doi:[10.1136/heartjnl-2015-308591](https://doi.org/10.1136/heartjnl-2015-308591)
61. J. Pedersen, E. R. Hedegaard, U. Simonsen, Marcus Krüger, M. Infanger, D. Grimm. Current and Future Treatments for Persistent Pulmonary Hypertension in the Newborn. *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*. 2018; 123: 392. doi:[10.1111/bcpt.13051](https://doi.org/10.1111/bcpt.13051)
62. Sofia Martinho, R. Adão, A. Leite-Moreira, C. Brás-Silva. Persistent Pulmonary Hypertension of the Newborn: Pathophysiological Mechanisms and Novel Therapeutic Approaches. *Frontiers in Pediatrics*. 2020; 8. doi:[10.3389/fped.2020.00342](https://doi.org/10.3389/fped.2020.00342)

63. E. Eichenwald. Apnea of Prematurity. *Pediatrics*. 2016; 137. doi:[10.1542/peds.2015-3757](https://doi.org/10.1542/peds.2015-3757)
64. Grant Erickson, N. Dobson, C. Hunt. Immature control of breathing and apnea of prematurity: the known and unknown. *Journal of Perinatology*. 2021; 41: 2111–2123. doi:[10.1038/s41372-021-01010-z](https://doi.org/10.1038/s41372-021-01010-z)
65. Jing Zhao, F. Gonzalez, D. Mu. Apnea of prematurity: from cause to treatment. *European Journal of Pediatrics*. 2011; 170: 1097–1105. doi:[10.1007/s00431-011-1409-6](https://doi.org/10.1007/s00431-011-1409-6)
66. O P Mathew. Apnea of prematurity: pathogenesis and management strategies. *Journal of Perinatology*. 2011; 31: 302–310. doi:[10.1038/jp.2010.126](https://doi.org/10.1038/jp.2010.126)
67. C. Poets. Apnea of prematurity: What can observational studies tell us about pathophysiology? *Sleep medicine*. 2010; 11 7: 701–707. doi:[10.1016/j.sleep.2009.11.016](https://doi.org/10.1016/j.sleep.2009.11.016)
68. M. Lorenzo, Megan Laupacis, W. Hopman, Imtiaz Ahmad, F. Khurshid. Morbidity in Late Preterm Birth: A Retrospective Cohort Study Assessing the Role of Immaturity versus Antecedent Factors. *Neonatology*. 2021; 118: 317–324. doi:[10.1159/000515089](https://doi.org/10.1159/000515089)
69. Mansoor Aslamzai MD, Omid Faizi MD, Basir Ahmad Froogh MD, Mohammad Farouq Hamidi MD, Sayed Azam Sajid MD. Prevalence and Risk Factors of Apnea in Preterm Neonates Admitted to the French Medical Institute for Mothers and Children Hospital in Kabul City: An Analytic Cross-Sectional Study. *Journal of Pediatrics, Perinatology and Child Health*. Published online 2022. doi:[10.26502/jppch.74050128](https://doi.org/10.26502/jppch.74050128)
70. J. Pergolizzi, Alexander Kraus, Peter Magnusson, et al. Treating Apnea of Prematurity. *Cureus*. 2022; 14. doi:[10.7759/cureus.21783](https://doi.org/10.7759/cureus.21783)
71. Yu CC. Radiation safety in the neonatal intensive care unit: too little or too much concern? *Pediatr Neonatol*. 2010; 51(6): 311–319. doi:[10.1016/S1875-9572\(10\)60061-7](https://doi.org/10.1016/S1875-9572(10)60061-7)
72. King A, Blank D, Bhatia R, Marzbanrad F, Malhotra A. Tools to assess lung aeration in neonates with respiratory distress syndrome. *Acta Paediatrica*. 2019; 109. doi:[10.1111/apa.15028](https://doi.org/10.1111/apa.15028)
73. Sweet DG, Carnielli V, Greisen G, et al. European Consensus Guidelines on the Management of Respiratory Distress Syndrome - 2019 Update. *Neonatology*. 2019; 115(4): 432–450. doi:[10.1159/000499361](https://doi.org/10.1159/000499361)
74. National Research Council (US) Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR V). *Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: Beir V*. Washington (DC): National Academies Press (US); 1990.

75. Volpicelli G. Lung sonography. *J Ultrasound Med.* 2013; 32(1): 165–171. [doi:10.7863/jum.2013.32.1.165](https://doi.org/10.7863/jum.2013.32.1.165)
76. Corsini I, Parri N, Gozzini E, et al. Lung Ultrasound for the Differential Diagnosis of Respiratory Distress in Neonates. *Neonatology.* 2019; 115(1): 77–84. [doi:10.1159/000493001](https://doi.org/10.1159/000493001)
77. Reiterer F, Sivieri E, Abbasi S. Evaluation of bedside pulmonary function in the neonate: From the past to the future. *Pediatr Pulmonol.* 2015; 50(10): 1039–1050. [doi:10.1002/ppul.23245](https://doi.org/10.1002/ppul.23245)
78. Klimek J, Morley CJ, Lau R, Davis PG. Does measuring respiratory function improve neonatal ventilation?. *J Paediatr Child Health.* 2006; 42(3): 140–142. [doi:10.1111/j.1440-1754.2006.00813.x](https://doi.org/10.1111/j.1440-1754.2006.00813.x)
79. Schmölzer GM, Kamlin OC, O'Donnell CP, Dawson JA, Morley CJ, Davis PG. Assessment of tidal volume and gas leak during mask ventilation of preterm infants in the delivery room. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 2010; 95(6): F393–F397. [doi:10.1136/adc.2009.174003](https://doi.org/10.1136/adc.2009.174003)
80. Wolf GK, Arnold JH. Noninvasive assessment of lung volume: respiratory inductance plethysmography and electrical impedance tomography. *Crit Care Med.* 2005; 33(3 Suppl): S163– S169. [doi:10.1097/01.ccm.0000155917.39056.97](https://doi.org/10.1097/01.ccm.0000155917.39056.97)
81. Vento G, Tana M, Tirone C, et al. Unexpected effect of recruitment procedure on lung volume measured by respiratory inductive plethysmography (RIP) during high frequency oscillatory ventilation (HFOV) in preterm neonates with respiratory distress syndrome (RDS). *J Matern Fetal Neonatal Med.* 2011; 24 Suppl 1: 159–162. [doi:10.3109/14767058.2011.607587](https://doi.org/10.3109/14767058.2011.607587)
82. Tana M, Polglase GR, Cota F, et al. Determination of Lung Volume and Hemodynamic Changes During High-Frequency Ventilation Recruitment in Preterm Neonates With Respiratory Distress Syndrome. *Crit Care Med.* 2015; 43(8): 1685–1691. [doi:10.1097/CCM.0000000000000967](https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000000967)
83. Kumar P, Leonidas JC, Ashtari M, Napolitano B, Steele AM. Comparison of lung area by chest radiograph, with estimation of lung volume by helium dilution during prone and supine positioning in mechanically ventilated preterm infants: a pilot study. *Pediatr Pulmonol.* 2005; 40(3): 219–222. [doi:10.1002/ppul.20221](https://doi.org/10.1002/ppul.20221)
84. Sophocleous L, Frerichs I, Miedema M, et al. Clinical performance of a novel textile interface for neonatal chest electrical impedance tomography. *Physiol Meas.* 2018; 39(4): 044004. Published 2018 Apr 26. [doi:10.1088/1361-6579/aab513](https://doi.org/10.1088/1361-6579/aab513)
85. Sood BG, McLaughlin K, Cortez J. Near-

- infrared spectroscopy: applications in neonates. *Semin Fetal Neonatal Med.* 2015; 20(3): 164–172. doi:[10.1016/j.siny.2015.03.008](https://doi.org/10.1016/j.siny.2015.03.008)
86. Vesoulis ZA, Mintzer JP, Chock VY. Neonatal NIRS monitoring: recommendations for data capture and review of analytics. *J Perinatol.* 2021; 41(4): 675–688. doi:[10.1038/s41372-021-00946-6](https://doi.org/10.1038/s41372-021-00946-6)
  87. Seager E, Longley C, Aladangady N, Banerjee J. Measurement of gut oxygenation in the neonatal population using near-infrared spectroscopy: a clinical tool?. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 2020; 105(1): 76–86. doi:[10.1136/archdischild-2018-316750](https://doi.org/10.1136/archdischild-2018-316750)
  88. Scrivens A, Zivanovic S, Roehr CC. Is waveform capnography reliable in neonates?. *Arch Dis Child.* 2019; 104(7): 711–715. doi:[10.1136/archdischild-2018-316577](https://doi.org/10.1136/archdischild-2018-316577)
  89. Hooper SB, Fouras A, Siew ML, et al. Expired CO<sub>2</sub> levels indicate degree of lung aeration at birth [published correction appears in PLoS One. 2013 Sep 19; 8(9). doi: 10.1371/annotation/44f67041-2f8e-42df-826a-82172ae05a22]. *PLoS One.* 2013; 8(8):e70895. Published 2013 Aug 12. doi:[10.1371/journal.pone.0070895](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070895)
  90. Tingay DG, Stewart MJ, Morley CJ. Monitoring of end tidal carbon dioxide and transcutaneous carbon dioxide during neonatal transport. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 2005; 90(6): F523– F526. doi:[10.1136/ad.2004.064717](https://doi.org/10.1136/ad.2004.064717)
  91. Bhat YR, Abhishek N. Mainstream end-tidal carbon dioxide monitoring in ventilated neonates. *Singapore Med J.* 2008; 49(3): 199–203.
  92. Kugelman A, Zeiger-Aginsky D, Bader D, Shoris I, Riskin A. A novel method of distal end- tidal CO<sub>2</sub> capnography in intubated infants: comparison with arterial CO<sub>2</sub> and with proximal mainstream end-tidal CO<sub>2</sub>. *Pediatrics.* 2008; 122(6): e1219–e1224. doi:[10.1542/peds.2008-1300](https://doi.org/10.1542/peds.2008-1300)
  93. Amuchou Singh S, Singhal N. Dose end-tidal carbon dioxide measurement correlate with arterial carbon dioxide in extremely low birth weight infants in the first week of life?. *Indian Pediatr.* 2006; 43(1): 20–25.
  94. Aliwalas LL, Noble L, Nesbitt K, Fallah S, Shah V, Shah PS. Agreement of carbon dioxide levels measured by arterial, transcutaneous and end tidal methods in preterm infants < or = 28 weeks gestation. *J Perinatol.* 2005; 25(1): 26–29. doi:[10.1038/sj.jp.7211202](https://doi.org/10.1038/sj.jp.7211202)
  95. Hooper SB, Kitchen MJ, Wallace MJ, et al. Imaging lung aeration and lung liquid clearance at birth. *FASEB J.* 2007; 21(12): 3329–3337. doi:[10.1096/fj.07-8208com](https://doi.org/10.1096/fj.07-8208com)
  96. Hanke M, Harrach B, Hyvönen N. Justification of point electrode

- models in electrical impedance tomography. *Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*. 2011; 21: 1395– 1413. doi:[10.1142/S0218202511005362](https://doi.org/10.1142/S0218202511005362)
97. Harrach B, Ullrich M. Resolution Guarantees in Electrical Impedance Tomography. *IEEE Transactions on Medical Imaging*. 2015; 34: 1513–1521. doi:[10.1109/TMI.2015.2404133](https://doi.org/10.1109/TMI.2015.2404133)
  98. Adler A, Boyle A. Electrical impedance tomography: tissue properties to image measures.
  99. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2017; 64(11): 2494–2504. doi:[10.1109/TBME.2017.2728323](https://doi.org/10.1109/TBME.2017.2728323).
  100. Hyvönen N, Mustonen L. Generalized linearization techniques in electrical impedance tomography. *Numerische Mathematik*. 2017; 140: 95–120. doi:[10.1007/s00211-018-0959-1](https://doi.org/10.1007/s00211-018-0959-1)
  101. Zheng M, Jahanandish H, Samanta BR. Imageless Electrical Impedance Tomography for Highly Sensitive Object Dynamics Detection. 2022 IEEE Sensors. 2022; 01-04. doi:[10.1109/SENSOR52175.2022.9967239](https://doi.org/10.1109/SENSOR52175.2022.9967239)
  102. Frerichs I, Amato M, van Kaam AV, Tingay D, et al. Chest electrical impedance tomography examination, data analysis, terminology, clinical use and recommendations. *Thorax*. 2016; 72: 83–93. doi:[10.1136/thoraxjnl-2016-208357](https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2016-208357)
  103. Frerichs I, Pullett S, Elke G, Zick G, Weiler N. Electrical impedance tomography in acute respiratory distress syndrome. *The Open Nuclear Medicine Journal*. 2010; 2: 110–118. doi:[10.2174/1876388X01002010110](https://doi.org/10.2174/1876388X01002010110)
  104. Heines S, Becher TH, van der Horst IVD, Bergmans DC. Clinical Applicability of Electrical Impedance Tomography in Patient-Tailored Ventilation: A Narrative Review. *Tomography*. 2023; 9: 1903–1932. doi:[10.3390/tomography9050150](https://doi.org/10.3390/tomography9050150)
  105. Via G, Vasques F, Hussain A, Barrett N, Camporota L. Bedside noninvasive monitoring of mechanically ventilated patients. *Current Opinion in Critical Care*. 2020. doi:[10.1097/MCC.0000000000000789](https://doi.org/10.1097/MCC.0000000000000789)
  106. 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 (1985)*. 2012; 113(7): 1154–1161. doi:[10.1152/japplphysiol.01630.2011](https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01630.2011)
  107. Gong B, Krueger-Ziolek S, Moeller K, Schullcke B, Zhao Z. Electrical impedance tomography: functional lung imaging on its way to clinical practice? *Expert Review of Respiratory Medicine*. 2015; 9: 721–737. doi:[10.1586/17476348.2015.1103650](https://doi.org/10.1586/17476348.2015.1103650)

108. Grassi LG, Santiago R, Florio G, Berra L. Bedside Evaluation of Pulmonary Embolism by Electrical Impedance Tomography. *Anesthesiology*. 2020; 132(4): 896. doi:[10.1097/ALN.0000000000003059](https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000003059)
109. Prins SA, Weller D, Labout J, den Uil CD. Electrical impedance tomography as a bedside diagnostic tool for pulmonary embolism. *Crit Care Explor*. 2023; 5. doi:[10.1097/CCE.0000000000000843](https://doi.org/10.1097/CCE.0000000000000843).
110. Zhao, Z., Möller, K., Steinmann, D., Frerichs, I., & Guttman, J. (2009). Evaluation of an electrical impedance tomography-based global inhomogeneity index for pulmonary ventilation distribution. *Intensive Care Medicine*, 35, 1900–1906. doi:[10.1007/s00134-009-1589-y](https://doi.org/10.1007/s00134-009-1589-y).
111. Vonk Noordegraaf A, Kunst P, Janse A, et al. Pulmonary perfusion measured by means of electrical impedance tomography. *Physiol Meas*. 1998; 19(2): 263–273. doi:[10.1088/0967-3334/19/2/013](https://doi.org/10.1088/0967-3334/19/2/013).
112. Smit H, Vonk Noordegraaf A, Marcus J, et al. Determinants of pulmonary perfusion measured by electrical impedance tomography. *Eur J Appl Physiol*. 2004; 92: 45–49. doi:[10.1007/s00421-004-1043-3](https://doi.org/10.1007/s00421-004-1043-3).
113. Cui W, Jiang H, Zheng X. Advances in clinical application of electrical impedance tomography to evaluate pulmonary perfusion in critically ill patients. *Zhonghua Jie He He Hu Xi Za Zhi*. 2023; 46(6): 610–613. doi:[10.3760/cma.j.cn112147-20221002-00799](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn112147-20221002-00799).
114. Xu M, He H, Long Y. Lung perfusion assessment by bedside electrical impedance tomography in critically ill patients. *Front Physiol*. 2021; 12. doi:[10.3389/fphys.2021.748724](https://doi.org/10.3389/fphys.2021.748724).
115. Borges J, Suarez-Sipmann F, Bohm S, et al. Regional lung perfusion estimated by electrical impedance tomography in a piglet model of lung collapse. *J Appl Physiol*. 2012; 112(1): 225–236. doi:[10.1152/japplphysiol.01090.2010](https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01090.2010).
116. Bluth T, Kiss T, Kircher M, et al. Measurement of relative lung perfusion with electrical impedance and positron emission tomography: an experimental comparative study. *Br J Anaesth*. 2019. doi:[10.1016/j.bja.2019.04.056](https://doi.org/10.1016/j.bja.2019.04.056).
117. Nguyen DT, Jin C, Thiagalingam A, McEwan A. A computer simulation study on the applicability of 3D electrical impedance tomography for pulmonary perfusion defect imaging. In: 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. 2013: 967–970. doi:[10.1007/978-3-642-29305-4\\_254](https://doi.org/10.1007/978-3-642-29305-4_254).
118. Nguyen DT, Jin C, Thiagalingam A, McEwan A. A review on electrical impedance tomography for pulmonary perfusion imaging. *Physiol Meas*. 2012; 33(5): 695–706. doi:[10.1088/0967-3334/33/5/695](https://doi.org/10.1088/0967-3334/33/5/695).

119. Wang Y, Zhong M. Bedside monitoring of lung perfusion by electrical impedance tomography. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*. 2022; 102(36): 2828–2833. doi:[10.3760/cma.j.cn112137-20220222-00362](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn112137-20220222-00362).
120. Riera J, Riu P, Casán P, Masclans J. Electrical impedance tomography in acute lung injury. *Medicina Intensiva*. 2011; 35(8): 509–517. doi:[10.1016/j.medin.2011.05.005](https://doi.org/10.1016/j.medin.2011.05.005)
121. Masner A, Blasina F, Simini F. Electrical impedance tomography for neonatal ventilation assessment: a narrative review. *J Phys Conf Ser*. 2019; 1272. doi:[10.1088/1742-6596/1272/1/012008](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1272/1/012008)
122. Nguyen DT, Jin C, Thiagalingam A, McEwan A. A review on electrical impedance tomography for pulmonary perfusion imaging. *Physiol Meas*. 2012; 33: 695–706. doi:[10.1088/0967-3334/33/5/695](https://doi.org/10.1088/0967-3334/33/5/695)
123. Sang L, Zhao Z, Lin Z, Liu X, Zhong N, Li Y. A narrative review of electrical impedance tomography in lung diseases with flow limitation and hyperinflation: methodologies and applications. *Ann Transl Med*. 2020; 8. doi:[10.21037/ATM-20-4984](https://doi.org/10.21037/ATM-20-4984)
124. Brown BH. Electrical impedance tomography (EIT): a review. *J Med Eng Technol*. 2003; 27(3): 97–108. doi:[10.1080/0309190021000059687](https://doi.org/10.1080/0309190021000059687)
125. Pulletz S, Adler A, Kott M, et al. Regional lung opening and closing pressures in patients with acute lung injury. *J Crit Care*. 2012; 27(3): 323.e11–323.e3. doi:[10.1016/j.jcrc.2011.09.002](https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2011.09.002)
126. van Kaam AH, Rimensberger PC. Lung-protective ventilation strategies in neonatology: what do we know--what do we need to know?. *Crit Care Med*. 2007; 35(3): 925–931. doi:[10.1097/01.CCM.0000256724.70601.3A](https://doi.org/10.1097/01.CCM.0000256724.70601.3A)
127. Becher TH, Miedema M, Kallio M, et al. Prolonged Continuous Monitoring of Regional Lung Function in Infants with Respiratory Failure. *Ann Am Thorac Soc*. 2022; 19(6): 991–999. doi:[10.1513/AnnalsATS.202005-562OC](https://doi.org/10.1513/AnnalsATS.202005-562OC)
128. 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): 199–205.e2. doi:[10.1016/j.jpeds.2011.01.066](https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2011.01.066)
129. 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. doi:[10.1164/rccm.201103-0375OC](https://doi.org/10.1164/rccm.201103-0375OC)
130. 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. doi:[10.1007/s00134-011-2410-2](https://doi.org/10.1007/s00134-011-2410-2)
131. Frerichs I, Hahn G, Schiffmann H, Berger C, Hellige G. Monitoring regional lung ventilation by functional electrical impedance tomography during assisted ventilation. *Ann N Y Acad Sci.* 1999; 873: 493–505. doi:[10.1111/j.1749-6632.1999.tb09498.x](https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1999.tb09498.x)
  132. Armstrong RK, Carlisle HR, Davis PG, Schibler A, Tingay DG. Distribution of tidal ventilation during volume-targeted ventilation is variable and influenced by age in the preterm lung. *Intensive Care Med.* 2011; 37(5): 839–846. doi:[10.1007/s00134-011-2157-9](https://doi.org/10.1007/s00134-011-2157-9)
  133. Miedema M, Frerichs I, de Jongh FH, van Veenendaal MB, van Kaam AH. Pneumothorax in a preterm infant monitored by electrical impedance tomography: a case report. *Neonatology.* 2011; 99(1): 10–13. doi:[10.1159/000292626](https://doi.org/10.1159/000292626)
  134. Kallio M, Rahtu M, van Kaam AH, Bayford R, Rimensberger PC, Frerichs I. Electrical impedance tomography reveals pathophysiology of neonatal pneumothorax during NAVA. *Clin Case Rep.* 2020; 8(8): 1574–1578. Published 2020 May 24. doi:[10.1002/ccr3.2944ka](https://doi.org/10.1002/ccr3.2944ka)
  135. Miedema M, van der 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): 691–697. doi:[10.1016/j.jpeds.2012.09.027](https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2012.09.027)
  136. van Veenendaal MB, Miedema M, de Jongh FH, 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): 2130–2134. doi:[10.1007/s00134-009-1663-5](https://doi.org/10.1007/s00134-009-1663-5)
  137. Marven SS, Hampshire AR, Smallwood RH, Brown BH, Primhak RA. Reproducibility of electrical impedance tomographic spectroscopy (EITS) parametric images of neonatal lungs. *Physiol Meas.* 1996;17 Suppl 4A:A205–A212. doi:[10.1088/0967-3334/17/4a/025](https://doi.org/10.1088/0967-3334/17/4a/025)
  138. Bohm S. WhitePaper\_EIT\_2ST800-103\_Rev.000. Published online May 21, 2014.
  139. Rahal M, Khor JM, Demosthenous A, Tizzard A, Bayford R. A comparison study of electrodes for neonate electrical impedance tomography. *Physiol Meas.* 2009; 30(6): S73–S84. doi:[10.1088/0967-3334/30/6/S05](https://doi.org/10.1088/0967-3334/30/6/S05)
  140. Adler A, Boyle A. Electrical Impedance Tomography. Published online May 10, 2019: 1-16. doi:[10.1002/047134608x.w1431.pub2](https://doi.org/10.1002/047134608x.w1431.pub2)
  141. Yerworth R, Bayford R. The effect of serial data collection on the

- accuracy of electrical impedance tomography images. *Physiol Meas.* 2013; 34(6): 659–669. doi:[10.1088/0967- 3334/34/6/659](https://doi.org/10.1088/0967-3334/34/6/659)
142. Durlak W, Kwinta P. Role of electrical impedance tomography in clinical practice in pediatric respiratory medicine. *ISRN Pediatr.* 2013; 2013: 529038. Published 2013 Dec 25. doi:[10.1155/2013/529038](https://doi.org/10.1155/2013/529038)
  143. Tingay DG, Wallace MJ, Bhatia R, et al. Surfactant before the first inflation at birth improves spatial distribution of ventilation and reduces lung injury in preterm lambs. *J Appl Physiol (1985).* 2014; 116(3): 251–258. doi:[10.1152/japplphysiol.01142.2013](https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01142.2013)
  144. Wolf GK, Gómez-Laberge C, Rettig JS, et al. Mechanical ventilation guided by electrical impedance tomography in experimental acute lung injury. *Crit Care Med.* 2013; 41(5): 1296–1304. doi:[10.1097/CCM.0b013e3182771516](https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e3182771516)
  145. Tingay DG, Rajapaksa A, Zonneveld CE, et al. Spatiotemporal Aeration and Lung Injury Patterns Are Influenced by the First Inflation Strategy at Birth. *Am J Respir Cell Mol Biol.* 2016; 54(2): 263–272. doi:[10.1165/rcmb.2015-0127OC](https://doi.org/10.1165/rcmb.2015-0127OC)
  146. Schmölzer GM, Bhatia R, Davis PG, Tingay DG. A comparison of different bedside techniques to determine endotracheal tube position in a neonatal piglet model. *Pediatr Pulmonol.* 2013; 48(2): 138–145. doi:[10.1002/ppul.22580](https://doi.org/10.1002/ppul.22580)
  147. Bhatia R, Schmölzer GM, Davis PG, Tingay DG. Electrical impedance tomography can rapidly detect small pneumothoraces in surfactant-depleted piglets. *Intensive Care Med.* 2012; 38(2): 308–315. doi:[10.1007/s00134-011-2421-z](https://doi.org/10.1007/s00134-011-2421-z)
  148. Elgellab A, Riou Y, Abbazine A, et al. Effects of nasal continuous positive airway pressure (NCPAP) on breathing pattern in spontaneously breathing premature newborn infants. *Intensive Care Med.* 2001; 27(11): 1782–1787. doi:[10.1007/s00134-001-1117-1](https://doi.org/10.1007/s00134-001-1117-1)
  149. Miller MJ, Carlo WA, Martin RJ. Continuous positive airway pressure selectively reduces obstructive apnea in preterm infants. *J Pediatr.* 1985; 106(1): 91–94. doi:[10.1016/s0022- 3476\(85\)80475-3](https://doi.org/10.1016/s0022-3476(85)80475-3)
  150. Frerichs I, Schiffmann H, Oehler R, et al. Distribution of lung ventilation in spontaneously breathing neonates lying in different body positions. *Intensive Care Med.* 2003; 29(5): 787–794. doi:[10.1007/s00134-003-1726-y](https://doi.org/10.1007/s00134-003-1726-y)
  151. Hough J, Trojman A, Schibler A. Effect of time and body position on ventilation in premature infants. *Pediatr Res.* 2016; 80(4): 499–504. doi:[10.1038/pr.2016.116](https://doi.org/10.1038/pr.2016.116)
  152. Hough JL, Johnston L, Brauer S, Woodgate P, Schibler A. Effect of

- body position on ventilation distribution in ventilated preterm infants. *Pediatr Crit Care Med*. 2013; 14(2): 171–177. doi:[10.1097/PCC.0b013e31826e708a](https://doi.org/10.1097/PCC.0b013e31826e708a)
153. 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. doi:[10.1038/pr.2014.201](https://doi.org/10.1038/pr.2014.201)
  154. Pfurtscheller K, Ring S, Beran E, et al. Effect of body position on ventilation distribution during PEEP titration in a porcine model of acute lung injury using advanced respiratory monitoring and electrical impedance tomography. *Intensive Care Med Exp*. 2015; 3(1): 38. doi:[10.1186/s40635-014-0038-6](https://doi.org/10.1186/s40635-014-0038-6)
  155. Lista G, Boni L, Scopesi F, et al. Sustained lung inflation at birth for preterm infants: a randomized clinical trial. *Pediatrics*. 2015; 135(2): e457–e464. doi:[10.1542/peds.2014-1692](https://doi.org/10.1542/peds.2014-1692)
  156. Lista G, Fontana P, Castoldi F, Caviglioli F, Dani C. Does sustained lung inflation at birth improve outcome of preterm infants at risk for respiratory distress syndrome?. *Neonatology*. 2011; 99(1): 45–50. doi:[10.1159/000298312](https://doi.org/10.1159/000298312)
  157. Tingay DG, Lavizzari A, Zonneveld CE, 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–L1149. doi:[10.1152/ajplung.00277.2015](https://doi.org/10.1152/ajplung.00277.2015)
  158. Frerichs I, Dargaville PA, van Genderingen H, Morel DR, Rimensberger PC. Lung volume recruitment after surfactant administration modifies spatial distribution of ventilation. *Am J Respir Crit Care Med*. 2006; 174(7): 772–779. doi:[10.1164/rccm.200512-1942OC](https://doi.org/10.1164/rccm.200512-1942OC)
  159. AVERY ME, MEAD J. Surface properties in relation to atelectasis and hyaline membrane disease. *AMA J Dis Child*. 1959;97(5, Part 1): 517–523. doi:[10.1001/archpedi.1959.02070010519001](https://doi.org/10.1001/archpedi.1959.02070010519001)
  160. Polin RA, Carlo WA; Committee on Fetus and Newborn; American Academy of Pediatrics. Surfactant replacement therapy for preterm and term neonates with respiratory distress. *Pediatrics*. 2014; 133(1): 156–163. doi:[10.1542/peds.2013-3443](https://doi.org/10.1542/peds.2013-3443)
  161. Fujiwara T, Maeta H, Chida S, Morita T, Watabe Y, Abe T. Artificial surfactant therapy in hyaline-membrane disease. *Lancet*. 1980; 1(8159): 55–59. doi:[10.1016/s0140-6736\(80\)90489-4](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(80)90489-4)
  162. Rossello JD, Hayward PE, Martell M, et al. Hyaline membrane disease (HMD) therapy in Latin America: impact of exogenous surfactant

- administration on newborn survival, morbidity and use of resources. *J Perinat Med*. 1997; 25(3): 280–287.
163. Hooper SB, Te Pas AB, Lang J, et al. Cardiovascular transition at birth: a physiological sequence. *Pediatr Res*. 2015; 77(5): 608–614. doi:[10.1038/pr.2015.21](https://doi.org/10.1038/pr.2015.21)
  164. Katheria A, Rich W, Finer N. Optimizing Care of the Preterm Infant Starting in the Delivery Room. *Am J Perinatol*. 2016; 33(3): 297–304. doi:[10.1055/s-0035-1570385](https://doi.org/10.1055/s-0035-1570385)
  165. Saugstad OD. Delivery room management of term and preterm newly born infants. *Neonatology*. 2015; 107(4): 365–371. doi:[10.1159/000381159](https://doi.org/10.1159/000381159)
  166. Dargaville PA, Aiyappan A, Cornelius A, Williams C, De Paoli AG. Preliminary evaluation of a new technique of minimally invasive surfactant therapy. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2011; 96(4): F243–F248. doi:[10.1136/adc.2010.192518](https://doi.org/10.1136/adc.2010.192518)
  167. Teig N, Weitkämper A, Rothermel J, et al. Observational Study on Less Invasive Surfactant Administration (LISA) in Preterm Infants<29 Weeks--Short and Long-term Outcomes. *Z Geburtshilfe Neonatol*. 2015; 219(6): 266–273. doi:[10.1055/s-0035-1547295](https://doi.org/10.1055/s-0035-1547295)
  168. Dargaville PA, Aiyappan A, De Paoli AG, et al. Minimally-invasive surfactant therapy in preterm infants on continuous positive airway pressure. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2013; 98(2): F122–F126. doi:[10.1136/archdischild-2011-301314](https://doi.org/10.1136/archdischild-2011-301314)
  169. Dargaville PA, Ali SKM, Jackson HD, Williams C, De Paoli AG. Impact of Minimally Invasive Surfactant Therapy in Preterm Infants at 29-32 Weeks Gestation. *Neonatology*. 2018;113(1):7-14. doi:[10.1159/000480066](https://doi.org/10.1159/000480066)
  170. 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. doi:[10.1016/j.jpeds.2015.11.035](https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2015.11.035)
  171. Lamberska T, Settelmayerova E, Smisek J, Luksova M, Maloskova G, Plavka R. Oropharyngeal surfactant can improve initial stabilisation and reduce rescue intubation in infants born below 25 weeks of gestation. *Acta Paediatr*. 2018; 107(1): 73–78. doi:[10.1111/apa.14060](https://doi.org/10.1111/apa.14060)
  172. O'Donnell CP, Kamlin CO, Davis PG, Morley CJ. Endotracheal intubation attempts during neonatal resuscitation: success rates, duration, and adverse effects. *Pediatrics*. 2006; 117(1): e16– e21. doi:[10.1542/peds.2005-0901](https://doi.org/10.1542/peds.2005-0901)
  173. 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. doi:[10.1111/aas.12143](https://doi.org/10.1111/aas.12143)
174. Rossi Fde S, 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): 345–350. doi:[10.6061/clinics/2013\(03\)oa10](https://doi.org/10.6061/clinics/2013(03)oa10)
  175. 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): 884–889. doi:[10.1111/jpc.12661](https://doi.org/10.1111/jpc.12661)
  176. Lobo B, Hermosa C, Abella A, Gordo F. Electrical impedance tomography. *Ann Transl Med*. 2018; 6(2): 26. doi:[10.21037/atm.2017.12.06](https://doi.org/10.21037/atm.2017.12.06)
  177. Schinckel NF, Hickey L, Perkins EJ, et al. Skin-to-skin care alters regional ventilation in stable neonates. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2021; 106(1): 76–80. doi:[10.1136/archdischild-2020-319136](https://doi.org/10.1136/archdischild-2020-319136)
  178. Blank DA, Kamlin COF, Rogerson SR, et al. Lung ultrasound immediately after birth to describe normal neonatal transition: an observational study. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2018; 103(2): F157–F162. doi:[10.1136/archdischild-2017-312818](https://doi.org/10.1136/archdischild-2017-312818)
  179. Hansen AK, Wisborg K, Uldbjerg N, Henriksen TB. Elective caesarean section and respiratory morbidity in the term and near-term neonate. *Acta Obstet Gynecol Scand*. 2007; 86(4): 389–394. doi:[10.1080/00016340601159256](https://doi.org/10.1080/00016340601159256)
  180. Ramachandrappa A, Jain L. Elective cesarean section: its impact on neonatal respiratory outcome. *Clin Perinatol*. 2008; 35(2): 373–vii. doi:[10.1016/j.clp.2008.03.006](https://doi.org/10.1016/j.clp.2008.03.006)
  181. Hooper SB, Kitchen MJ, Siew ML, et al. Imaging lung aeration and lung liquid clearance at birth using phase contrast X-ray imaging. *Clin Exp Pharmacol Physiol*. 2009; 36(1): 117–125. doi:[10.1111/j.1440-1681.2008.05109.x](https://doi.org/10.1111/j.1440-1681.2008.05109.x)
  182. Schibler A, Yuill M, Parsley C, Pham T, Gilshenan K, Dakin C. Regional ventilation distribution in non-sedated spontaneously breathing newborns and adults is not different. *Pediatr Pulmonol*. 2009; 44(9): 851–858. doi:[10.1002/ppul.21000](https://doi.org/10.1002/ppul.21000)
  183. Tribe RM, Taylor PD, Kelly NM, Rees D, Sandall J, Kennedy HP. Parturition and the perinatal period: can mode of delivery impact on the future health of the neonate?. *J Physiol*. 2018; 596(23): 5709–5722. doi:[10.1113/JP275429](https://doi.org/10.1113/JP275429)

184. Bulut O, Buyukkayhan D. Early term delivery is associated with increased neonatal respiratory morbidity. *Pediatr Int*. 2021; 63(1): 60–64. doi:[10.1111/ped.14437](https://doi.org/10.1111/ped.14437)
185. Ahimbisibwe A, Coughlin K, Eastabrook G. Respiratory Morbidity in Late Preterm and Term Babies Born by Elective Caesarean Section. *J Obstet Gynaecol Can*. 2019; 41(8): 1144–1149. doi:[10.1016/j.jogc.2018.11.002](https://doi.org/10.1016/j.jogc.2018.11.002)
186. Gondwe T, Betha K, Kusneniwar GN, et al. Mode of delivery and short-term infant health outcomes: a prospective cohort study in a peri-urban Indian population. *BMC Pediatr*. 2018; 18(1): 346. Published 2018 Nov 6. doi:[10.1186/s12887-018-1324-3](https://doi.org/10.1186/s12887-018-1324-3)
187. Bhargava R, Mathur M, Patodia J. Oxygen saturation trends in normal healthy term newborns: normal vaginal delivery vs. elective cesarean section. *J Perinat Med*. 2018; 46(2):191-195. doi:[10.1515/jpm-2016-0373](https://doi.org/10.1515/jpm-2016-0373)
188. Lee S, Hassan A, Ingram D, Milner AD. Effects of different modes of delivery on lung volumes of newborn infants. *Pediatr Pulmonol*. 1999; 27(5): 318–321. doi:[10.1002/\(sici\)1099-0496\(199905\)27:5<318::aid-ppul4>3.0.co;2-e](https://doi.org/10.1002/(sici)1099-0496(199905)27:5<318::aid-ppul4>3.0.co;2-e)
189. Finn D, De Meulemeester J, Dann L, et al. Respiratory adaptation in term infants following elective caesarean section. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2018; 103(5): F417–F421. doi:[10.1136/archdischild-2017-312908](https://doi.org/10.1136/archdischild-2017-312908)
190. Blank DA, Gaertner VD, Kamlin COF, et al. Respiratory changes in term infants immediately after birth. *Resuscitation*. 2018; 130: 105–110. doi:[10.1016/j.resuscitation.2018.07.008](https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.07.008)
191. Martelius L, Janér C, Süvari L, et al. Delayed lung liquid absorption after cesarean section at term. *Neonatology*. 2013; 104(2): 133-136. doi:[10.1159/000351290](https://doi.org/10.1159/000351290)
192. Martelius L, Süvari L, Janér C, et al. Lung Ultrasound and Static Lung Compliance during Postnatal Adaptation in Healthy Term Infants. *Neonatology*. 2015; 108(4): 287–292. doi:[10.1159/000438453](https://doi.org/10.1159/000438453)
193. Anadkat JS, Kuzniewicz MW, Chaudhari BP, Cole FS, Hamvas A. Increased risk for respiratory distress among white, male, late preterm and term infants. *J Perinatol*. 2012; 32(10): 780–785. doi:[10.1038/jp.2011.191](https://doi.org/10.1038/jp.2011.191)
194. Kalyoncu O, Aygün C, Cetinoğlu E, Küçüködük S. Neonatal morbidity and mortality of late-preterm babies. *J Matern Fetal Neonatal Med*. 2010; 23(7): 607–612. doi:[10.1080/14767050903229622](https://doi.org/10.1080/14767050903229622)
195. Atasay B, Okulu E, Akın İM, Çandır O, Arsan S, Türmen T. *Türkiye*

- Çocuk Hast Derg.* 2010; 4(1): 30–35.
196. Mercadante D, Colnaghi M, Polimeni V, et al. Sustained lung inflation in late preterm infants: a randomized controlled trial. *J Perinatol.* 2016; 36(6): 443–447. doi:[10.1038/jp.2015.222](https://doi.org/10.1038/jp.2015.222)
  197. Mitha A, Chen R, Altman M, Johansson S, Stephansson O, Bolk J. Neonatal Morbidities in Infants Born Late Preterm at 35-36 Weeks of Gestation: A Swedish Nationwide Population- based Study. *J Pediatr.* 2021; 233: 43–50.e5. doi:[10.1016/j.jpeds.2021.02.066](https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2021.02.066)
  198. van Vonderen JJ, Roest AA, Siew ML, Walther FJ, Hooper SB, te Pas AB. Measuring physiological changes during the transition to life after birth. *Neonatology.* 2014; 105(3): 230–242. doi:[10.1159/000356704](https://doi.org/10.1159/000356704)
  199. 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. doi:[10.1016/j.jpeds.2012.11.036](https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2012.11.036)
  200. Thomson J, Rüegger CM, Perkins EJ, et al. Regional ventilation characteristics during non- invasive respiratory support in preterm infants. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 2021; 106(4): 370–375. doi:[10.1136/archdischild-2020-320449](https://doi.org/10.1136/archdischild-2020-320449)
  201. Gaertner VD, Waldmann AD, Bassler D, Hooper SB, Rüegger CM. Intrapulmonary Volume Changes during Hiccups versus Spontaneous Breaths in a Preterm Infant. *Neonatology.* 2022; 119(4): 525–529. doi:[10.1159/000524194](https://doi.org/10.1159/000524194)
  202. Gaertner VD, Waldmann AD, Davis PG, et al. Transmission of Oscillatory Volumes into the Preterm Lung during Noninvasive High-Frequency Ventilation. *Am J Respir Crit Care Med.* 2021; 203(8): 998–1005. doi:[10.1164/rccm.202007-2701OC](https://doi.org/10.1164/rccm.202007-2701OC)
  203. Gaertner VD, Waldmann AD, Davis PG, et al. Lung volume distribution in preterm infants on non-invasive high-frequency ventilation. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 2022; 107(5): 551–557. doi:[10.1136/archdischild-2021-322990](https://doi.org/10.1136/archdischild-2021-322990)
  204. Bentsen MH, Markestad T, Øymar K, Halvorsen T. Lung function at term in extremely preterm-born infants: a regional prospective cohort study. *BMJ Open.* 2017; 7(10): e016868. Published 2017 Oct 25. doi:[10.1136/bmjopen-2017-016868](https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-016868)
  205. Veneroni C, Mercadante D, Lavizzari A, Colnaghi M, Mosca F, Dellacà RL. Changes in respiratory mechanics at birth in preterm infants: A pilot study. *Pediatr Pulmonol.* 2020; 55(7): 1640–1645. doi:[10.1002/ppul.24772](https://doi.org/10.1002/ppul.24772)
  206. Blank DA, Rogerson SR, Kamlin COF, et al. Lung ultrasound during

the initiation of breathing in healthy term and late preterm infants immediately after birth, a prospective, observational study. *Resuscitation*. 2017; 114: 59–65. doi:[10.1016/j.resuscitation.2017.02.017](https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.02.017)

207. McEvoy C, Venigalla S, Schilling D, Clay N, Spitale P, Nguyen T. Respiratory function in healthy late preterm infants delivered at 33-36 weeks of gestation. *J Pediatr*. 2013; 162(3): 464–469. doi:[10.1016/j.jpeds.2012.09.042](https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2012.09.042)

## 11. PADĖKA

Noriu padėkoti visiems, kurie man padėjo rengiant disertaciją:

naujagimiams ir jų tėvams, dalyvavusiems mūsų tyrimuose, leidusiems sukaupiti naujų mokslo žinių ir žengti nors ir nedidelį žingsnį link visų vaikų sveikatos ir gerovės;

prof. habil. dr. Arūnui Valiuliui, mano doktorantūros darbo vadovui, kuris šį darbą globojo ketverius metus, padėjo spręsti visus iškilusius sunkumus, konsultavo mokslinio darbo metodikos bei techniniais klausimais, skatino eiti pirmyn, tikėjo šio darbo sėkme;

doc. dr. Arūnui Liubšiui, doktorantūros darbo konsultantui, mano neonatologijos mokytojui, turinčiam nesibaigiantį naujų idėjų katilą; kuris ištiesdavo pagalbos ranką visada, kada to reikėdavo;

Vilniaus miesto klinikinės ligoninės Naujagimių skyriaus gydytojoms ir slaugytojoms už supratimą ir geranorišką pagalbą renkant duomenis darbui. Ypatinga padėka už palaikymą - ilgametei šio skyriaus vedėjai dr. Violetai Drejerienei;

darbo bendratyrėjoms Viktorijai Šutovai ir Vitai Langienei, kurios padėjo rinkti tiriamųjų duomenis, apdoroti statistiškai, prisidėjo prie publikacijų rengimo;

Vilniaus universiteto Medicinos fakulteto Klinikinės medicinos instituto Vaikų ligų klinikos kolektyvui, daug prisidėjusiam teikiant vertingas pastabas, ruošiant galutinę disertacijos variantą ir geranoriškai remiant visame doktorantūros kelyje;

savo šeimai, kurie palaikė ir tikėjo manimi

## 12. SUMMARY

### **Pulmonary Aeration during the Early Transitional Period in Natural and Cesarean-born Term and Late Preterm Neonates as Assessed by Electrical Impedance Tomography**

**Adomas Janulionis<sup>1</sup>**

**<sup>1</sup>Clinic of Children's Diseases, Vilnius University, Vilnius, Lithuania**

#### **Abstract**

In this dissertation, we evaluate changes in lung aeration during the first 90 minutes of life in term and late preterm neonates born naturally or after a *Caesarean Section* operation (CS) by using *Electrical Impedance Tomography* (EIT). We conducted a case-control study of 103 spontaneously breathing term and *Late Preterm Neonates* (LPN). Three episodes of EIT measurements were performed during the first 1.5 hours of life. The main parameters assessed were 'silent' (non-ventilated or poorly ventilated) spaces, a relative lung tissue stretch, center of ventilation, and tidal volume distribution. We found that late prematurity and birth after a caesarean section surgery were associated with delayed or reduced lung aeration during the early neonatal period. EIT provides real-time monitoring of these differences and may therefore help to personalize respiratory support tactics for higher-risk neonates.

**Keywords:** lung aeration, early transitional period, term neonates, late preterm neonates, caesarean section surgery, electrical impedance tomography.

#### **1. Introduction**

The early period of neonatal adaptation covers the first 24–48 hours after birth, when significant changes in the respiratory system and circulation occur (1,2). The mode of delivery influences pulmonary fluid resorption and surfactant production, and may therefore lead to differences in the respiratory function in the first hours of life (3,4). Late preterm neonates (born between 34 and 36 weeks of gestation) constitute a specific group of preterm neonates, although visually they often appear 'quite mature'. In 2023, the Lithuanian neonatal data shows that neonates born between 32 and 36 weeks of gestation

have a mortality rate of 5.9 deaths per 1,000 births, almost 10 times higher than the rate for term births. This is exactly the group of neonates that our study subjects fall into. Clinical experience shows that these neonates are at an increased risk of respiratory disorders such as transient tachypnoea, respiratory distress syndrome or persistent pulmonary hypertension, they are 5 to 20 times more likely to be treated in the NICU but the mechanisms are not completely clear (5–8). Inadequate surfactant production and incomplete alveolar maturation apparently make their lungs less well supplied with air, especially in the first hours after birth (9,10). However, there are very few studies on lung function that attempt to find associations between the mode of delivery and the gestational age of neonates, especially when investigating the regional changes in pulmonary aeration, which could influence the respiratory function of neonates, leading to respiratory disturbances during the early transitional period. To date, radiography, ultrasonography and respiratory function measurements have been the predominant methods used to investigate the lung status of newborns. While these traditional methods of respiratory assessment are valuable, they cannot provide the detailed knowledge about real-time aeration. *Electrical Impedance Tomography* (EIT) is a non-invasive technique measuring changes in thoracic impedance which allows real-time monitoring of respiratory dynamics and regional airflow (11,12,13). Our EIT study is among the first to directly compare real-time, EIT-based lung aeration in both term and late preterm neonates, accounting for delivery mode. It is expected to expand current knowledge on neonatal transition, reinforce EIT role in personalizing respiratory care, and highlight previously underexplored pathways through which the gestational maturity and the mode of delivery may contribute to neonatal respiratory outcomes.

The aim of this dissertation is to assess and compare pulmonary aeration in natural and cesarean-born term and late preterm neonates during the early transitional period by using electrical impedance tomography. We hypothesised that the indicators of pulmonary aeration in neonates during the early transitional period depend on the prematurity and the mode of delivery.

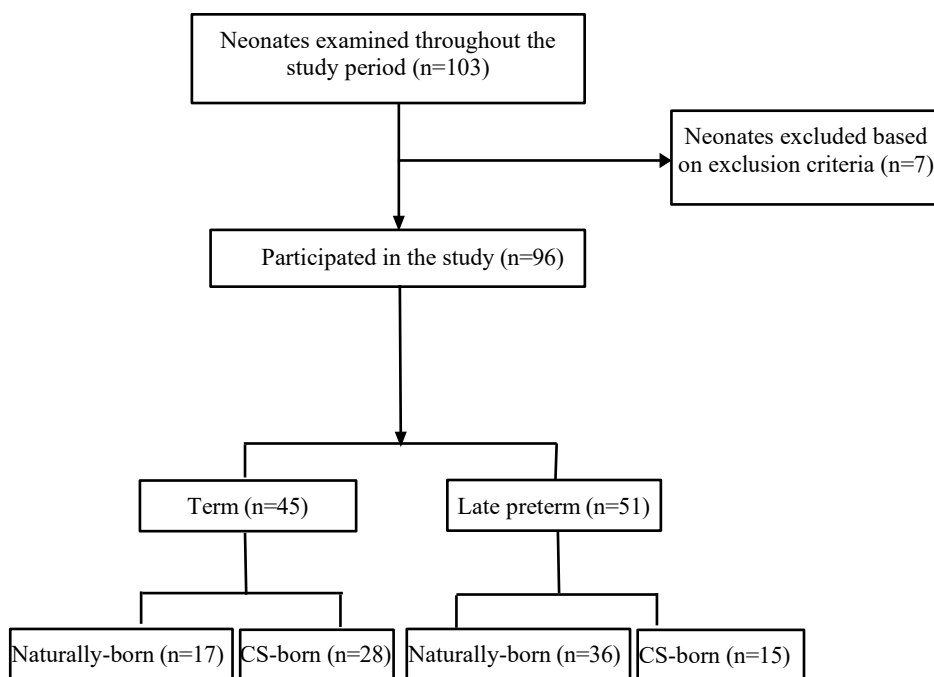
The objectives of the dissertation are:

1. To assess and compare the pulmonary aeration characteristics of term neonates born naturally and after cesarean section operation during the first 90 minutes after birth by using electrical impedance tomography.
2. To assess and compare the pulmonary aeration characteristics of naturally-born term and late preterm neonates during the first 90 minutes after birth by using electrical impedance tomography.

3. To assess and compare the pulmonary aeration characteristics of cesarean-born term and late preterm neonates during the first 90 minutes after birth by using electrical impedance tomography.
4. To compare the pulmonary aeration characteristics of term and late preterm neonates during the first 90 minutes after birth, irrespective of the mode of birth, as assessed by electrical impedance tomography.

## 2. Materials and Methods

The study was carried out at the Clinic of Children's Diseases of Vilnius University, Faculty of Medicine, between 2020 and 2022. 103 neonates were initially included, of whom 7 were excluded due to not meeting the inclusion criteria. The final sample consisted of 45 term (37–41 weeks) spontaneously breathing neonates (17 natural births, 28 births after CS) and 51 late preterm (34–36 weeks) spontaneously breathing neonates (Figure 1). Neonates with developmental abnormalities or acute respiratory failure that required immediate respiratory support, or who were resuscitated, or for whom written informed consent was not obtained or parents refused to have their newborn enrolled, were excluded from the study.



**Figure 1.** STROBE participant flow diagram

The study was approved by the regional biomedical research ethics committee. The patients were examined by using a *Swisstom BB2* EIT device with a 32-electrode belt (SensorBelt) around the neonate's chest (Figure 2). Measurements were performed in three episodes: no later than 30 min (Episode I), at ~60 min (Episode II), and at ~90 min (Episode III) after birth. Each recording lasted  $\geq 5$  min. The following EIT parameters were assessed during the study: 1) 'silent spaces' – unaerated or poorly aerated areas ( $<10\%$  impedance change); 2) relative lung tissue stretch (quartile– and quartile+), which is a concept based on the assumption that changes in impedance are caused by tissue expansion or stretch; 3) *Tidal Volume* (VT) distribution; 4) center of ventilation, i.e., the best-ventilated areas (in the gravity-dependent and non-dependent regions). *SPSS Statistics v.22* software was used to analyze the results. The Mann-Whitney statistical test was used to compare the results between the groups, and the Friedman test was employed to compare the data between the three episodes. A value of  $p < 0.05$  was considered statistically significant.

## Results

In the final sample, we enrolled 96 neonates, as 7 were excluded due to failing to meet the inclusion criteria. In the term neonates group (37–41 weeks gestation), 17 were born naturally and 28 after a *Caesarean Section Operation* (CS).

The late preterm group (34–36 gestational weeks) consisted of 51 newborns. Late preterm neonates were characterized by a lower mean birth weight ( $2756 \pm 463$  g) and gestational age ( $35.5 \pm 2.1$  weeks) compared to term neonates ( $3464 \pm 354$  g and 39.1 weeks). The Apgar scores and gender distribution showed no significant differences between the groups.



**Figure 2.** The process of EIT data recording

**A comparison of EIT parameters in the groups of term neonates born naturally and after CS.** The ‘silent’ spaces indicate unaerated or poorly aerated areas of the lungs. Statistically significant changes related to this parameter were only seen in the dependent lung regions, which are more exposed to gravity ( $p < 0.05$ ). No statistically significant differences were found in the non-dependent lung regions ( $p > 0.05$ ). Neonates in the study group (born after CS) had more ‘silent’ spaces in the dependent lung regions at 1 hour after birth than those born naturally (Table 1). The median of the ‘silent’ spaces values in the dependent lung regions was zero. It did not differ between the groups or over time. This means that 50% of neonates had no non-ventilated areas in the dependent lung regions at all. The rates for Episodes I, II and III were not statistically significantly different between the groups ( $p > 0.05$ ). A statistically significant difference in the lung tissue stretch between neonates born naturally and after CS was observed at 1 h after birth

between the lower quartile (Q-) relative stretch values ( $p < 0.05$ ). No statistically significant differences were observed immediately after birth and 1.5 h later. In the group of those born naturally, greater changes in the relative stretch were observed at the expense of the least ventilated areas (25% quartile – the lowest stretch, ‘grey’ areas). The median relative stretch during each episode differed little or not at all between the groups of neonates. However, there were no statistically significant differences between the first, second and third episodes in any of the groups ( $p > 0.05$ ).

As the next step, we compared the mean percentages of the relative tidal volume in the study and control groups. In the study group (born after CS), the relative lung tissue stretch categories of 10–20%, 20–30% and 30–40% led to higher lung volumes than in the group born naturally (i.e., smaller changes in the stretch, with the ‘grey’ areas occupying a larger proportion of the lung image in the group born after CS) ( $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$ ). These changes were statistically significant one hour after birth (Episode II). There were no statistically significant differences when comparing those born after CS and those born naturally, Episodes I and III ( $p > 0.05$ ).

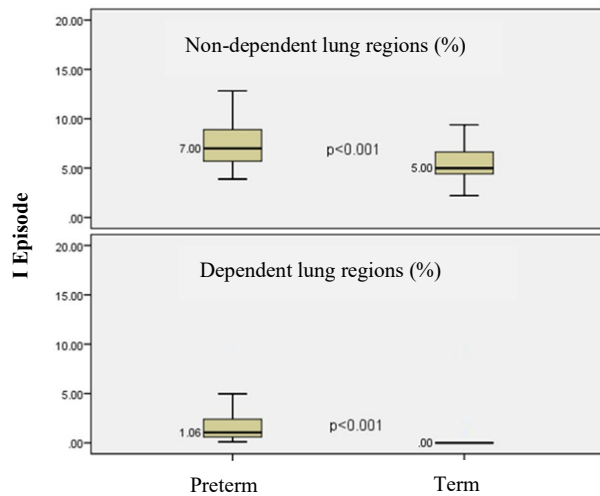
We have also compared the distribution of the ventilation center values in two projections: right-to-left and ventral-to-dorsal. The results showed no statistically significant shift of the ventilatory center either between the groups or within each group when comparing Episodes I, II and III separately ( $p > 0.05$ ). In the CS group, there were more neonates at 90 min after birth (right-to-left distribution) with a ventilatory center value within the average range. There was virtually no difference in the ventral-dorsal variation of the ventilatory center in neonates born after CS at 1 and 1.5 h after birth. Although trends related to this parameter were visible in some groups, they were not significant enough to allow for reliable conclusions. Further EIT studies, modifying the body position of the newborn and taking more factors into account, would be useful for a full interpretation of the ventilation center values.

A comparison of the distribution of the right and left lung tidal volume sum values in EIT recording Episodes I, II and III between those born naturally and after CS was also made. The distribution of the tidal volume in the left lung and the right lung was not significantly different between the study and the control groups ( $p > 0.05$ ). The first, second and third episode values were not statistically significantly different in any of the groups ( $p > 0.05$ ). There were no statistically significant differences between the left lung values of those born after CS and those born naturally ( $p > 0.05$ ). However, in the right lung at the end of the recording (Episode III) in the neonates born after CS, a greater distribution of the tidal volume towards the

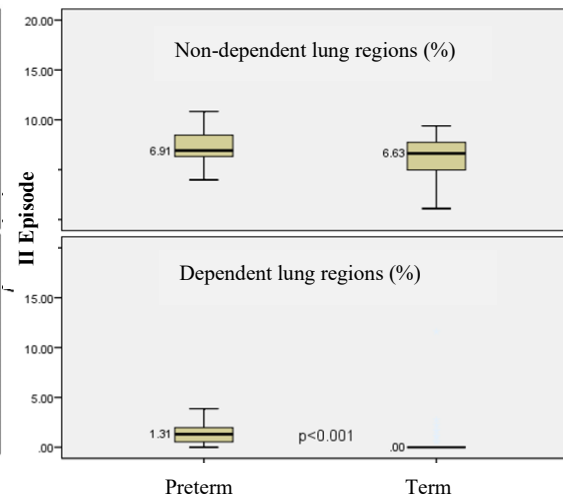
central regions was observed ( $p<0.05$ ). In neonates born naturally, a higher volume distribution towards the central ventral regions of the right lung was observed immediately after birth (Episode I) ( $p<0.05$ ). Further EIT studies, with changes in the newborn's body position and taking more factors into account, would be beneficial for a full interpretation of the tidal volume distribution parameter.

**Table 1.** ‘Silent’ spaces, Episode II. N – natural vaginal delivery , CS – caesarean section operation

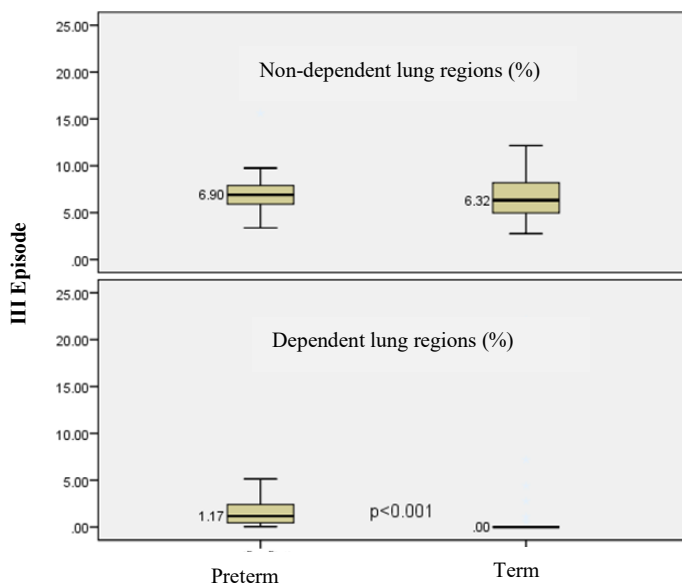
|                                | Group | N  | Q1   | Median | Q3   | Minimum value | Maximum value | Mann-Whitney averages ranks | p            |
|--------------------------------|-------|----|------|--------|------|---------------|---------------|-----------------------------|--------------|
| Non-dependent lung regions (%) | CS    | 28 | 4.97 | 6.08   | 8.01 | 1.10          | 18.23         | 23.00                       | 1.000        |
|                                | N     | 17 | 4.93 | 6.63   | 8.07 | 3.31          | 17.68         | 23.00                       |              |
| Dependent lung regions (%)     | CS    | 28 | 0.00 | 0.00   | 1.10 | 0.00          | 2.76          | 26.91                       | <b>0.032</b> |
|                                | N     | 17 | 0.00 | 0.00   | 0.00 | 0.00          | 11.60         | 20.63                       |              |



**Figure 3.** Comparison of spontaneously breathing term and late preterm neonates. 'Silent' spaces, Episode I



**Figure 4.** Comparison of spontaneously breathing term and late preterm neonates. 'Silent' spaces, Episode II



**Figure 5.** Comparison of spontaneously breathing term and late preterm neonates. ‘Silent’ spaces, Episode III

**A comparison of EIT parameters in term and late preterm neonate groups.** Statistically significant differences between late preterm and term neonates were observed in the non-dependent lung regions (anterior or less affected by gravity) in the first episode. In the group of late preterm neonates, more ‘silent’ spaces were found ( $p < 0.001$ ). Statistically significant differences between the groups were also observed in the dependent lung regions (posterior or more exposed to gravity) in all three episodes, with more ‘silent’ spaces in the late preterm group ( $p < 0.001$  in all three records) (Figures 3–5).

There were no statistically significant differences in the lower quartile (Q-) and the median (mean 50% relative stretch values) between late preterm and term neonates ( $p > 0.05$ ). A statistically significant difference in the upper quartile (Q+) values between late preterm and term neonates was found in Episode III, with higher stretch-related changes in the term group ( $p < 0.05$ ).

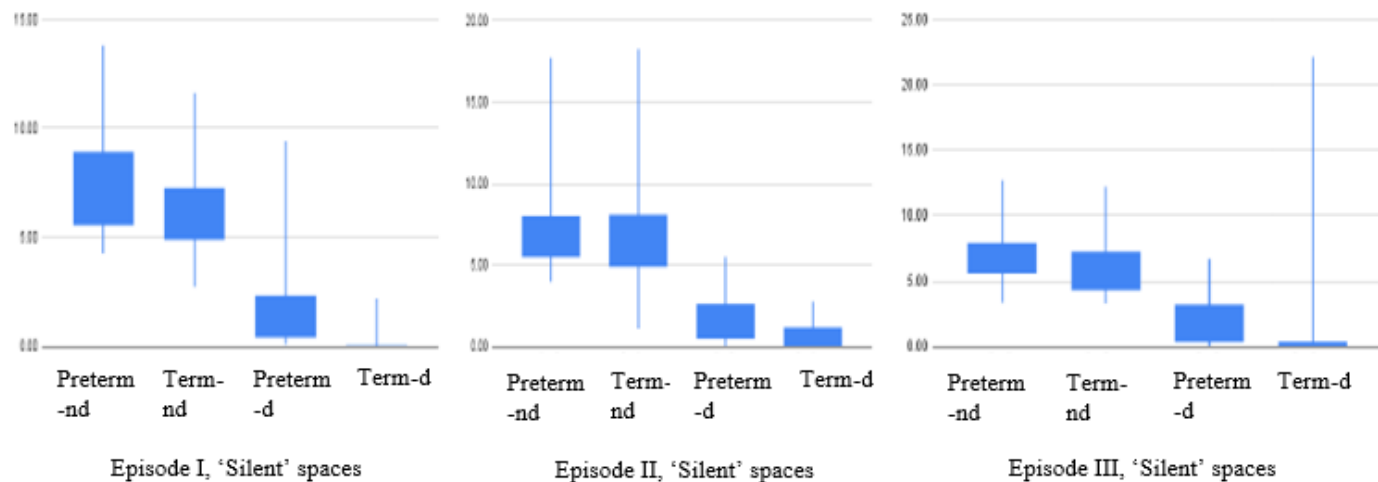
Late preterm neonates showed greater stretch-related changes than term neonates in the 10% and 20% relative stretch categories in all three episodes (i.e., smaller changes in stretch – the ‘grey’ areas – occupy a larger proportion of the lung image in the study group;  $p < 0.001$  and  $p = 0.001$  in Episode I;  $p < 0.001$  and  $p = 0.039$  in Episode II; and  $p < 0.001$  and  $p < 0.001$  in Episode III, respectively). Conversely, term neonates showed higher stretch-related changes in the 70% category, Episode I ( $p = 0.012$ ), 50% and 90% stretch categories, Episode II ( $p = 0.039$  and  $p = 0.005$ , respectively).

Statistically significant differences related to the center of ventilation were observed in all three episodes, in the ventral-dorsal projection ( $p<0.001$ ,  $p<0.001$ ,  $p<0.001$ ). Late preterm neonates had higher ventral-dorsal ventilatory center values than term neonates. There were no statistically significant right-to-left differences in the values between late preterm and term neonates ( $p>0.05$ ). Further EIT studies, modifying the body position of the newborn and taking more factors into account, would be useful for a full interpretation of the ventilation center values. The temporal distribution of tidal volumes in the left and right lungs was not significantly different between the study and the control groups ( $p>0.05$ ). However, there were significant differences in the distribution of the tidal volume of the right lung in all three recordings ( $p<0.01$ ). Compared to late preterm neonates, term neonates showed a more pronounced distribution of the right lung tidal volume into the ventral and central ventral regions (Episode I:  $p<0.001$ , Episode II:  $p<0.001$ ,  $p=0.001$ , Episode III:  $p<0.001$ ,  $p=0.001$ ). In contrast, late preterm neonates showed a more pronounced distribution of the tidal volume into the central dorsal and dorsal right lung regions compared with term neonates ( $p<0.001$  in Episodes I and II;  $p=0.006$  and  $p<0.001$  in Episode III, respectively). In all three episodes, there was a significant difference in the distribution of the left lung tidal volume into different regions between term and late preterm neonates. In general, term neonates showed a distribution of the tidal volume into the ventral regions of the left lung ( $p<0.001$  in Episodes I and II;  $p=0.001$  in Episode III), whereas late preterm neonates showed a distribution of the tidal volume into the central dorsal regions ( $p<0.001$ ). Furthermore, the central ventral and dorsal regions of the left lung were found to differ in values between the neonatal groups, but not consistently. In Episode III, the tidal volume of late preterm neonates was distributed into the central ventral areas of the left lung ( $p=0.046$ ). In Episode I, the tidal volume in this group of neonates was distributed into the dorsal regions of the left lung ( $p=0.023$ ). Further EIT studies, considering a modification of the body position of the newborn and taking more factors into account, would be useful for a full interpretation of the tidal volume distribution. **A comparison of EIT parameters in term and late preterm neonates born naturally.** Statistically significant differences between term and late preterm neonates born naturally in relation to 'silent' (unaerated or poorly aerated) spaces were only seen in Episode I, in the non-dependent lung regions ( $p<0.05$ ), in the group of preterm neonates there were more 'silent' spaces. In the gravity-dependent regions, term and late preterm neonate values were statistically significantly different in all three Episodes ( $p<0.001$ ,  $p<0.001$ ,  $p<0.001$ ), with more 'silent' spaces in the preterm group (Figure 6).

There were no statistically significant differences between the lower

quartile (Q-), the upper quartile (Q+) and the median ( $p>0.05$ ) relative stretch values of term and late preterm neonates. Episode I data showed statistically significant differences in the relative tidal volume between term and late preterm neonates in the 0.1 and 0.9 relative stretch categories ( $p<0.001$ ,  $p<0.05$ ): 0.1 stretch was higher in the late preterm group, whereas 0.9 stretch was higher in the term group. Episode II data showed a statistically significant difference in the relative tidal volume between term and late preterm neonates at 0.1, 0.4, 0.7 and 0.9 relative stretch levels. The late preterm group had higher levels of 0.1 and 0.7 stretch, while the term group had higher levels of 0.4 and 0.9 stretch. Evaluation of the Episode III data showed a statistically significant difference in the relative tidal volume between term and late preterm neonates in the 0.1 and 0.2 relative stretch categories ( $p<0.01$ ,  $p<0.01$ ), with higher levels of 0.1 and 0.2 stretch found in the group of preterm infants. The ventral-dorsal ventilation center values of term and late preterm neonates were statistically significantly different in all three episodes ( $p=0.001$ ,  $p<0.001$ ,  $p<0.01$ ), with higher values in term neonates. The right-to-left ventilation center values were not statistically significantly different between term and late preterm neonates ( $p>0.05$ ). Further EIT studies, modifying the body position of the newborn and taking more factors into account, would be useful for a full interpretation of the ventilation center values. In relation to the tidal volume distribution in both lungs, there were no statistically significant differences between term and late preterm newborns ( $p>0.05$ ). For the right lung, statistically significant differences were found in the ventral and central ventral regions in all the three Episodes ( $p<0.05$ ). In the right lung of term neonates, the distribution of the tidal volume into the ventral and the central ventral target regions was visible. Similarly, the tidal volume of the right lung of late preterm neonates was distributed into the dorsal and the central dorsal target regions with statistically significant differences in Episode I only.

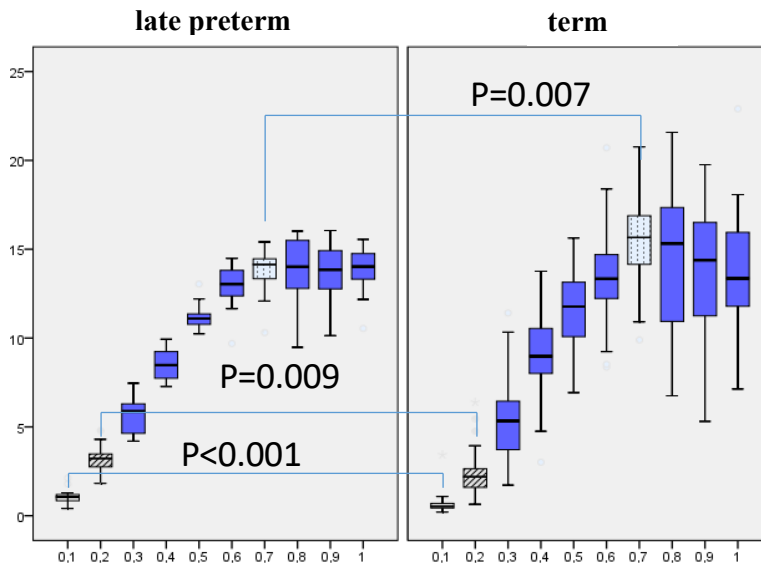
The distribution of the left lung tidal volume in term and late preterm neonates was statistically significantly different in all the three episodes ( $p<0.01$ ). In the term group, the distribution of the tidal volume was more pronounced into the ventral target region, whereas, in the preterm group, it was more pronounced into the central dorsal region. The central ventral and dorsal regions of the left lung were not statistically significantly different between term and late preterm neonates ( $p<0.05$ ). Further EIT studies, modifying the body position of the neonate and taking into account more factors, would be useful for a full interpretation of the respiratory volume distribution.



**Figure 6.** Comparison of Episode I, II and III values for the 'silent' spaces of naturally occurring IN and VNN in gravity-dependent and independent lung regions. Note: nd – non-dependent regions; d – dependent regions

**A comparison of EIT parameters in term and late preterm neonate groups born after CS.** Statistically significant differences between the term and late preterm groups in the non-dependent lung regions were only observed in Episode I ( $p<0.05$ ), with more ‘silent’ spaces in the late preterm group. Statistically significant differences between the term and late preterm groups in the gravity-dependent lung regions were noted in all the three measurements ( $p<0.001$ ,  $p<0.001$ ,  $p<0.001$ ), ‘silent’ spaces in late preterm neonates were more numerous. There were no statistically significant differences between the lower quartile (Q-), the upper quartile (Q+) and the median ( $p>0.05$ ) relative stretch values of term and late preterm neonates.

The evaluation of Episode I data showed a statistically significant difference in the relative tidal volume between term and late preterm neonates in the 0.1, 0.2 and 0.7 relative stretch categories ( $p<0.001$ ,  $p=0.009$ ,  $p=0.007$ ): levels 0.1 and 0.2 were more common in the group of late preterm neonates, while 0.7 was more prevalent in the group of term newborns (Figure 7). Episode II data showed a statistically significant difference in the relative tidal volume between term and late preterm neonates in the 0.1 relative stretch level category ( $p=0.001$ ), with a higher proportion of the 0.1 stretch level found in the late preterm group. Episode III data showed a statistically significant difference in the relative tidal volume between term and late preterm neonates in the 0.1 stretch level category ( $p<0.01$ ), with a higher proportion of the 0.1 stretch level found in the late preterm group.



**Figure 7.** Distribution of the relative tidal volume values in different relative stretch categories (term and late preterm neonates born after CS)

The ventral-dorsal ventilation center values of term and late preterm neonates were statistically significantly different in all the three Episodes ( $p<0.001$ ,  $p=0.001$ ,  $p=0.001$ ), and the values in the late preterm group were higher. The right-to-left ventilation center values were not statistically significantly different between term and late preterm neonates ( $p>0.05$ ). Further EIT studies, modifying the body position of the newborn and taking more factors into account, would be useful for a full interpretation of the ventilation center values. In relation to the tidal volume distribution in both lungs, there were no statistically significant differences between term and late preterm infants ( $p>0.05$ ). In the right lung, statistically significant differences were found in the ventral, central ventral and dorsal target regions in all the three episodes ( $p<0.05$ ). In term neonates, the right lung tidal volume was distributed into the ventral and the central ventral regions, while, in the late preterm group, it was distributed into the dorsal region. Similarly, the right lung tidal volume was statistically significantly different in the central dorsal region only, in Episodes I and II, with the distribution of the tidal volume of late preterm neonates into this region. Statistically significant differences between term and late preterm neonates in the ventral and the central dorsal regions of the left lung were present in all the three episodes ( $p<0.01$ ). In the group of term neonates, the distribution of airflow was ventral, whereas that of late preterm neonates was central dorsal. Term and late preterm neonates did not show statistically significant differences in the central ventral and dorsal regions of the left lung ( $p<0.05$ ). Further EIT studies, modifying the body position of the newborn and taking more factors into account, would be useful for a full interpretation of the tidal volume distribution.

The strength of our study is the detailed assessment of lung aeration dynamics during the early adaptation period. A comparison of late preterm and term neonates revealed significant differences in the following lung aeration parameters: the ventilation center, 'silent' and ventilated areas, and the tidal volume distribution. These differences provide valuable information for a better understanding of the impaired postnatal adaptation of preterm neonates. The results obtained may have clinical implications for optimizing the respiratory care tactics in this population. However, the study has some limitations. First of all, the neonates were studied in only one position, specifically, supine. The neonates were not placed on their stomachs or on their sides, and, for this reason, it was not possible to further explain the reasons for position-dependent differences in the EIT parameters (e.g., the distribution of ventilation to the target lung regions or the center of ventilation) between the study groups. The study is also limited by the single-center design and a relatively short follow-up interval, which does not allow us to answer

the question of long-term respiratory adaptation in preterm neonates. In addition, we analyzed a fairly homogeneous group of relatively healthy newborns. Further studies would benefit from including preterm neonates with more serious pathologies and investigating how the positional therapy or the timing of surfactant administration interacts with regional changes in lung aeration. Such data would help to develop personalized respiratory care tactics based on real-time EIT monitoring.

### **3. Discussion**

In this study, we aimed to assess the changes in lung aeration immediately after birth in healthy term neonates born naturally and after a caesarean section surgery and to compare them with the changes in lung aeration in late preterm newborns during the early postnatal period. Considering that the maturation and development of organs and systems, including the respiratory system, of late preterm neonates is incomplete, we hoped to investigate the characteristics of lung aeration in this group by comparing them with term neonates, who were thus used as a relative control group. On the other hand, in addition to the specificities related to the gestational age, i.e., the maturity of the newborn, we also sought to investigate how the mode of delivery in both groups influences lung aeration during the early postnatal period. Unfortunately, relatively little knowledge has been accumulated on the influence of both the gestational age and the mode of delivery on lung aeration in the neonate, as there was no reliable, non-invasive method to assess real-time changes in the lung. Although it is known that late preterm infants are significantly more likely to develop respiratory problems than term infants, the mechanisms underlying these differences are still not fully understood. The same is true for caesarean births, and these neonates are significantly more likely to have respiratory problems than those born naturally. It is only with the introduction of the electrical impedance tomography in neonates that it has become possible to assess changes in real-time lung aeration non-invasively and without pain or stress to the newborn.

In our study, we aimed to identify and assess four important parameters of lung aeration using EIT: ‘silent’ spaces, i.e., parts of the lung that are functionally absent from the lung gas exchange; ventilated areas, i.e., parts of the lung that are actively involved in breathing; the relative tidal volume (the parts of the lung that are best filled with air); and the distribution of lung aeration (evenness). These four important parameters of lung aeration were the basis for both the comparison between term and late preterm neonates and for the differences between neonates born naturally and those born after CS.

When comparing neonates born naturally and after CS, the most pronounced differences in lung aeration were observed 1 hour after birth rather than immediately after birth. Naturally-born neonates were found to have better aeration in gravity-dependent regions of the lung, with fewer unventilated or poorly ventilated areas than those born after CS. These results are consistent with the gravitational distribution of aeration described in the literature, whereby, in healthy neonates without artificial ventilation, gravity-dependent lung regions are better ventilated than non-dependent lung regions (14,15). However, our study highlights the additional influence of the mode of delivery on the distribution of aeration, which allows us to expand our knowledge of differences in lung aeration between the groups of neonates. A higher distribution of aeration to non-dependent lung regions was usually found in intensive care unit patients and was associated with worse respiratory function. However, Schinckel and co-authors concluded that the role of gravity in stable spontaneously breathing neonates is limited, and that the distribution of aeration is more likely to be determined by the anatomical characteristics of the neonate in the prone position (16). More ‘silent’ spaces in neonates born after CS are likely present due to the lung fluid which has not drained from these areas, or because of alveolar collapse due to surfactant deficiency. Blank and co-authors, by using lung ultrasonography in identical groups of neonates, found that complete clearance of lung fluid after birth can take up to several hours, and that apparent differences between the groups of neonates are still evident after 1.5 h (17). In our study, we observed statistically significant differences in the ventilatory performance in the first hour of life for several EIT parameters, whereas later, during the third episode, differences persisted only between ventilated areas. In neonates born after elective CS, in the second episode, the highest relative percentages of the tidal volume in both lungs were observed in the lower ventilated areas (10–20%, 20–30% and 30–40%), which are labelled as ‘grey’ areas on EIT images. These areas correspond to the areas of reduced aeration, where aeration is better than in the ‘silent’ spaces, but still limited, with changes in impedance below 10%. As the expansion of the lung tissue is dependent on the tidal volume, the expansion is most pronounced in the better-ventilated areas. Finally, changes in the distribution and evenness of aeration, which vary over time, have been found only in neonates born naturally. This means that, immediately after birth, the central ventral lung regions received most of the air, but, by the end of the recording, aeration became more uniform.

In previous publications, birth after CS has been associated with a higher incidence of *Respiratory Distress Syndrome* (RDS), *Transient Neonatal Tachypnoea* (TTN) and *Persistent Pulmonary Hypertension in*

*Newborns* (PNPH) (18). Maternal production of catecholamines during natural birth is thought to lead to the regulation of surfactant production and transepithelial sodium ion transport, which leads to fluid resorption from the alveoli into the lung tissue. During the transition period, the increase in pulmonary perfusion must be matched by an increase in aeration; otherwise, the normal adaptation of the newborn is impaired. In the neonate born after CS, pulmonary fluid clearance is slower, and the residual lung fluid volume is higher, so that the optimal gas exchange is achieved over a longer period of time. In addition, less surfactant is produced at the alveolar surface. CS before the onset of spontaneous labor results in a significantly less mature neonatal lung than CS after the onset of labor (19). Changes in the respiratory system after CS during the early adaptation period have previously been described in animal studies using contrast-enhanced lung radiography, but the invasiveness and the harmful effects of radiation have limited the use of this test in the clinical practice (20). In a 2018-dated study, neonates born in different ways were compared by lung ultrasonography, but significant differences were detected only at baseline and disappeared 2 h after birth. All neonates, irrespective of the mode of birth, achieved lung airway clearance and partial fluid clearance within 20 min, and complete fluid clearance within a few hours after birth (17).

Imaging techniques more accurately reflect the processes occurring in the lungs of the newborn during the early adaptation period. Blank and co-authors performed lung ultrasonography to monitor changes in lung aeration in healthy neonates and found that partial resorption of the lung fluid occurred within the first 20 min after birth, while the full lung functional residual capacity was established within 4 h. A validated scoring system was used to compare groups of neonates born in different ways: the higher is the calculated score, the better are the pulmonary aeration and fluid clearance. Neonates born after elective CS had lower lung aeration than neonates born naturally and neonates born after emergency CS at 1 to 10 min and 11 to 20 min after birth. In the study by Blank and co-authors, at 1 h after birth, lung aeration was nonsignificantly lower in neonates born after elective CS compared with other groups. In contrast, in the EIT study, we reported the largest difference between the study and control groups at 1 h after birth. Lung ultrasonography showed no difference between those born naturally and those born after CS. Statistically significantly better aeration on ultrasonography was observed in neonates born after emergency CS compared with the elective CS group (up to 1 h after birth) (21). In term pregnancies, such operations are usually performed because of intrauterine hypoxia or a failure of natural delivery, often after the onset of labor and pulmonary fluid expulsion. It is therefore

less risky for respiratory adaptation than elective CS performed before the onset of spontaneous labor, with incomplete lung maturation and surfactant deficiency. Future studies comparing these groups of CS separately would be useful.

In the present study, we focused on the group of late preterm neonates (34–36 weeks of gestation) who, although visually and clinically closer to term neonates than to preterm neonates, often experience respiratory difficulties due to an insufficient lung maturity. Underdeveloped lungs can increase the incidence of complications such as *Transient Tachypnoea of the Newborn* (TTN) and *Respiratory Distress Syndrome* (RDS). By comparing the lung aeration rates between late preterm and term neonates, we aimed to identify intrinsic differences which could be useful in the clinical practice to improve the respiratory outcomes. In late preterm neonates, the lungs are still maturing, with alveolar development and surfactant production, and the alveolar structure of the late preterm neonates is often less mature, the amount of the surfactant is lower, and the respiratory control is not yet fully established. As a result, this group remains more susceptible to respiratory disturbances. Based on initial assumptions, late preterm neonates were expected to have more pronounced abnormalities in the EIT parameters compared to term neonates, such as a higher number of ‘silent’ spaces and an altered tidal volume distribution. Understanding these features is important from several points of view. Firstly, it allows for an early identification of late preterm neonates at risk of severe respiratory complications and timely targeted interventions. They also provide detailed information on the specific respiratory support needs of late preterm neonates, which may be very different from those of term neonates. These insights lead to timely decisions on when to use respiratory support or additional surfactant administration in order to improve lung aeration and reduce the risk of long-term respiratory disease. Our study showed that late preterm neonates had lower lung aeration compared to term neonates. This means that LPNs are at a higher risk of inadequate lung aeration during the adaptation period, which can lead to respiratory complications later on. A number of factors can cause ventilatory failure, such as impaired maturation of lung structures, lung pathology, a low lung volume or compliance, an irregular respiratory rate, lung consolidation, an immature alveolar architecture, minimal expression of surfactant protein B, or infection. Premature transition to the extrauterine environment may be the cause of *Respiratory Distress Syndrome* (RDS), *Transient Neonatal Tachypnoea* (TTN) and other respiratory diseases (22). Kalyoncu and co-authors found that late preterm neonates face a higher risk of respiratory distress compared with term neonates. The most commonly observed

conditions were transient neonatal tachypnoea, *Respiratory Distress Syndrome* (RDS) and pneumonia (23). A study by Atasay and co-authors showed that 30% of the included late preterm neonates experienced respiratory distress (24). Functional challenges faced by LPNs include difficulties in maintaining functional residual lung capacity, an increased airway resistance, and risk of an airway collapse. In addition, the transition from fluid-filled lungs to breathing in ambient air is an important process, but, in the case of preterm birth, it may be delayed due to the underdevelopment of epithelial sodium channels, especially in the absence of a spontaneous onset of labor (25). Environmental factors such as maternal smoking, air pollution and stress during pregnancy may exacerbate respiratory problems in this group of neonates (26). Studies have shown that respiratory support techniques are necessary to reduce the risk of RDS and other complications associated with lung immaturity in late preterm infants. As dependent lung regions are usually posterior, depending on the position of the newborn, they may be more exposed to gravity and have poorer aeration compared to the non-dependent lung regions. The higher number of 'silent' spaces in the dependent lung regions of the LPN suggests that they may be affected by impaired aeration and/or overdistention, which can lead to a mismatch between aeration and blood flow and impair the respiratory function. This highlights the importance of close monitoring so that to ensure the adequate lung aeration, the optimal lung perfusion, and predictable respiratory outcomes during the early adaptation period. Decreased lung aeration, especially in dependent regions, is consistent with the need for specific volume and pressure strategies during resuscitation, as observed in the study by van Vonderen and co-authors. It provides a broad description of the neonatal transition (27). Although optimization of neonatal positioning may improve the respiratory function as assessed by respiratory induction plethysmography, according to Gouna and co-authors, EIT could potentially be a sensitive method to identify the main challenges of lung adaptation in the LPNs as early as at 30 min after birth. This coincidence of results implies that both the positional therapy and the EIT monitoring can be integrated into the clinical management of late preterm neonates so that to potentially improve respiratory outcomes (28).

A comparison of the results between the study and the control groups revealed differences in the distribution of the relative stretch and the regional aeration patterns. The higher distribution of aeration in the ventral (anterior) regions of the lungs in the late preterm neonate group may reflect differences in the lung maturity and respiratory mechanics. Although the distribution of lung volumes in each lung remained fairly constant over time, significant differences were observed between the groups, particularly in the right lung.

Healthcare professionals should take these differences into account when providing care to term and late preterm infants in order to prevent atelectasis or lung damage. The relative stretch (ventilated areas), which reflects the flexibility and expandability of the lung tissue, is an important indicator for assessing the lung maturity and function. The study showed that the overall level of the relative stretch (lower quartiles and medians) was similar in both groups, but significant differences were observed in the upper quartiles (Q+) during the third episode. In the term group, the higher value of the ventilated areas in the upper quartile observed during the third episode suggests that their lung tissue is more flexible and better able to adapt to the increased respiratory demands. In contrast, the LPN group showed a higher incidence of areas with less tissue expansion, thereby indicating a lower level of lung maturity and elasticity. These areas require special care to ensure the optimal lung function and gas exchange. Term newborns have better lung tissue expansion at higher percentages of the relative stretch, which allows for a more efficient adaptation to the respiratory demands after birth. However, over-expansion of certain areas of the lung and the subsequent collapse of the lung tissue may be a risk, and consistent and balanced control of lung aeration is needed. Importantly, the EIT technology may in the future allow assessment of regional lung perfusion in addition to aeration. When the airway compliance is inadequate (e.g., when more ‘silent’ or very low stretch areas are found), the normal blood flow to the alveoli may also be impaired, especially if the alveolar collapse leads to a mismatch between the blood flow and aeration. This condition increases the risk of hypoxaemic impairment or even persistent pulmonary hypertension of the newborn (PNPH) (8). Therefore, a comprehensive assessment of aeration and perfusion in real time by EIT may be useful to identify a potential regional ventilatory failure more quickly.

Studies highlight that late preterm infants, often referred to as ‘near-term’, are more vulnerable due to their immature respiratory system and a higher risk of respiratory disease compared to term infants. The results of a study by Blank and co-authors comparing the dynamics of lung aeration in late preterm and term infants during the early adaptation period are consistent with our findings and reveal significant differences in the lung air-filling rate and volume. By using lung ultrasound, the investigators found that, during the first 24 hours after birth, lung filling was delayed and slower in late preterm newborns compared with term newborns (29). Our study also demonstrates that late preterm neonates have a lower lung aeration rate compared with term neonates, suggesting a possible link between delayed lung aeration and respiratory complications. Late preterm neonates may be more vulnerable to respiratory adaptation because they have not had the opportunity to develop

the respiratory skills needed during the crucial transition period. EIT provides a continuous picture of regional lung aeration and provides insight into the dynamic changes in neonatal aeration that occur during the transition period. Compared to the study by McEvoy and co-authors, which focused on the assessment of the respiratory function in late preterm infants while using the traditional spirometry techniques, the EIT results provide additional information. The study by McEvoy and co-authors highlights the reduced ratio of the time to peak expiratory flow to the total expiratory time (i.e., TPTEF:TE), the increased respiratory resistance, and the variations in the tidal volume, which are indicative of possible limitations in the expiratory airflow. The differences in lung aeration and mechanical properties observed in the present study may help to explain the findings reported by McEvoy and co-authors regarding respiratory problems in LPNs (30).

The integration of *Electrical Impedance Tomography* (EIT) into neonatal care requires agreement on its role in paediatric and neonatal units. Future research and device development should focus on the development of practical and functional EIT systems adapted to different clinical settings. Collaboration between clinicians and medical equipment manufacturers is essential to make the right decisions. These systems need to be tailored to the different neonatal populations, with the appropriate electrode interfaces and information displays (31). It is likely that EIT will initially be adapted as a monitoring tool, in particular for the early detection of adverse events in the setting of a non-invasive ventilatory support (e.g., inadequate PEEP levels). This pathway allows to assess the potential of EIT to improve the performance of risky procedures, such as intubation, and to reduce the reliance on methods such as chest radiography. Such experience will pave the way for the development of EIT systems that can guide clinical practice under more challenging conditions, such as pressure selection during artificial ventilation. Finally, the aim is to demonstrate that EIT can improve the clinical outcomes, so that it can move from being a research focus to a routine part of paediatric and neonatal care.

#### **4. Conclusions**

1. Lung aeration is superior in naturally born term infants compared to those born after a caesarean section. Neonates born after a caesarean section are characterized by larger areas of unventilated or less ventilated lungs, especially in the gravity-dependent regions, and poorer overall lung aeration.

2. Lungs of naturally born late preterm neonates, compared with term neonates, have more unventilated or poorly ventilated lungs 90 min after birth in both gravity-dependent and non-gravity-dependent regions, and the increase in aeration (lung expansion) occurs primarily in the central parts of the lungs rather than in the peripheral parts.
3. Late preterm neonates born after a caesarean section have poorer lung aeration in the gravity-dependent regions compared with term neonates born after a caesarean section, and the distribution of the tidal volume is uneven due to poorer aeration in the peripheral parts of the lung.
4. Late preterm neonates have poorer lung aeration than term neonates regardless of their mode of birth. Although the mode of birth influences lung aeration throughout the first 90 min after birth, it is not the mode of birth but rather the premature birth of the neonate that is most responsible for the differences in the early respiratory adaptation between late preterm and term neonates.

## **5. Practical recommendations**

1. Electrical impedance tomography is a simple, non-invasive, mobile technique, harmless to the patient and medical staff, allowing dynamic assessment of local changes in pulmonary aeration in real time in both term and preterm neonates, and should therefore be used in routine clinical practice.
2. Changes in pulmonary aeration during the early transitional period as assessed by electrical impedance tomography, can provide a better understanding of adaptation of the respiratory function in late preterm neonates and predict possible respiratory disturbances and the need for respiratory therapy during the adaptation period.
3. Cesarean section surgery impairs respiratory function during the early adaptation period in both term and preterm neonates, and therefore, natural birth should be preferred if possible.

## **Sources**

1. Lista G, Maturana A, Moya FR. Achieving and maintaining lung volume in the preterm infant: from the first breath to the NICU. *Eur J Pediatr.* 2017;176(10):1287-1293. doi:10.1007/s00431-017-2984-y
2. Takenaka K, Waffarn F, Dabestani A, Gardin JM, Henry WL. A pulsed Doppler echocardiographic study of the postnatal changes in pulmonary artery and ascending aortic flow in normal term newborn infants. *Am*

- Heart J.* 1987;113(3):759-766. [doi:10.1016/0002-8703\(87\)90717-4](https://doi.org/10.1016/0002-8703(87)90717-4)
3. Tribe RM, Taylor PD, Kelly NM, Rees D, Sandall J, Kennedy HP. Parturition and the perinatal period: can mode of delivery impact on the future health of the neonate?. *J Physiol.* 2018;596(23):5709-5722. [doi:10.1113/JP275429](https://doi.org/10.1113/JP275429)
  4. Babooa N, Shi WJ, Chen C. Factors relating caesarean section to persistent pulmonary hypertension of the newborn. *World J Pediatr.* 2017;13(6):517-527. [doi:10.1007/s12519-017-0056-z](https://doi.org/10.1007/s12519-017-0056-z)
  5. Manocha J Dr, Mahajan K Dr, Kumar A Dr. Comparative study of early neonatal morbidities of late preterm and term neonates. *ijsr.* Published online March 1, 2021:23-25. [doi:10.36106/8532772](https://doi.org/10.36106/8532772)
  6. Machado LC Júnior, Passini Júnior R, Rodrigues Machado Rosa I. Late prematurity: a systematic review. *Jornal de Pediatria.* 2014;90(3):221-231. [doi:10.1016/j.jped.2013.08.012](https://doi.org/10.1016/j.jped.2013.08.012)
  7. D. Snyers, C. Lefèbvre, R. Viellevoeye, V. Rigo. [Late preterm : high-risk newborns despite appearances]. *Revue Medicale de Liege.* Published online 2020.
  8. Kumar C. Late Preterm and Early Term Neonates: A New Group of High Risk Newborns in Neonatology with Varied Complications. *J Neonatal Biol.* 2014;03(05). [doi:10.4172/2167-0897.1000e112](https://doi.org/10.4172/2167-0897.1000e112)
  9. Schittny JC. Development of the lung. *Cell Tissue Res.* 2017;367(3):427-444. [doi:10.1007/s00441-016-2545-0](https://doi.org/10.1007/s00441-016-2545-0)
  10. Woods JC, Schittny J. Lung structure at preterm and term birth. *Cambridge University Press.* Published online 2016. [doi:10.7892/BORIS.83430](https://doi.org/10.7892/BORIS.83430)
  11. Sophocleous L, Frerichs I, Miedema M, et al. Clinical performance of a novel textile interface for neonatal chest electrical impedance tomography. *Physiol Meas.* 2018;39(4):044004. Published 2018 Apr 26. [doi:10.1088/1361-6579/aab513](https://doi.org/10.1088/1361-6579/aab513)
  12. Frerichs I, Amato M, van Kaam AV, Tingay D, et al. Chest electrical impedance tomography examination, data analysis, terminology, clinical use and recommendations. *Thorax.* 2016;72:83-93. [doi:10.1136/thoraxjnl-2016-208357](https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2016-208357)
  13. Masner A, Blasina F, Simini F. Electrical impedance tomography for neonatal ventilation assessment: a narrative review. *J Phys Conf Ser.* 2019;1272. [doi:10.1088/1742-6596/1272/1/012008](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1272/1/012008)
  14. Frerichs I, Schiffmann H, Oehler R, et al. Distribution of lung ventilation in spontaneously breathing neonates lying in different body positions. *Intensive Care Med.* 2003;29(5):787-794. [doi:10.1007/s00134-003-1726-y](https://doi.org/10.1007/s00134-003-1726-y)

15. Lobo B, Hermosa C, Abella A, Gordo F. Electrical impedance tomography. *Ann Transl Med.* 2018;6(2):26. doi:[10.21037/atm.2017.12.06](https://doi.org/10.21037/atm.2017.12.06)
16. Schinckel NF, Hickey L, Perkins EJ, et al. Skin-to-skin care alters regional ventilation in stable neonates. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 2021;106(1):76-80. doi:[10.1136/archdischild-2020-319136](https://doi.org/10.1136/archdischild-2020-319136)
17. Blank DA, Kamlin COF, Rogerson SR, et al. Lung ultrasound immediately after birth to describe normal neonatal transition: an observational study. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 2018;103(2):F157-F162. doi:[10.1136/archdischild-2017-312818](https://doi.org/10.1136/archdischild-2017-312818)
18. Hansen AK, Wisborg K, Uldbjerg N, Henriksen TB. Elective caesarean section and respiratory morbidity in the term and near-term neonate. *Acta Obstet Gynecol Scand.* 2007;86(4):389-394. doi:[10.1080/00016340601159256](https://doi.org/10.1080/00016340601159256)
19. Ramachandrapa A, Jain L. Elective cesarean section: its impact on neonatal respiratory outcome. *Clin Perinatol.* 2008;35(2):373-vii. doi:[10.1016/j.clp.2008.03.006](https://doi.org/10.1016/j.clp.2008.03.006)
20. Hooper SB, Kitchen MJ, Siew ML, et al. Imaging lung aeration and lung liquid clearance at birth using phase contrast X-ray imaging. *Clin Exp Pharmacol Physiol.* 2009;36(1):117-125. doi:[10.1111/j.1440-1681.2008.05109.x](https://doi.org/10.1111/j.1440-1681.2008.05109.x)
21. Blank DA, Gaertner VD, Kamlin COF, et al. Respiratory changes in term infants immediately after birth. *Resuscitation.* 2018;130:105-110. doi:[10.1016/j.resuscitation.2018.07.008](https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.07.008)
22. Anadkat JS, Kuzniewicz MW, Chaudhari BP, Cole FS, Hamvas A. Increased risk for respiratory distress among white, male, late preterm and term infants. *J Perinatol.* 2012;32(10):780-785. doi:[10.1038/jp.2011.191](https://doi.org/10.1038/jp.2011.191)
23. Kalyoncu O, Aygün C, Cetinoğlu E, Küçüköyük S. Neonatal morbidity and mortality of late-preterm babies. *J Matern Fetal Neonatal Med.* 2010;23(7):607-612. doi:[10.1080/14767050903229622](https://doi.org/10.1080/14767050903229622)
24. Atasay B, Okulu E, Akın İM, Çandır O, Arsan S, Türmen T *Türkiye Çocuk Hast Derg.* 2010;4(1):30-35
25. Mercadante D, Colnaghi M, Polimeni V, et al. Sustained lung inflation in late preterm infants: a randomized controlled trial. *J Perinatol.* 2016;36(6):443-447. doi:[10.1038/jp.2015.222](https://doi.org/10.1038/jp.2015.222)
26. Mitha A, Chen R, Altman M, Johansson S, Stephansson O, Bolk J. Neonatal Morbidities in Infants Born Late Preterm at 35-36 Weeks of Gestation: A Swedish Nationwide Population- based Study. *J Pediatr.* 2021;233:43-50.e5. doi:[10.1016/j.jpeds.2021.02.066](https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2021.02.066)
27. van Vonderen JJ, Roest AA, Siew ML, Walther FJ, Hooper SB, te Pas AB. Measuring physiological changes during the transition to life after

- birth. *Neonatology*. 2014;105(3):230-242. doi:[10.1159/000356704](https://doi.org/10.1159/000356704)
28. Gouna G, Rakza T, Kuissi E, Pennaforte T, Mur S, Storme L. Positioning effects on lung function and breathing pattern in preterm newborns. *J Pediatr*. 2013;162(6):1133-1137.e1. doi:[10.1016/j.jpeds.2012.11.036](https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2012.11.036)
  29. Blank DA, Rogerson SR, Kamlin COF, et al. Lung ultrasound during the initiation of breathing in healthy term and late preterm infants immediately after birth, a prospective, observational study. *Resuscitation*. 2017;114:59-65. doi:[10.1016/j.resuscitation.2017.02.017](https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.02.017)
  30. McEvoy C, Venigalla S, Schilling D, Clay N, Spitale P, Nguyen T. Respiratory function in healthy late preterm infants delivered at 33-36 weeks of gestation. *J Pediatr*. 2013;162(3):464-469. doi:[10.1016/j.jpeds.2012.09.042](https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2012.09.042)
  31. Zhao, Z., Möller, K., Steinmann, D., Frerichs, I., & Guttman, J. (2009). Evaluation of an electrical impedance tomography-based global inhomogeneity index for pulmonary ventilation distribution. *Intensive Care Medicine*, 35, 1900-1906. doi:[10.1007/s00134-009-1589-y](https://doi.org/10.1007/s00134-009-1589-y).

Vilniaus universiteto leidykla  
Saulėtekio al. 9, III rūmai, LT-10222 Vilnius  
El. p. [info@leidykla.vu.lt](mailto:info@leidykla.vu.lt), [www.leidykla.vu.lt](http://www.leidykla.vu.lt)  
[bookshop.vu.lt](http://bookshop.vu.lt), [journals.vu.lt](http://journals.vu.lt)  
Tiražas 24 egz.