



Latvijas Neonatologu biedrība

Vadlīnijas izstrādātas 2024.gadā

Elpošanas sistēmas attīstība un fizioloģija

Plaušu attīstība

Stadijas	Attīstība	Iespējamā patoloģija
Embrionālā (4-7 nedēļas)	Sākotnējā plaušu veidošanās no priekšējās zarnas	- plaušu vai plaušu daivas atrēzija - Traheoezofageāla fistula - Trahejas stenoze/atrēzija - Plaušu cistas
Pseudoglandulārā (8 -16 nedēļas)	Izveidojas galvenās plaušu struktūras, izņemot tās, kas piedalās gāzu apmaiņā. Tādēļ šajā stadijā dzimis auglis nav dzīvotspējīgs. Bronhu koks aug, zarojas līdz izveidojas terminālās bronhiolas.	- Diafragmas trūce - Plaušu cistiska malformācija - Traheomalācija - Bronhomalācija
Kanalikulārā (17 līdz 26 nedēļas)	Bronhu lūmena paplašināšana, plaušu audu vaskulizācija un saistaudu samazināšanās. Stadijas beigu posmā terminālo bronhiolu galos diferencējas respiratorās bronhiolas ar vaskularizētām alveolām. Šajā stadijā piedzimušu augli iespējams elpināt ar mākslīgās plaušu ventilācijas palīdzību. Diferencējas I tipa alveolocīti, sāk parādīties II tipa alveolocīti, kuri uzsāk surfaktanta sintēzi - sākas 24.gestācijas nedēļā. Surfaktanta nozīme ir mazināt virsmas spraigumu un nepieļaut plaušu kolapsu.	- Plaušu hipoplāzija - Plaušu sekvestrācija - Surfaktanta deficīts

Sakulārā (no 26 nedēļām)	Izveidojas bronhiolas ar alveolārajiem maisiem. Plaušas palielinās apjomā un aizpilda visu pleiras dobumu. No 32.gestācijas nedēļas surfaktanta sintēze ir pietiekoša, lai uzturētu elpošanas funkciju.	
Alveolārā (no 36 nedēļām līdz 8 gadu vecumam)	Dzimšanas brīdī alveolu ir maz (ap 5% no pieaugušā plaušu alveolu skaita). Pieaug respiratoru bronhiolu skaits. Piedzimstot alveolārais šķidrums apmainās ar gaisu. Pēc dzimšanas ir 20-70 miljoni alveolu. 8 gadu vecumā ir 300-400 miljoni alveolu	

Elpošana nodrošina plaušu ventilāciju, gāzu apmaiņu plaušās, gāzu transportu ar asinīm, gāzu apmaiņu audos, palīdz uzturēt skābju un sārmu līdzsvaru organismā.

Auglim 24.-28.gestācijas nedēļā elpošanas kustības aizņem 10-20% no diennakts laika. Savukārt pēc 30.gestācijas nedēļas – 30-40%. Augļa elpošanas kustības nosaka diafragmas krampjveida saraušanās. Ap 30.gestācijas nedēļu neelpošanas laiks ilgst apmēram 2 stundas. Augļa elpošanas kustības reaģē uz hormonālu aktivitāti (virsnieru hormoniem). Hipoksijas gadījumā augļa elpošana kļūst intensīvāka, bet akūtos gadījumos terminālajā periodā nav nosakāma (piemēram, pilna nabas artēriju oklūzija).

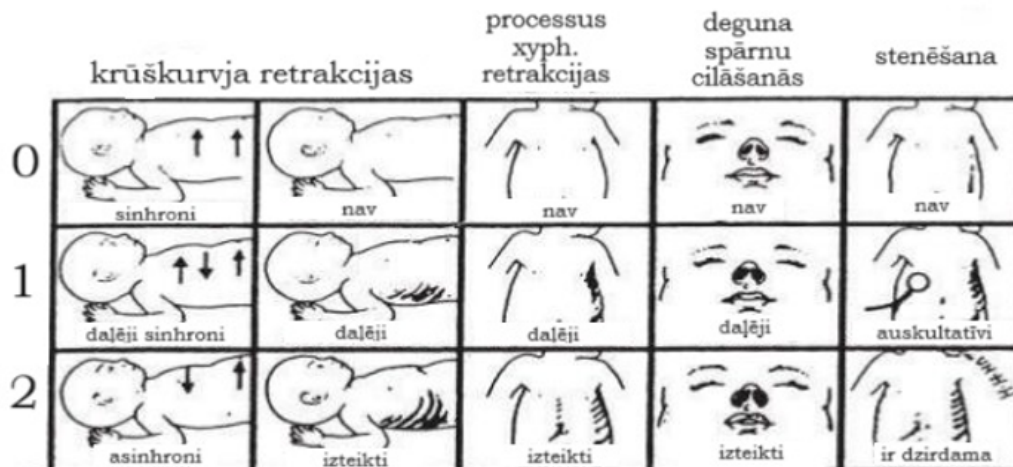
Plaušu adaptācija ekstrauterīnai dzīvei ir atkarīga no koordinētiem vairākiem vienlaicīgiem procesiem – plaušu šķidruma klīrenss, surfaktanta sekrēcija un noturīga elpošanas aktivitāte. Intrauterīnās dzīves laikā plaušas ir pildītas ar plaušu šķidrumu, ko sekretē plaušu epitēlijs. Tas ir svarīgs nosacījums normālai plaušu augšanai. Lai jaundzimušais uzsāktu kvalitatīvi elpot, ir svarīgs savlaicīgs plaušu šķidruma klīrenss, kas notiek pateicoties osmotiskam gradientam caur alveolocītiem uz interstīciju. Šo procesu nosaka hormoni, kas ir saistīti ar dzemdību darbību, kā arī nātrija jonu kanālu ekspressija.

Piedzimšanas brīdī, kad gaiss sāk virzīties pa augšējiem elpceļiem, tam ir jāpārvar liela pretestība, kuru veido plaušu šķidrums, blīvas alveolas un biezas asinsvadu sienīņas. Šo procesu būtiski atvieglo mehāniska krūškurvja kompresija, ejot cauri dabīgiem dzemdību ceļiem, pieaugošais diafragmas spiediens un plaušu šķidruma klīrenss uz interstīciju.

Pēc nabassaites klemmēšanas tiek pārtraukta prostaglandīnu cirkulācija no placentas, kas intrauterīni nomāca elpošanas kustības. Kā arī taktīlā un aukstuma stimulācija, hiperkapnija un hipoksēmija, rezultējas ar strauju elpošanas aktivitātes pieaugumu.

Elpošanas nepietiekamība (EN)

EN **priekšlaikus dzimušiem bērniem** novērtē pēc **Silverman skalas**. EN klīniskās izpausmes ir palielināts elpošanas darbs (tahipnoe, palīgmuskulatūras iesaiste, stenēšana, neregulāra vai virspusēja elpošana, elpošanas aiztures).



Silverman skala (adaptēta no *Silverman WA, Andersen DH, Pediatrics 17 (1956), 1-10*) interpretācija:

- 0-3 - viegls RD
- 4-6 - vidēji smags RD
- >6 - draudoša EN
- 10 - smaga RD

EN biežākie iemesli priekšlaikus dzimušajiem bērniem:

- surfaktanta deficīts
- iedzimtas elpošanas sistēmas malformācijas
- infekcija

EN laikā dzimušajiem bērniem novērtē pēc **Downes skalas**. EN klīniskās izpausmes ir palielināts elpošanas darbs, stenēšana, neregulārs elpošanas ritms.

Downes skala	0	1	2
EF	<60	60-80	>80
Retrakcijas	Nav	Daļēji	Izteikti
Cianoze	Nav	Ir efekts no O ₂	Nav efekta no O ₂
Gaisa plūsma	Netraucēta	Samazināta	Izteikti samazināta
Stenēšana	Nav	Auskultatīvi	Dzirdama

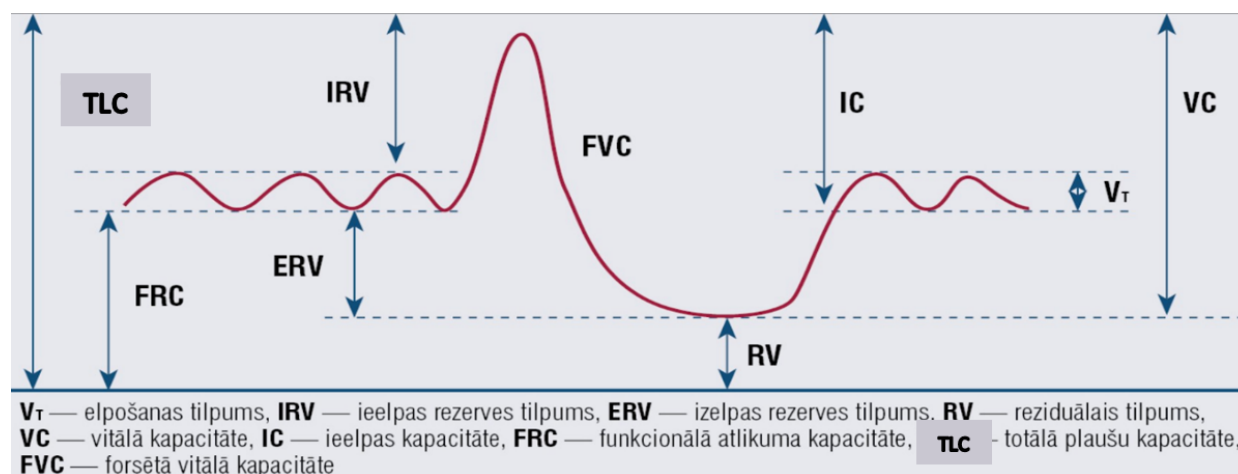
Downes skalas interpretācija:

- 0-3 - viegls RD
- 4-7 - vidēji smags RD
- 8-10 - smags RD

EN biežākie iemesli laikā dzimušiem bērniem ir:

- asfiksija
- infekcija
- adaptācijas traucējumi
- iedzimtas elpošanas sistēmas malformācijas
- surfaktanta deficīts.

Ventilāciju raksturojošie lielumi



Jēdzieni

Elpošanas tilpums - V_t (Tidal volume) – ventilācijas tilpums, kas tiek ieelpots vai izelpots vienā elpošanas ciklā miera apstākļos.

Ieelpas rezerves tilpums - IRV (Inspiratory reserve volume) – maksimālais tilpums, ko vēl var ieelpot papildus V_t.

Izelpas rezerves tilpums - ERV (Expiratory reserve volume) – maksimālais tilpums, ko vēl var izelpot papildus V_t.

Atlieku tilpums - RV (Residual volume) – gaisa tilpums, kas paliek plaušās un elpceļos pēc pilnas izelpas.

Vitālā kapacitāte - VC (Vital capacity) – gāzes tilpums, ko var maksimāli izelpot no pilnas ieelpas stāvokļa.

Funkcionālā reziduālā kapacitāte - FRC (functional residual capacity) - vidējais gāzes tilpums, kas, mierīgi elpojot, paliek plaušās un elpceļos izelpas beigās un veido pusi no kopējās plaušu kapacitātes (TLC). Lielākā daļa no FRC (80-90%) izveidojas 1. dzīves stundas laikā.

Totālā plaušu kapacitāte - TLC (Total lung capacity) – gāzu tilpums plaušās un elpceļos pēc pilnas ieelpas.

Mirusī telpa - V_d - pilnīgā (fizioloģiskā) mirusī telpa sastāv no anatomiskās (elpceļi) un alveolārās (neperfundētas alveolas) mirušās telpas.

Alveolārais tilpums - V_a - gāzu tilpums, kas tiek apmainīts plaušās.

Minūtes elpošanas tilpums - MV - kopējais gaisa daudzums, kas iet caur plaušām 1 minūtes laikā. $MV = V_t \times EF$ (elpošanas frekvence).

Plaušu gāzu tilpums - TGV (Thoracic gas volume) - kopējais gāzu apjoms plaušās izelpas beigās.

Plaušu tilpumi laikā dzimušam jaundzimušajam:

Vt	5-8 ml/kg	RV	10-15ml/kg
EF	40-60x min	FRC	25-30 ml/kg
Vd	2-2,5 ml/kg	TGV	30-40 ml/kg
MV	200-480 ml/min/kg	TLC	50-90 ml/kg
Va	60-320 ml/min/kg	VC	35-80 ml/kg

Ventilācijas mehānismi

Ielpas laiks - Ti (*Inspiratory time*) - 0,2-0,5 sek. pamatā pacientiem ar RDS, pie BPD var būt nepieciešams garāks laiks - 0,6-0,8 sek. Ļoti garš Ti noved pie pacienta- aparāta asinhronitātes, ļoti īss Ti - samazina Vt.

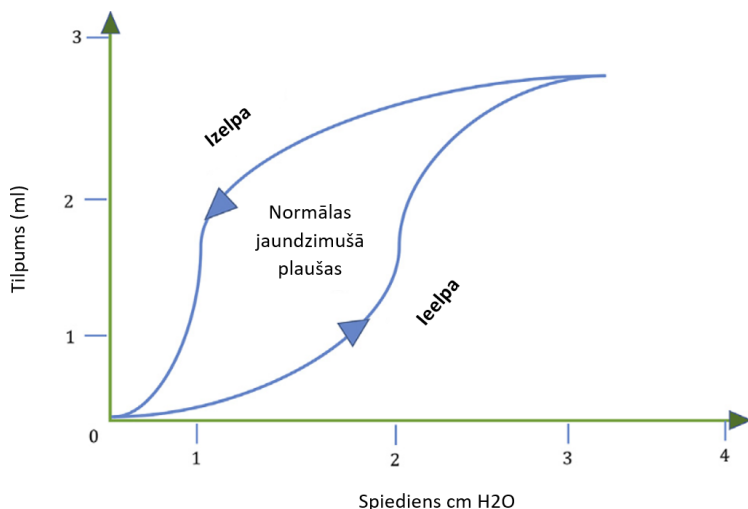
Izelpas laiks - Te - pasīvs process

Ielpas:izelpas attiecība - I:E (*I:E ratio*), ietekmē gāzu apmaiņu, parasti tiek izmantots 1:2.

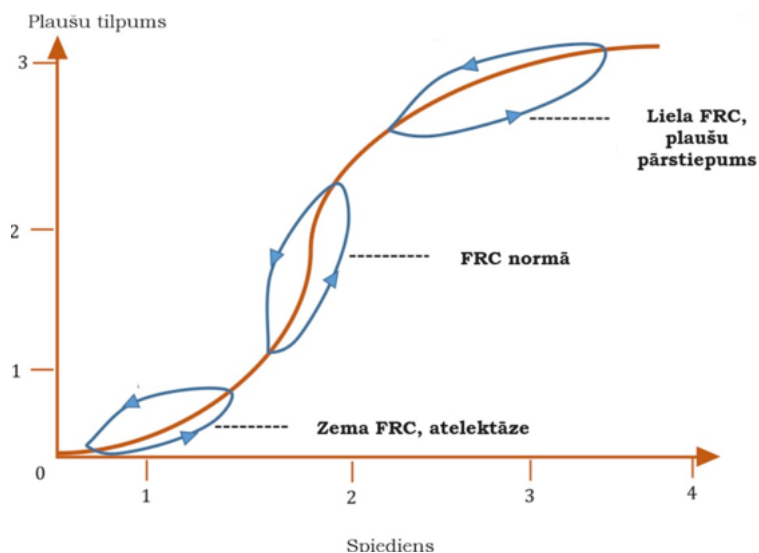
Plaušu compliance - C (*compliance*) - plaušu elasticitāte vai iestiepjamība (izplešamība). Var izteikt kā tilpuma attiecību pret spiedienu - ml/cm H₂O. Iedala plaušu iestiepjamībā, kas raksturo parenhīmas mehāniskās īpašības, un krūškurvja iestiepjamībā, kas atkarīga no krūškurvja mehāniskām īpašībām un intraabdominālā spiediena. Plaušu elasticitāte atkarīga no šķidruma satura plaušās, surfaktanta aktivitātes, samazinās pie plaušu tūskas, pneimonijas, atelektāzes, MAS, pneimotoraksa.

$$C = V_t / P$$

Veselam jaundzimušajam compliance ir 1,5- 2 ml/cmH₂O



Dinamiskā spiediena - tilpuma līkne (adaptēta no *Goldsmith et al.*)



Elpceļu rezistence - R (*resistance*) - pretestība. Raksturo spēju plaušu daļām vai elpošanas sistēmai (plaušas + krūškurvis), pretoties gaisa plūsmai. Ir atkarīga no elpceļu diametra, ETC diametra, plūsmas ātruma, kondensāta MPV kontūrā.

$$R = P / \text{Flow}$$

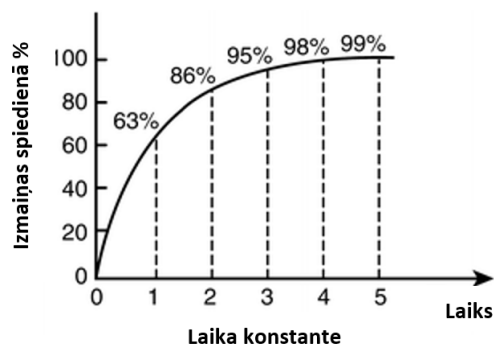
Laikā dzimušiem bērniem ar normālām plaušām R ir 25-50 cmH₂O/L/sek., intubētam jaundzimušajam R ir 50-150 cmH₂O/L/sek.

Rezistence palielinās: ja uzkrājas sekrets elpceļos, ETC oklūzija, kondensāts elpošanas kontūrā, pie plaušu obstruktīvām saslimšanām, piemēram, BPD, bronhiolīts.

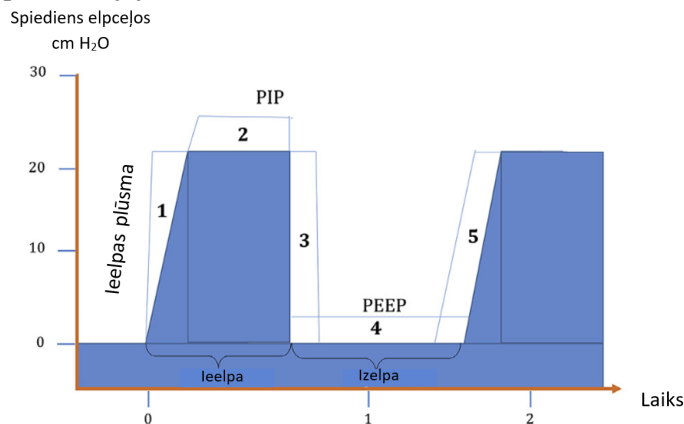
Laika konstante - TC – sek. (*time constante*) - laiks, kas nepieciešams, lai alveolārais spiediens palielinātos 63% no nepieciešamā ielpas spiediena elpceļos.

$$TC = R (\text{rezistence}) \times C (\text{kompliance})$$

Normā spiediena un tilpuma padeve ir pabeigta (95-99%) pēc 3-5 laika konstantēm. Plaušās ar samazinātu complianci, piemēram, RDS, būs īsāka laika konstante un nepieciešama augstāka EF, bet jaundzimušajiem ar BPD būs relatīvi garāka laika konstante, kas var prasīt garāku T_i un T_e un zemāku EF.



Vidējais spiediens elpceļos - MAP (*mean airway pressure*) - ir galvenais ventilāciju raksturojošs lielums. Tas ir spiediens, kuram tiek pakļauti elpceļi visa elpošanas cikla garumā. Nepietiekoša MAP dēļ rodas hipoksēmija, pārmērīgs MAP - ir gaisa noplūdes sindroma risks un rāda ar ventilāciju asociētu plaušu bojājumu.



Pieci dažādi veidi kā palielināt vidējo spiedienu elpceļos (Adaptēts no *Goldsmith et al.*):

- 1) palielinot ieelpas plūsmas ātrumu
- 2) palielinot PIP
- 3) palielinot ieelpas laiku
- 4) palielinot PEEP
- 5) palielinot elpošanas frekvenci, tādējādi samazinot izelpas laiku, nemainot ieelpas laiku.

Oksigenācijas indekss OI - attiecība starp skābekļa līmeni, kas tiek piegādāts plaušām un skābekļa daudzumu, kas difundē asinīs. Tas parāda plaušu spēju pārvadīt skābekli caur alveolu membrānām un ir nozīmīgs stāvoklis, kad ir traucēta plaušu funkcija. Jo lielāks rādītājs, jo sliktāks ir plaušu stāvoklis.

$$OI = \frac{MAP + FiO_2(\%)}{PO_2(mmHg)}$$

OI<5 - norma

OI>10 - smagas oksigenācijas problēmas

OI>20 - kritiskas oksigenācijas problēmas

OI>40 - nepieciešams ECMO

Skābekļa koncentrācija - FiO₂ - kopā ar MAP ietekmē alveolāro skābekļa spiedienu, līdz ar to - oksigenāciju.

Mērķa saturācija:

Rādītājs	Cianotiska sirdskaite	Acianotiska sirdskaite	Priekšlaikus dzimis jaundzimušais	Laikā dzimis jaundzimušais	Laikā dzimis jaundzimušais ar PPH	Priekšlaikus dzimis jaundzimušais ar PPH

SpO2	75-85 %	>92 %	91-95%	>95%	Preduktāli >94% Postduktāli >85%	Preduktāli >90% Postduktāli >85%
------	---------	-------	--------	------	---	---

Ventilācija un perfūzija

Ventilācija - gaisa apmaiņa starp plaušām un atmosfēru

Difūzija - spontāna gāzu pārvietošana (starp gāzēm alveolās un asinīm plaušu kapilāros)

Perfūzija - šķidrumu pasāža kardiovaskulārajā sistēmā (kardiovaskulārās sistēmas asiņu pumpēšana caur plaušām)

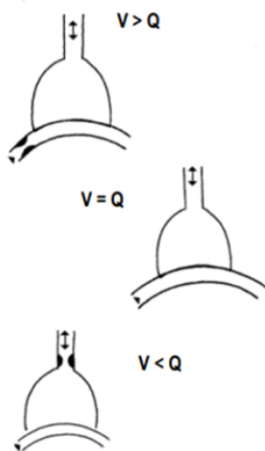
Ventilācijas-perfūzijas attiecība - V/Q (ventilation-perfusion ratio) - attiecība starp gaisa daudzumu, kas nonāk alveolās (alveolārā ventilācija = V ml/min) un asiņu daudzumu, kas nonāk plaušās (sirds izviede = Q ml/min).

V/Q samazināts - samazināta ventilācija vai palielināta perfūzija -> arteriālajās asinīs samazināts O_2 (PO_2) un palielināts CO_2 (PCO_2)

V/Q palielināts - palielināta ventilācija vai samazināta perfūzija -> palielinās plaušu alveolu O_2

$V>Q$ – adekvāta ventilācija, bet ir nepietiekoša asins plūsma alveolārajos kapilāros - iemesli ir PPH, zilā tipa VCC, plaušu asinsvadu trombi (vairāk pieaugušajiem), šoks u.c.

$V<Q$ – samazināta ventilācija, bet plūsma alveolārajos kapilāros nav traucēta. Iemesli var būt – pneimonija, RDS, plaušu tūska, atelektāze u.c.



Darba grupa: Aleksandra Juraša, Elza Salputra, Jekaterina More-Jaroslavceva, Jeļena Liepa, Renāte Vējone, Jeļena Rusakova, Simona Kravcova, Tatjana Titova, Sandija Stanke, Irēna Zahare, Kristīne Rasnača