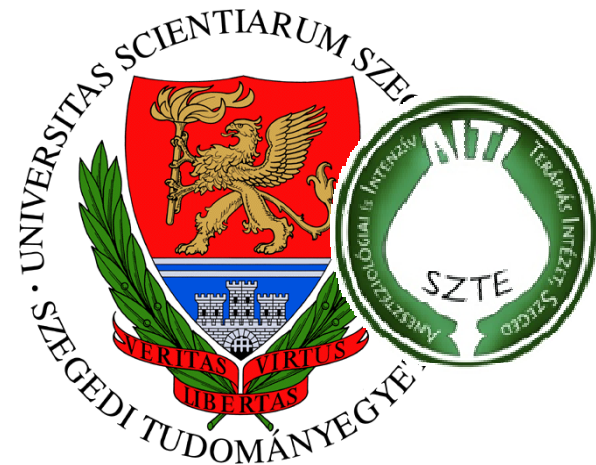


A kapnográfia alapjai

Babik Barna
Peták Ferenc²

Aneszteziológiai és Intenzív Terápiás Intézet
Orvosi Fizikai és Orvosi Informatikai Intézet²
Szegedi Tudományegyetem

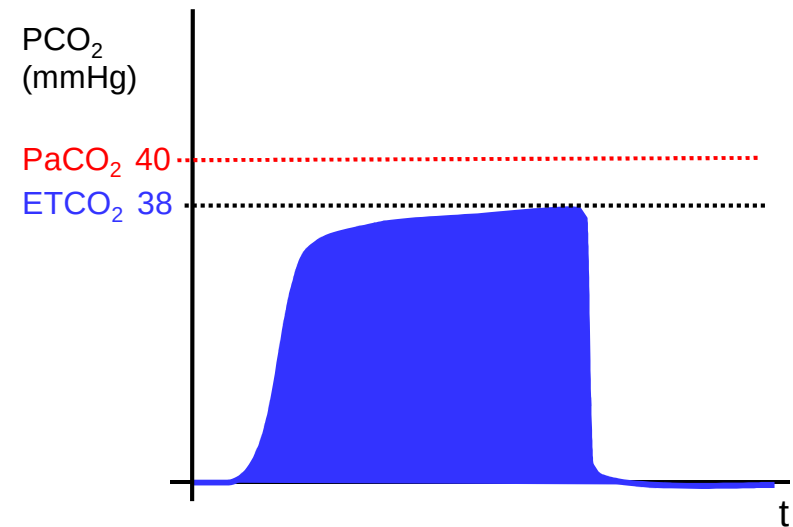
XV. MAGYAR SÜRGŐSSÉGI ORVOSTANI KONGRESSZUS
2016, Siófok



Definíció – monitorozási szempontok

A kilégzett CO_2 -koncentráció

- nem-invazív
- folyamatos
- on-line
- dinamikus
- műtőasztal / ágymelletti
- egyszerű
- olcsó
- effort-, és kooperáció független
- idő vagy térfogat függvényében ábrázolt



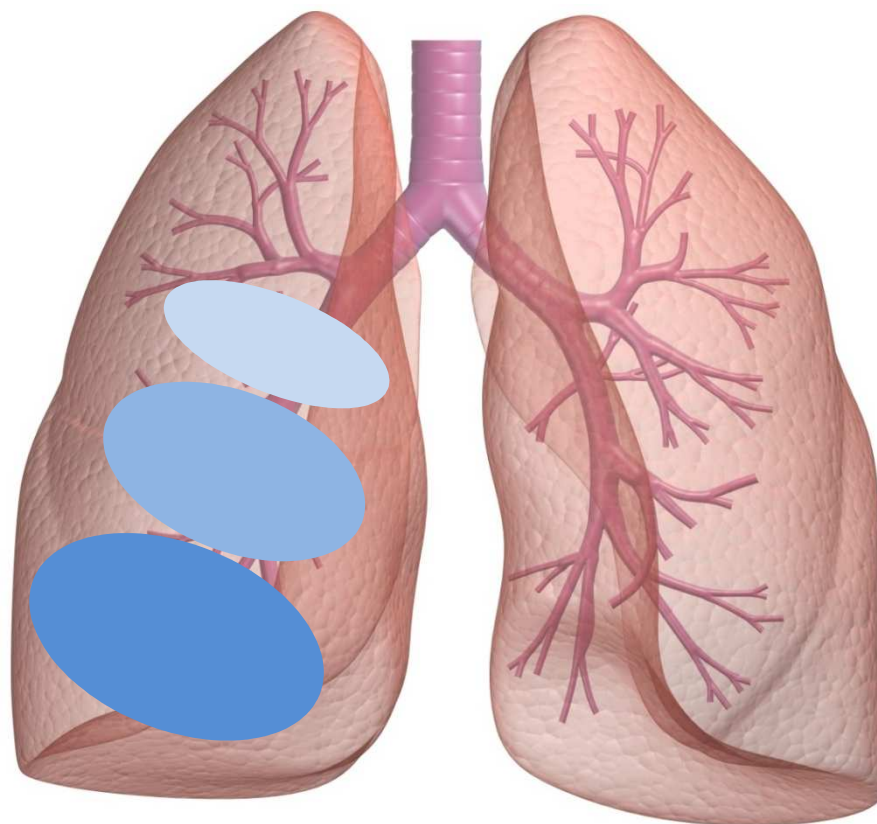
grafikus és numerikus megjelenítése

Definíció – élettani, klinikai szempontok

A kilégzett alveoláris gázkeverék endogén indikátor görbéje, mely tükrözi a

- ventiláció
 - légúti-, és szöveti-
 - rezisztív-, és elasztikus-
- perfúzió
- ventilációs-perfúziós illeszkedés
- anyagcsere
- lélegeztetés

paramétereit és körülményeit



Definíció – élettani, klinikai szempontok

I. Dinamikus és kvalitatívan (!) jellemezhető paraméterek:

Tidal ventillációban részt vevő tüdő parenchyma biomechanikai tulajdonságairól (rezisztancia, elasztancia, heterogenitás)

- Második szakasz meredeksége (S_{II})
- Harmadik szakasz meredeksége (S_{III})



Definíció – élettani, klinikai szempontok

II. Statikus és kvantitatívan jellemezhető paraméterek:

- Artériás-végkilégzési CO_2 -koncentráció különbség ($P_{a-\text{ETCO}_2}$)
- Kilégzett CO_2 mennyisége (V'_{CO_2})
- Tidal ventillációban részt vevő tüdő parenchyma
 - Ventillációs tulajdonságairól
Anatómiai holtter (Fowler-holtter, V_{DF})
 - Ventillációs-perfúziós illeszkedéséről:
Élettani holtter (Bohr-holtter, V_{DB})
Shunt-keringés (Enghoff-holtter, V_{DE})



Történet

'40-as évek

- Kilégzett gázkeverékből vett minta CO_2 -koncentrációjának meghatározása infravörös spektrofotometria segítségével

Pfund AH. et al. Bull Johns Hopkins Hosp, 1940, 67, 61-65.



'50-as évek

- első betegágy melletti „infrared CO₂-meter”

Elam, J. O. et al. Anesthesiology, 1955, 16, 876-85.



'60-as évek

- Smalhout munkássága nyomán Európában a monitorozási technika kapnográfia néven már az 1960-s években érdeklődésre talált

Smalhout B. Capnografie (Thesis). 1967, A Oosthoek
Publishing Company: University of Utrecht.

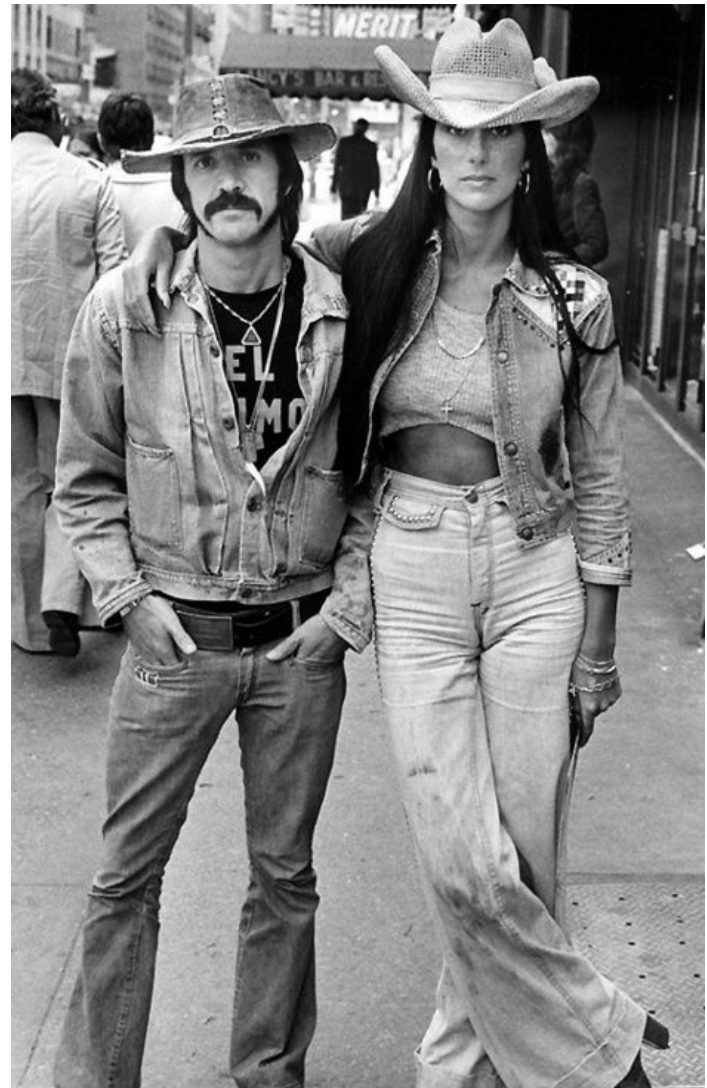


'70-as évek

- 1978, World Congress on Intensive Care Medicine, USA:

öt aneszteziológus közül kettő:
„ennek a módszernek nincs
jövője”

Weingarten, M. J Clin Monit, 1990, 6, 217-25.



'80-as évek

- A rutin klinikai alkalmazást lehetővé tevő monitorok az 1980-s évek technikájával terjedtek el világszerte

Kinsella, S. M. Br J Anaesth, 1985, 57, 919-23.

Kalenda Z. Mastering infrared capnography. Kerckebosch-Zeist, 1989.



Napjainkban

- Betegbiztonságot szolgáló
 nélkülözhetetlen monitorozási modalitás
- Fontos diagnosztikus eszköz az
- Aneszteziológiában és intenzív
 terápiában

Babik, B. et al. Crit Care, 2012, 16, R177.

Strömberg NO. Pediatr Pulmonol 2000, 29:94-102.

Krauss B. Anesth Analg 2005, 100:884-888.

Thompson JE. Respir Care 2005, 50:100-108.

Bhavani-Shankar K. Anesth Analg 2000, 91:973-977.

Tusman G Anesth Analg 2012; 114:866-74.

Tusman G Intensive Care Med 2011; 37:870-874.

Csorba Zs Anesth Analg 2016; 122:1412-1420.

Balogh Á Br J Anaesth. 2016; 121:261-7.



- Sürgősségi ellátásban

Kupnik, D et al. Emerg Med J, 2007, 24, 614-7.

- Reszusztitáció során

Krauss, B.et al. Ann Emerg Med, 2007, 50, 172-81.

- Betegtranszportban

Singh, S.et al. Am J Emerg Med, 2006, 24, 302-7.

- Gyermekgyógyászatban

Eipe, N.et al. J Clin Monit Comput, 2010, 4, 261268.

- Alváslaboratóriumokban

Kasuya, Y. Anesthesiology, 2009, 111, 609-15.

- Pulmonológiában

Brown, R. H. et al. J Breath Res, 2013, 7, 017108.

Krauss, B.et al. Anesth Analg, 2005, 100, 884-8.

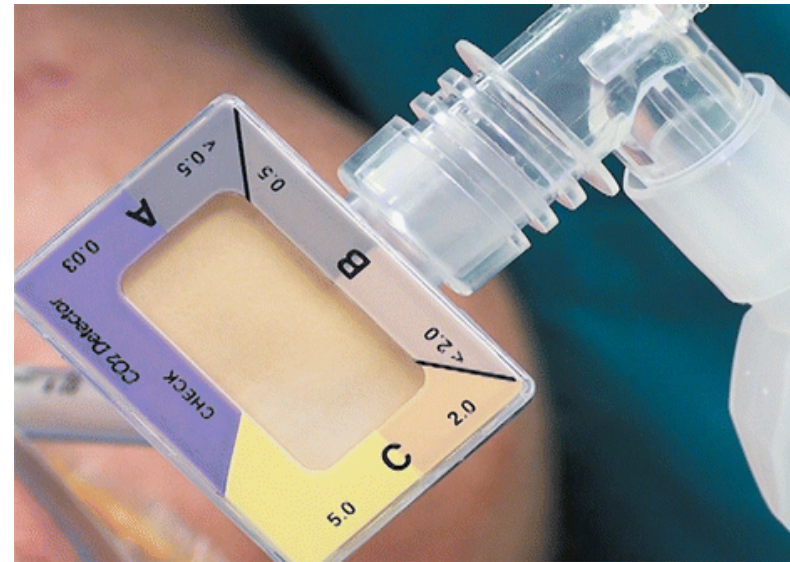


Mérési elv

1. Kolorimetriás kapnográfia

- kvalitatív módszer
- a lélegeztető szár Y részénél a kilégzett gázkeverék útjába helyezett, pH változásra érzékeny filter
- színe a rajta átáramló CO_2 hatására légvételenként a lila és a sárga szín között váltakozik

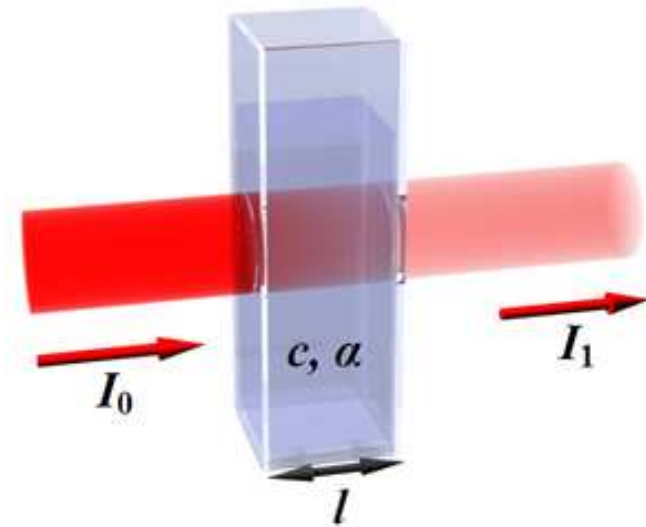
Garey, D. M. Pediatrics, 2008, 121, e1524-7.



→SÜRGŐSSÉG?

2. Infravörös spektroszkópia

- kvantitatív módszer
- elterjedt a klinikai gyakorlatban
- kilégzett CO_2 nagy mértékben elnyeli a $4,3\ \mu\text{m}$ -s hullámhosszú infravörös fényt
- minimális az interferencia más gázokkal
- az elnyelt infravörös fény mennyisége arányos az adott gázkeverékben lévő CO_2 parciális nyomásával



Block, F. E. et al. J Clin Monit, 1992, 8, 139-41.

A kapnográfia típusai: mintavételi pont szerepe

Főramú kapnográfia (MS)

- „beteg közeli” mérés

Pascucci, R. C. et al. Crit Care Med, 1989, 17, 560-2.

– Előnye

- gyors és pontos jelfeldolgozás

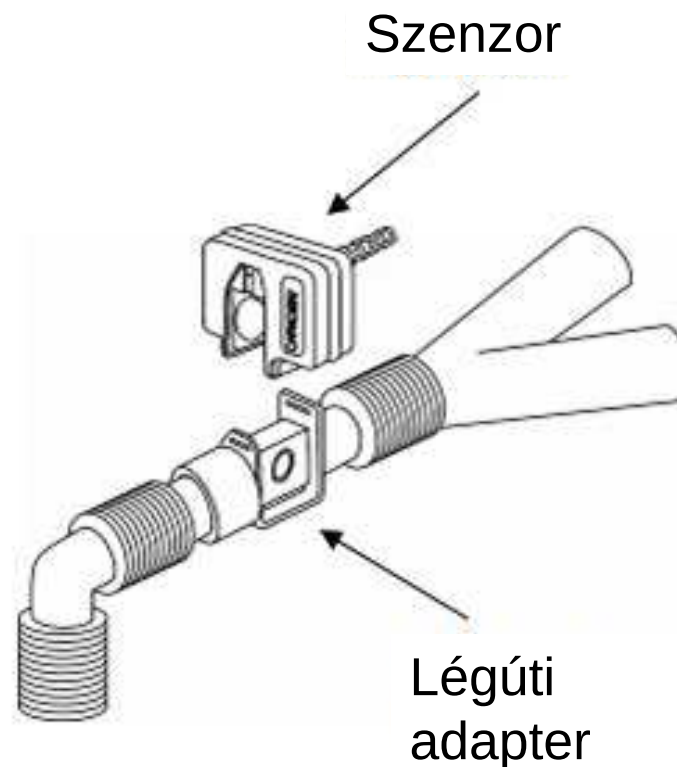
– Hátránya

- növeli a holtteret
- vongálhatja a tubust
- a gázkeverékből csak a széndioxid koncentrációját képes mérni
- a küvétát melegíteni kell

páralecsapódás elkerülése céljából

Szaflarski, N. L. et al. Heart Lung, 1991, 20, 363-72.

Ward, K. R. et al. Acad Emerg Med, 1998, 5, 637-46.

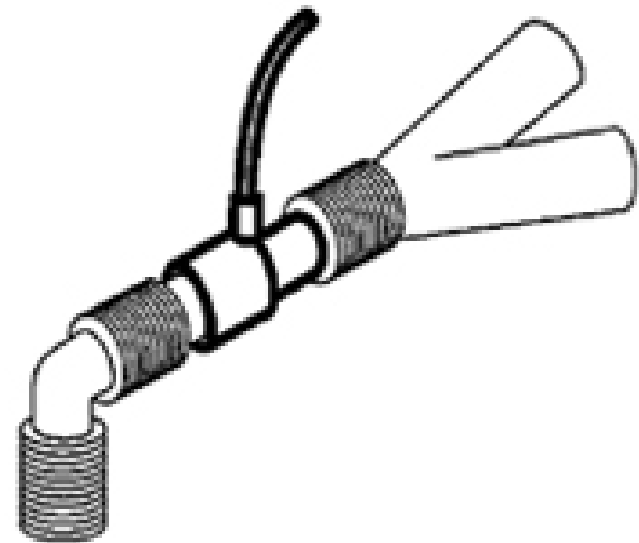


- **Mellékáramú kapnográfia (SS)**
- Ugyanaz a légzőköri vizsgálati pont
- 150-250 ml/perc folyamatos elszívás
- Elemzés betegtől távolabb, a monitorban

Pascucci, R. C. et al. Crit Care Med, 1989, 17, 560-2.

– Előnye

- könnyen kezelhető, könnyű T elágazás a beteg fejénél
- a kapnométer kialakítástól függően más gázok koncentrációját is méri (pl. oxigénét, altatógázokét)
- spontán légző betegnél is egyszerűen alkalmazható



– Hátránya

- A vékony, hosszú elszívó cső elzáródhat
- Légzőköri szivárgás (Csecsemők!)
- Elszívás nélkül szennyezi a műtői levegőt

Lawson, D. et al. Anesth Analg, 1985, 64, 378

- A gáztranszport miatt a jel késik

Breen, P. H. et al. J Appl Physiol (1985), 1992, 72, 2029-35

Breen, P. H. et al. Anesth Analg, 1994, 78, 584-6

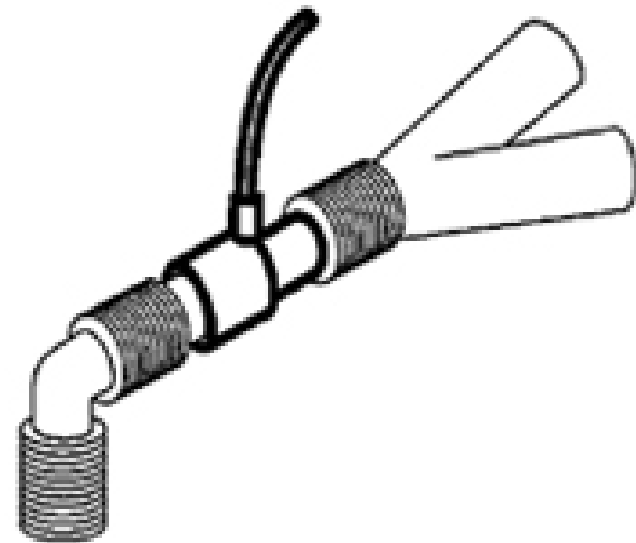
- A csőben tengelyirányú gázkeveredés van,
ez lassítja a II. fázis dinamikáját (a
kapnométer „dinamikus válaszkészségét”)

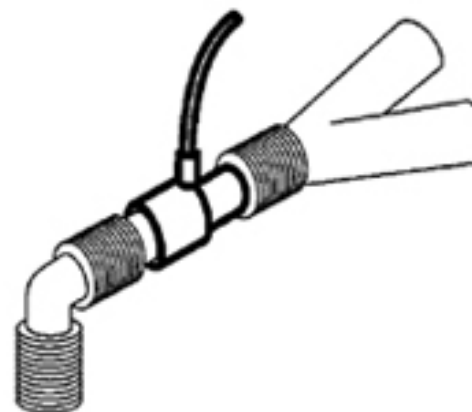
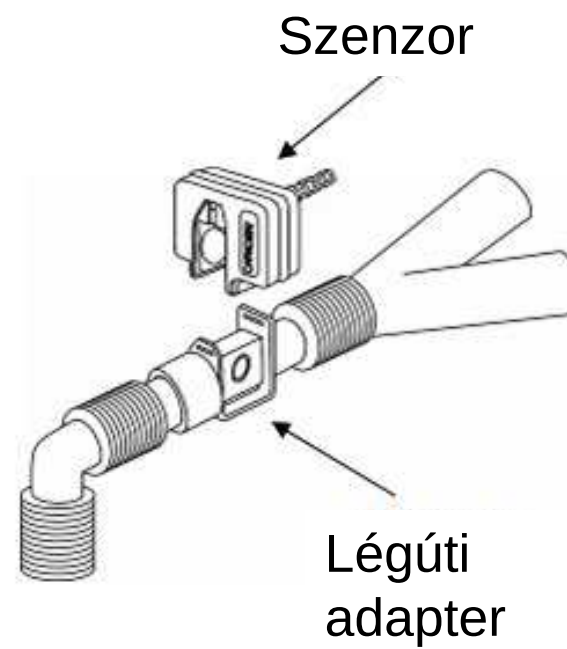
Breen, P. H. et al. Anesth Analg, 1994, 78, 584-6.

- Magas (≥ 30 /perc) frekvencia mellett a

P_{ETCO_2} -t alulbecsülheti

From, R. P. et al. Anesth Analg, 1988, 67, 884-6.





Tanulmány 1. Főáramú – mellékáramú technika

Háttér

- Mindkettő használatos az anesztéziában és intenzív terápiában



- Kevés adat áll rendelkezésre a MS és SS technika összehasonlításáról

Jaffe MB Respironics White Paper 2002;1012102 SB 8/23/02.

Pascucci RC Crit care med 1989; 17:560.562.

Cél

SS technika adekvát kvantitatív ágymelletti információt biztosít-e az alveoláris ürülésről és a ventilációs/perfúziós illeszkedésről?

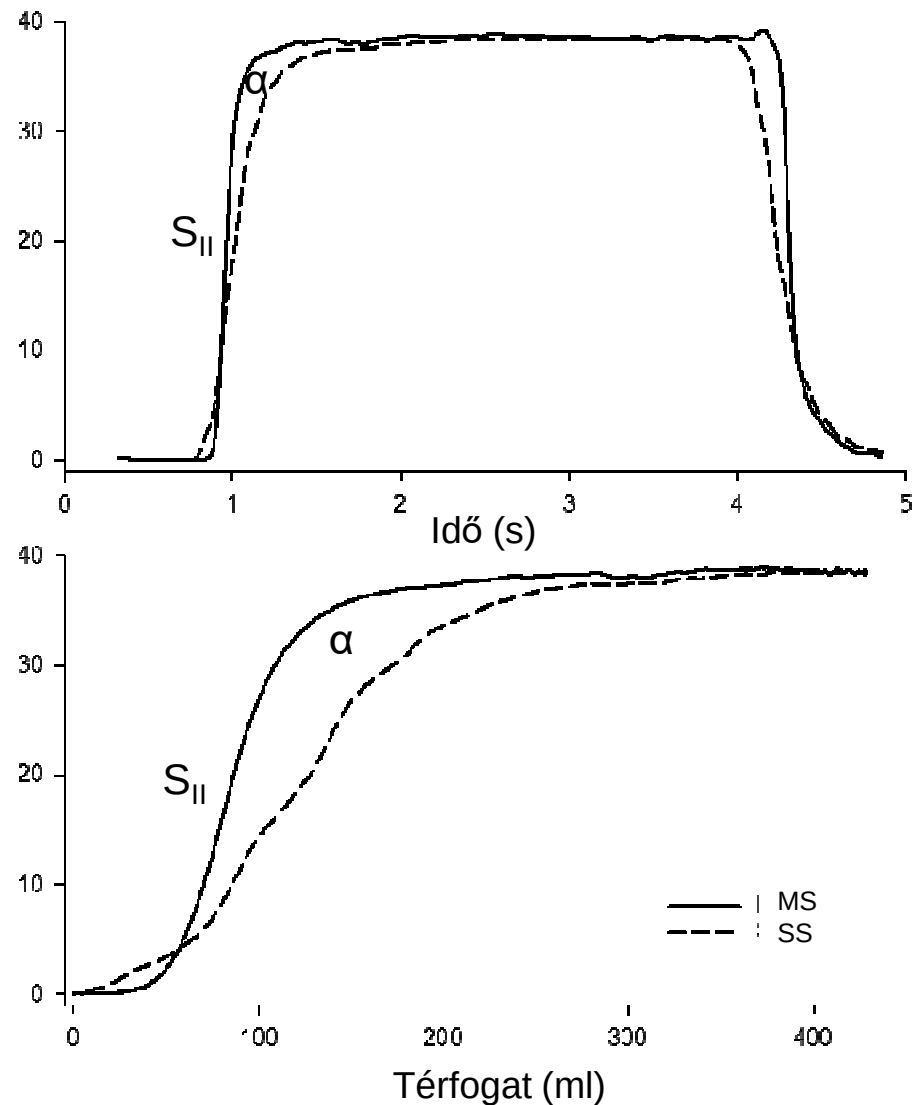
Balogh Á Br J Anaesth. 2016; 121:261-7.

Eredmények

Reprezentatív idő és térfogat kapnogrammok szimultán MS and SS kapnográfia segítségével

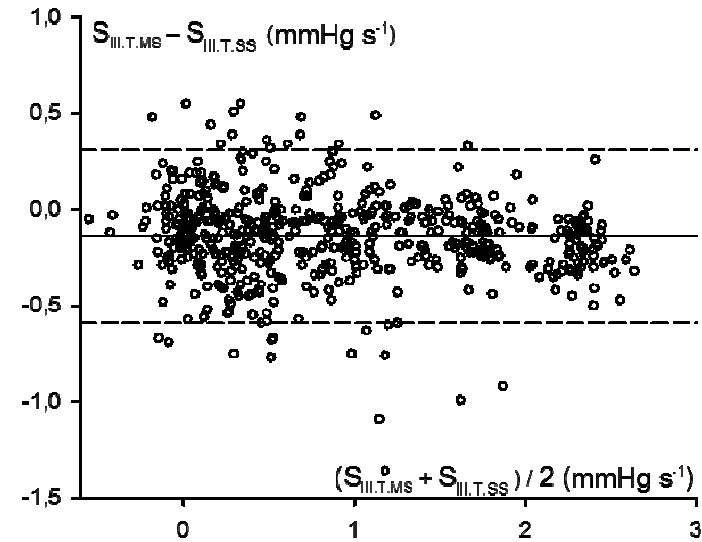
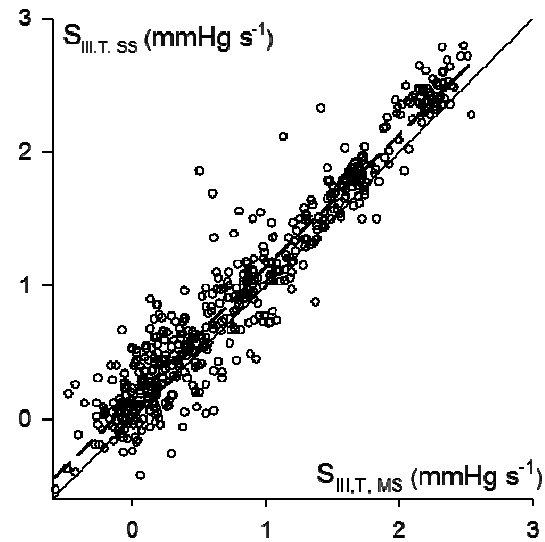
MS:

- Meredekebb S_{II}
- Kisebb α szög



Eredmények

$S_{III,T}$

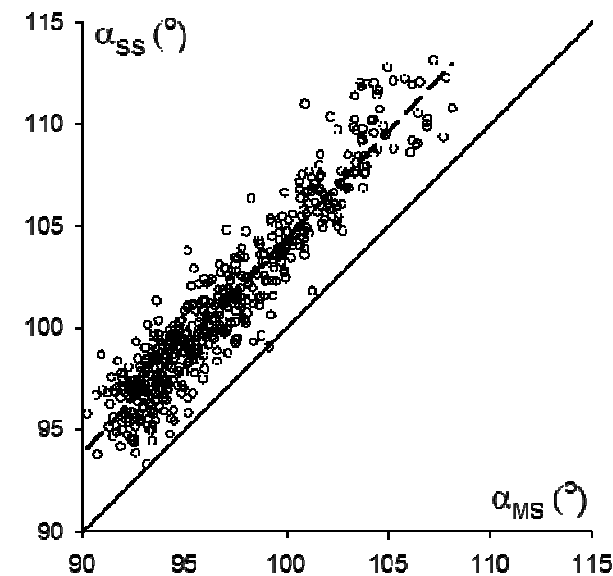
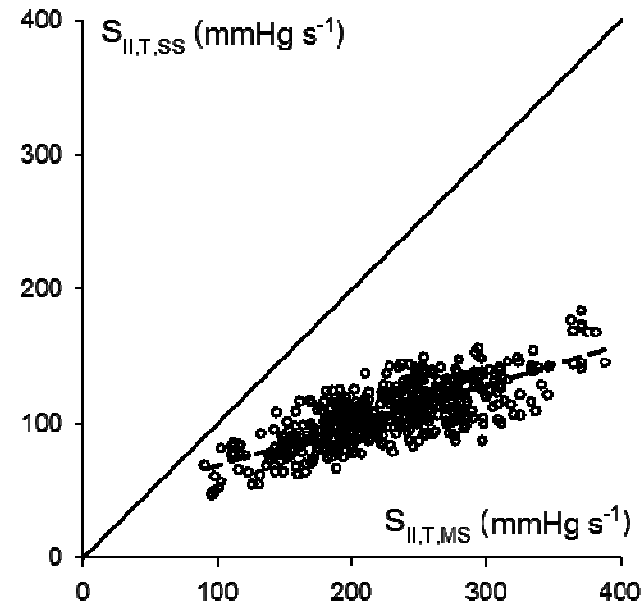


- Kitűnő korreláció ($R^2=0,92$, $p<0,0001$)
- Jó egyezés $S_{III,T,MS}$ and $S_{III,T,SS}$ vonatkozásában

Eredmények

$S_{II,T}$ és α

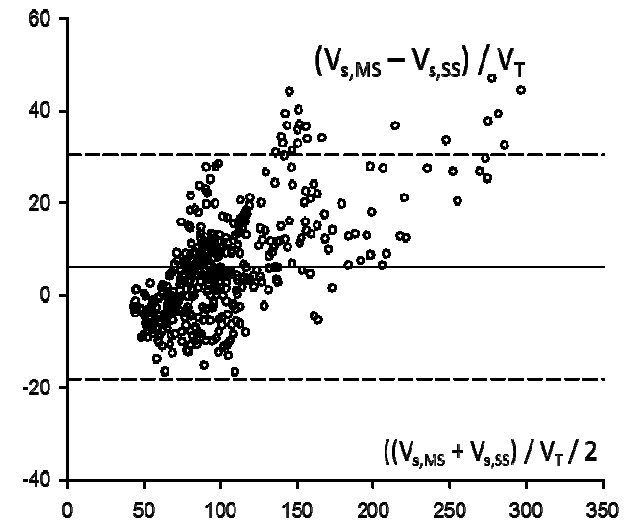
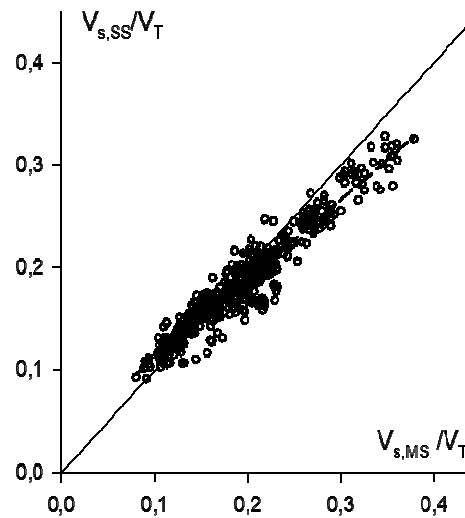
- Szignifikáns korreláció $S_{II,T,SS}$ and $S_{II,T,MS}$ között ($R^2=0,58$, $p<0,0001$)
- Az egyezés hiányával



Eredmények

$V_{s,SS}$:

- Erős korreláció
- Jó egyezés ($V_{DE}-V_{DB}=V_S$)

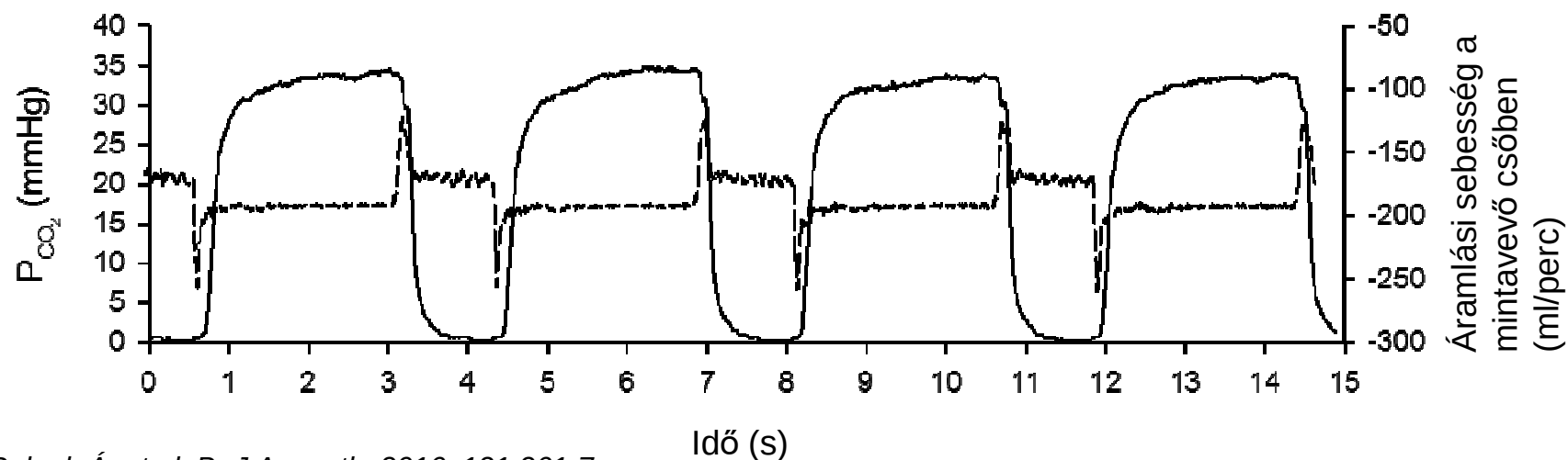
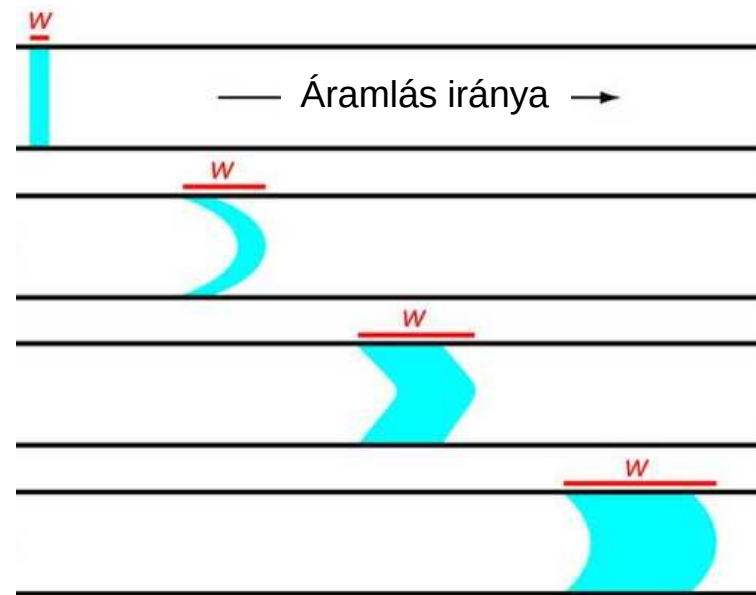


Megbeszélés

SS: Dinamikus disztorzió, oka:

a mintavevőcsőben:

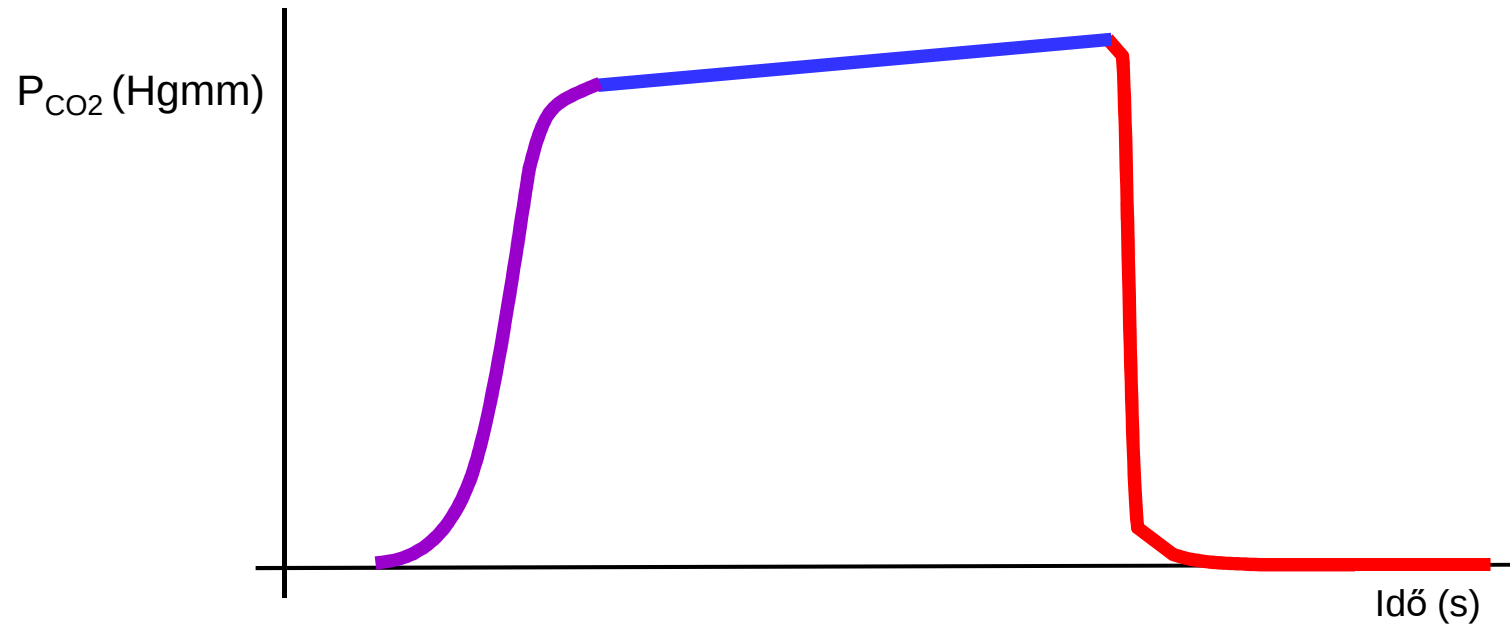
- tengelyirányú keveredés
- változó áramlási sebesség



Megbeszélés

SS: Dinamikus disztorzió következménye

- Gyors és nagy koncentráció-változással járó szakaszok torzulnak (S_{II} , α)
- Kis koncentráció-változással járó szakaszok paraméterei jól egyeznek (S_{III} , shunt)



A kapnográfia típusai: CO₂, de minek a függvényében?

- Idő-kapnográfia (tcap)

- Előnye

- Nem intubált betegen is alkalmazható, különösen az oldaláramú formája
 - könnyen értelmezhető

- Hátránya

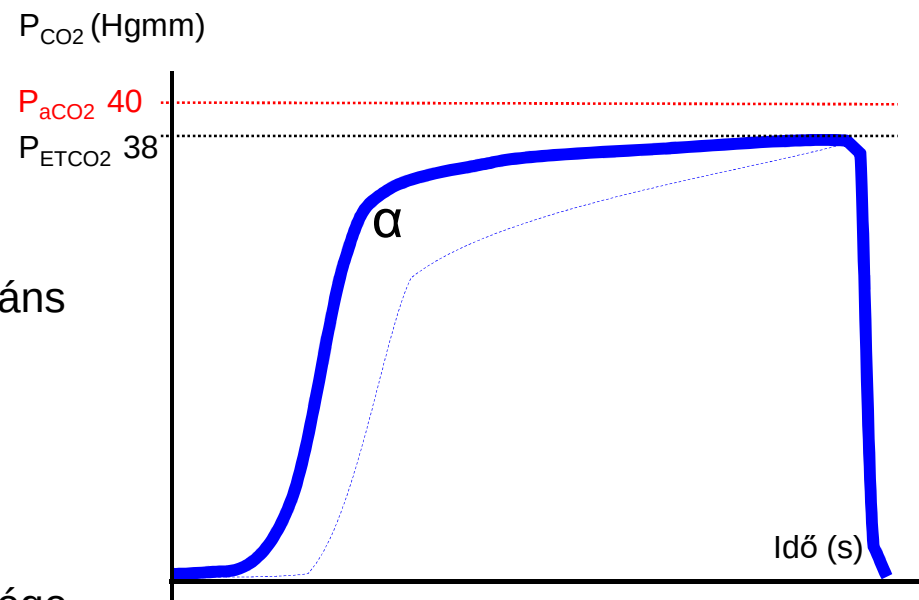
- ($P_a - P_{ETCO_2}$) csak becslésre, vagy markáns változás detektálására használható
 - nem számolható
 - Bohr-, vagy Enghoff-holttér
 - egy perc alatt kilégzett CO₂ mennyisége

(V'_{CO_2})

Bhavani-Shankar, K. et al. Anesth Analg, 2000, 91, 973-7.

Anderson, C. T. et al. Crit Care, 2000, 4, 207-15.

Walsh, B. K. et al. Respir Care, 2011, 56, 503-9.



- Volumetrikus-kapnográfia (Vcap)

- Előnye

- kilégzett CO_2 -koncentráció
légvételenként külön ábrázolódik

- Mérhető

- $P_a - \text{ETCO}_2$
 - Holttér
 - V'_{CO_2}

Romero, P. V. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 2007, 2, 381-91.

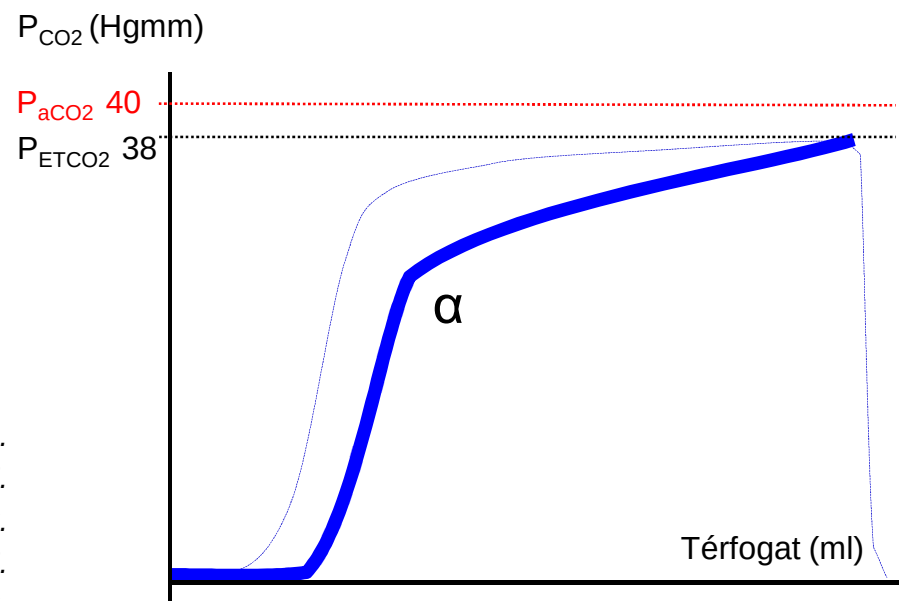
Blanch, L., et al. *Minerva Anesthesiol*, 2006, 72, 577-85.

Tusman, G. et al. *J Clin Monit Comput*, 2009, 23, 197-206.

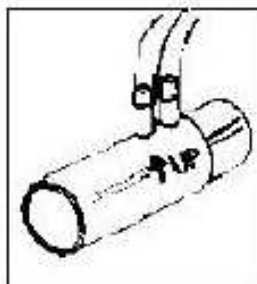
Romero, P. V. et al. *Eur Respir J*, 1997, 10, 1309-15.

Tusman, G. et al. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2011, 55, 597-606.

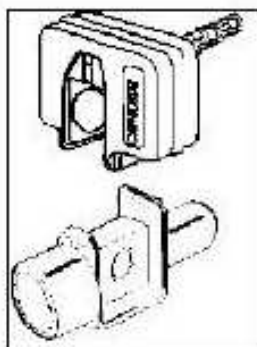
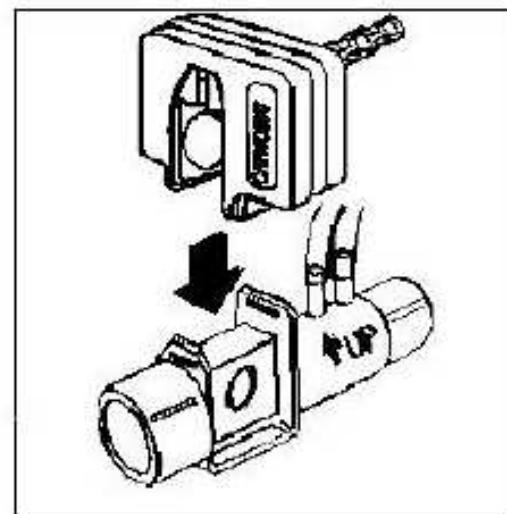
Merilainen, P. et al. *J Clin Monit*, 1993, 9, 374-80.



Volumetrikus kapnográfia alap technikai igénye



bETeg + Y

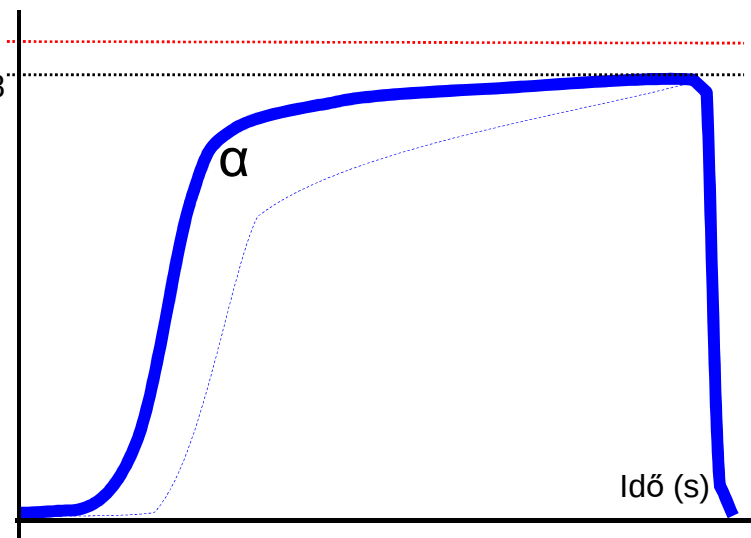




P_{CO_2} (Hgmm)

P_{aCO_2} 40

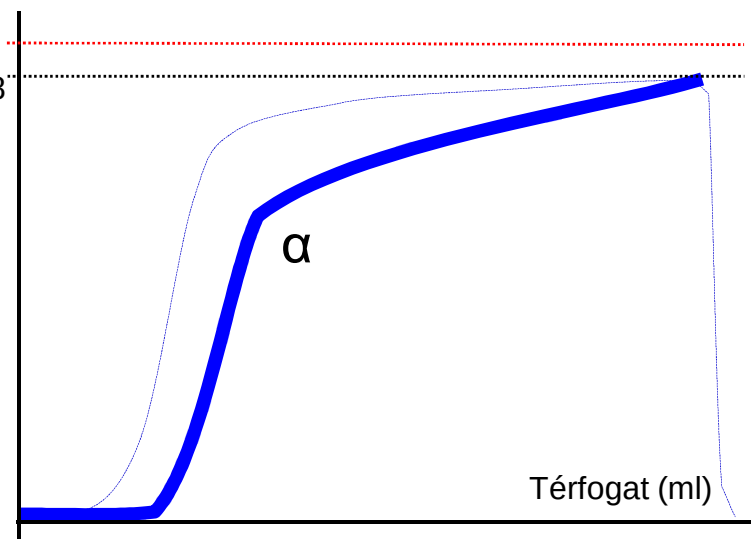
P_{ETCO_2} 38



P_{CO_2} (Hgmm)

P_{aCO_2} 40

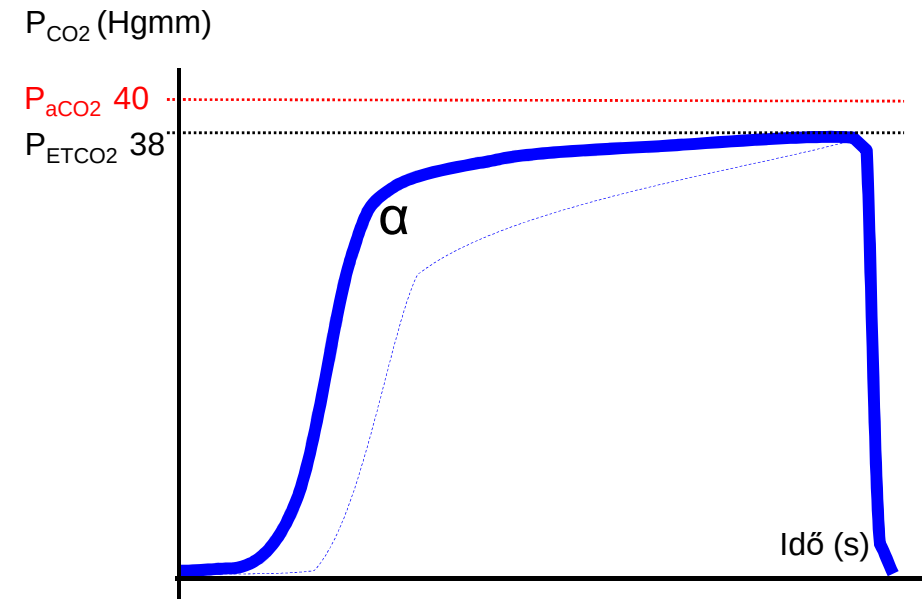
P_{ETCO_2} 38



tCap:

Könnyebben értelmezhető

Gyakrabban használt



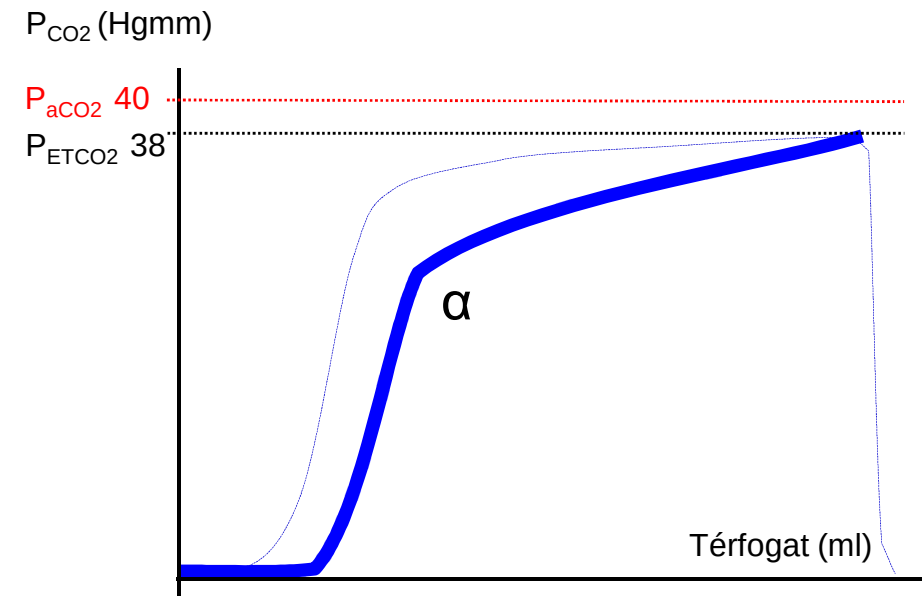
VCap:

P_{a-ETCO2} értékelhető

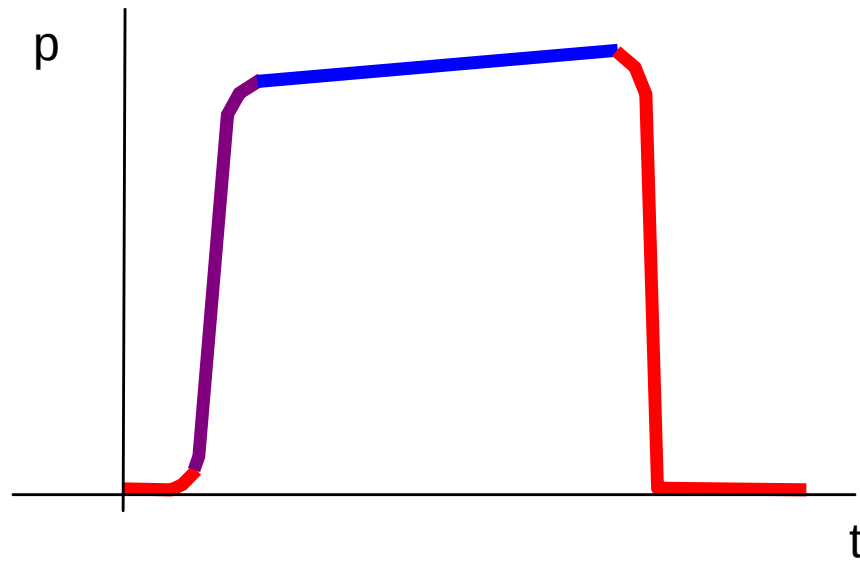
Holtterek

V'_{CO2} értékelhető

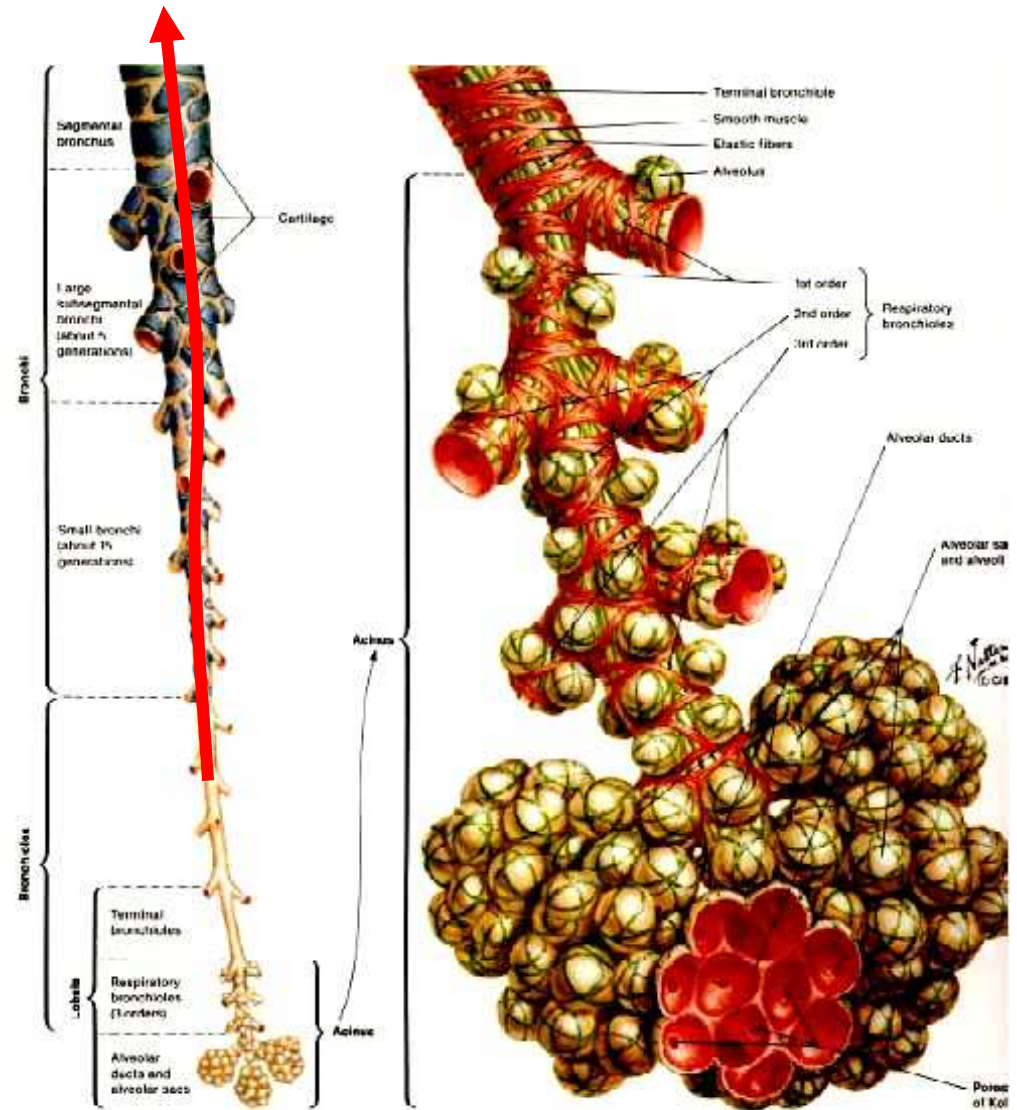
„Szokni kell a szemnek”



I. szakasz



I.
Légúti
holttér
ürülése

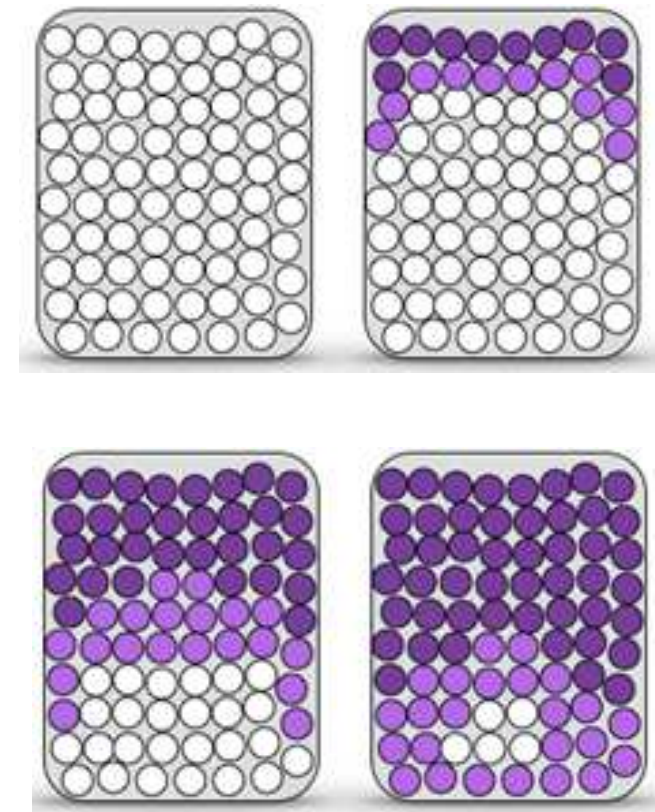
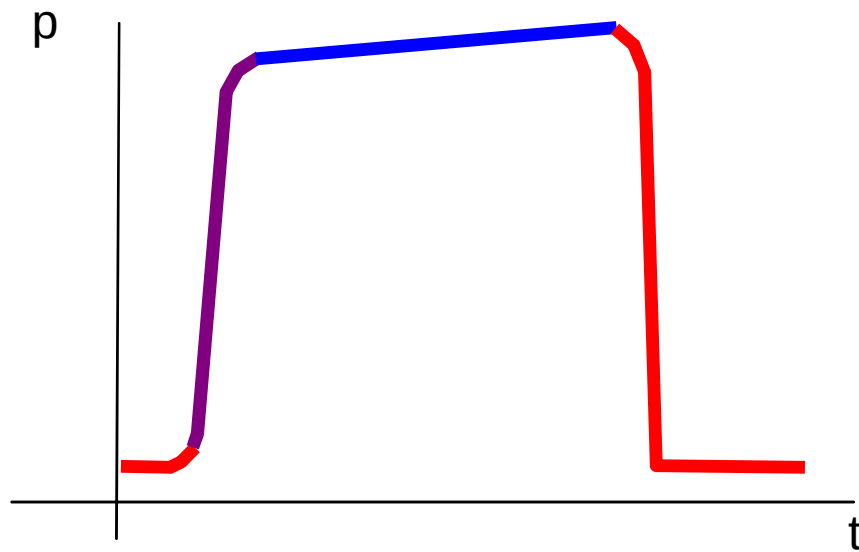


Fiziológiásan:

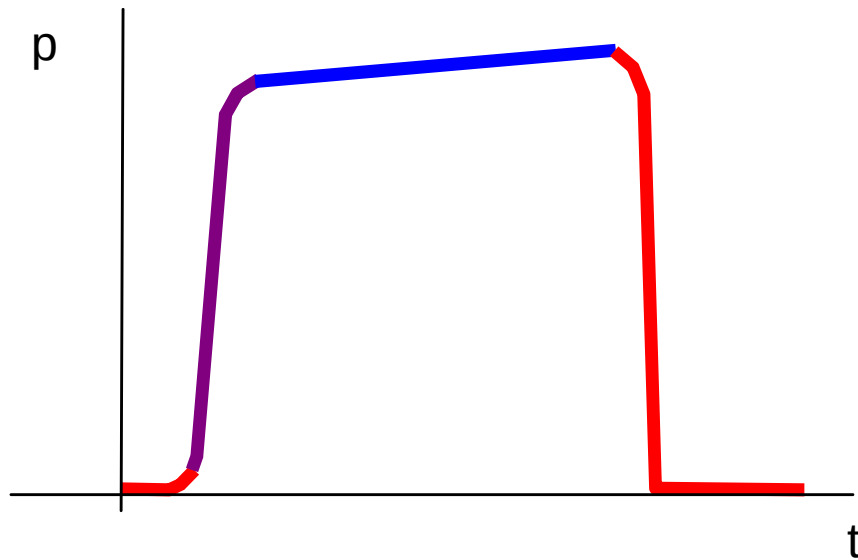
Értéke ~ 0 Hgmm

Technikai okok miatt:

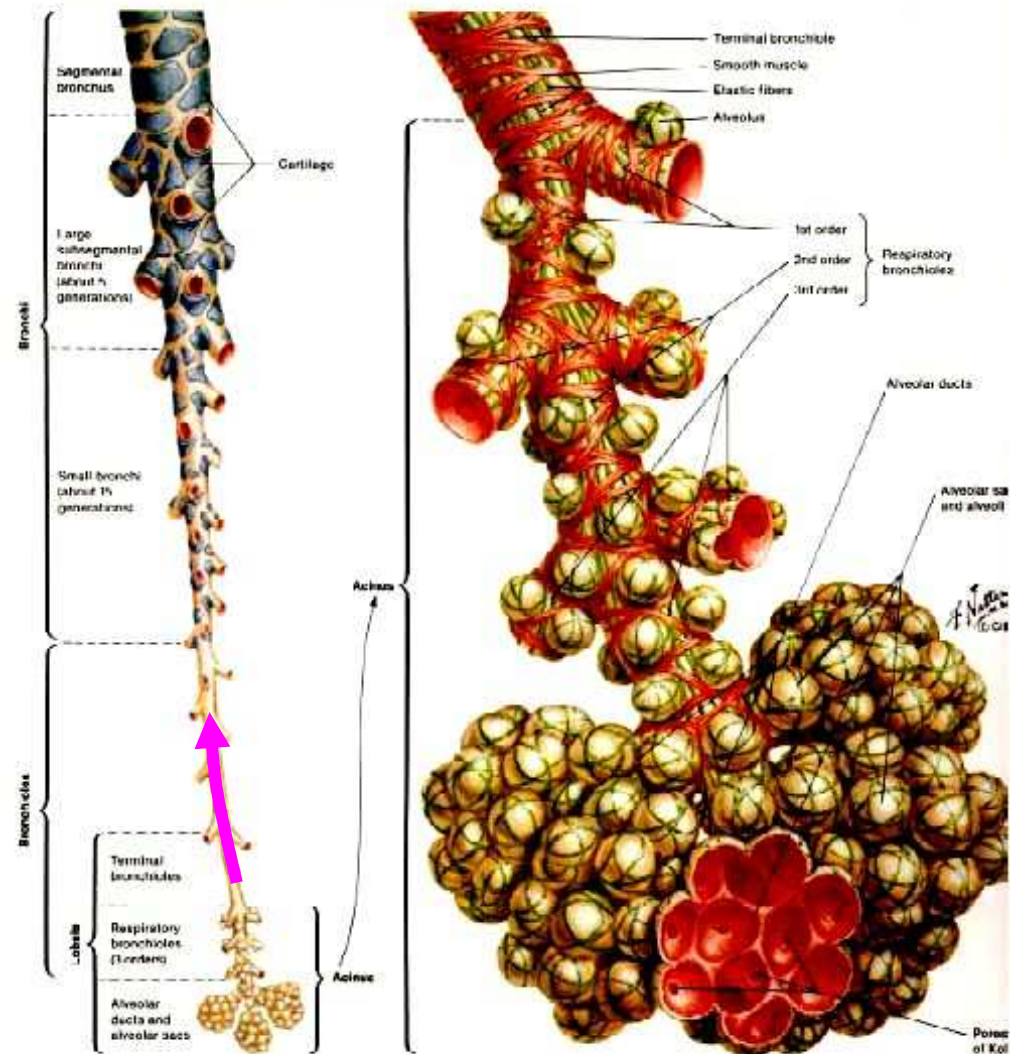
Értéke > 0 Hgmm, ha van CO_2 visszalégzés



II. szakasz



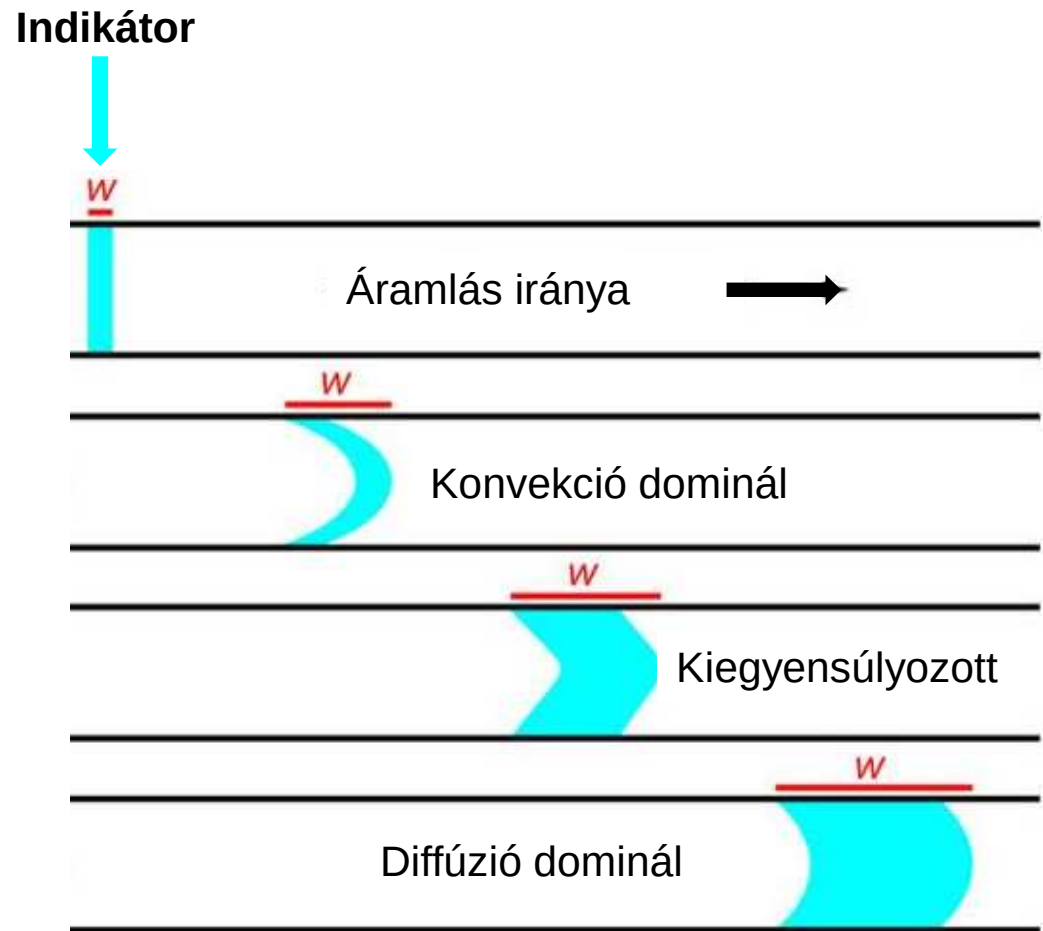
II.
Keveredés a
holttér és az
alveoláris tér
között



II. szakasz meredeksége: S_{II}

Fiziológiásan függ:

- Broncho-alveoláris gázfront axiális szélességétől



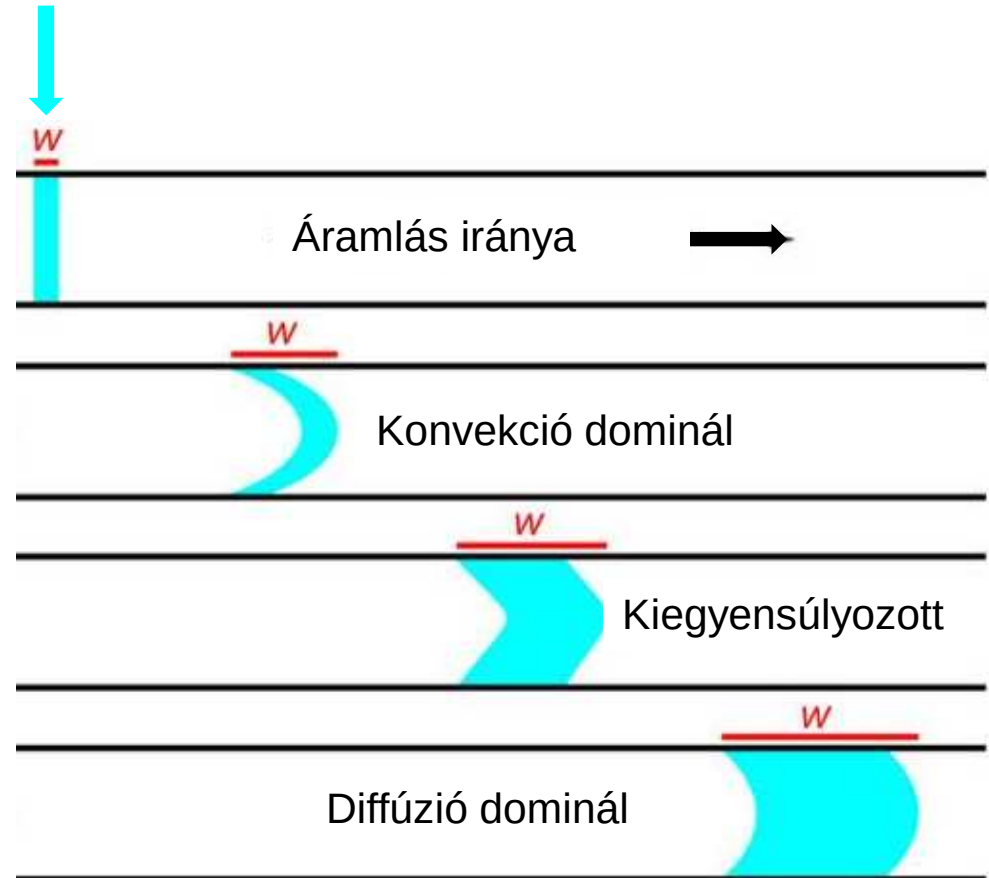
Tengelyirányú keveredés mértéke (w)

II. szakasz meredeksége: S_{II}

Fiziológiásan függ:

- Broncho-alveoláris gázfront axiális szélességétől
- Koncentráció-grádienstől

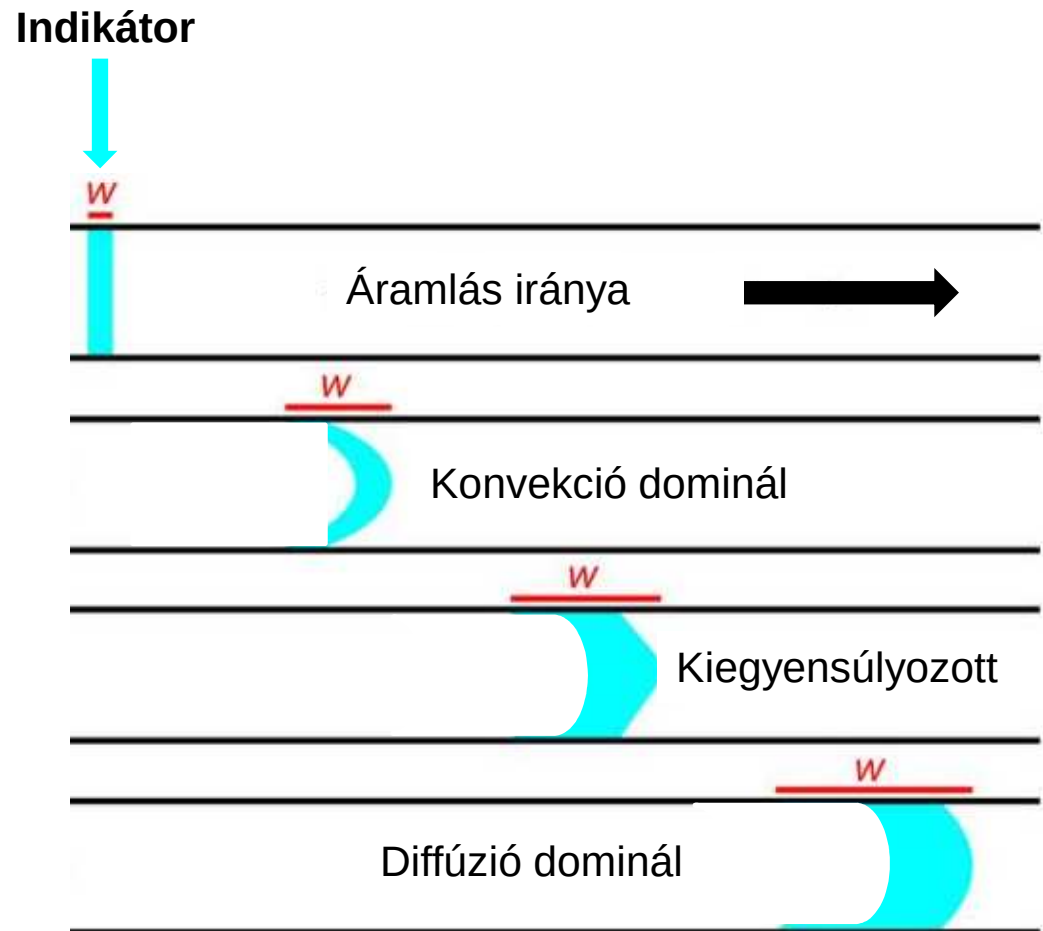
Indikátor



II. szakasz meredeksége: S_{II}

Fiziológiásan függ:

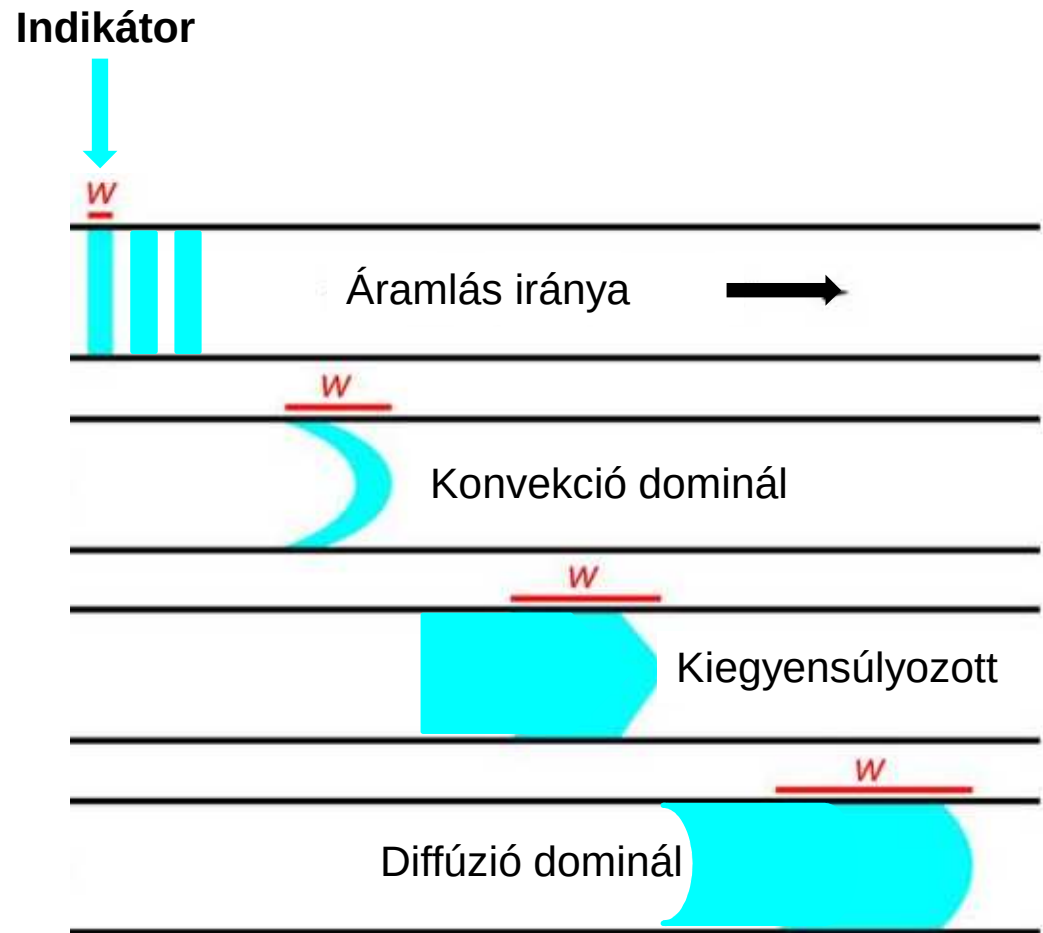
- Broncho-alveoláris gázfront axiális szélességétől
- Koncentráció-grádienstől
- Áramlási időtől
(Maximális kilégzési áramlástól)



II. szakasz meredeksége: S_{II}

Fiziológiásan függ:

- Broncho-alveoláris gázfront axiális szélességétől
 - Koncentráció-grádienstől
 - Áramlási időtől
(Maximális kilégzési áramlástól)
- Fiziológias ventilációs heterogenitástól
(→ nem egyszerre indul minden alveolus ürülése)



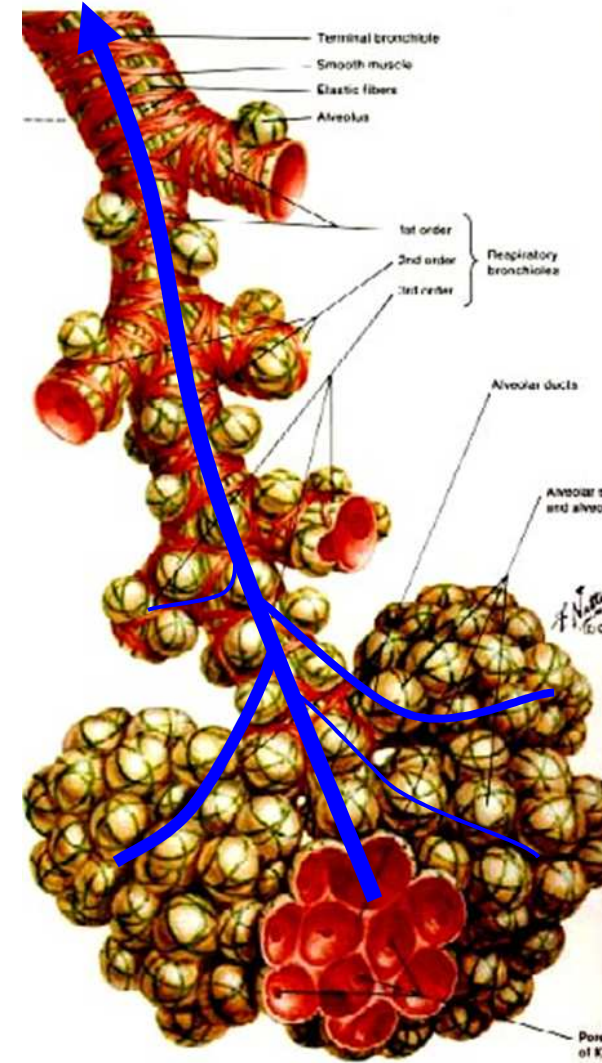
Tengelyirányú keveredés mértéke (w)

II. szakasz meredeksége: S_{II}

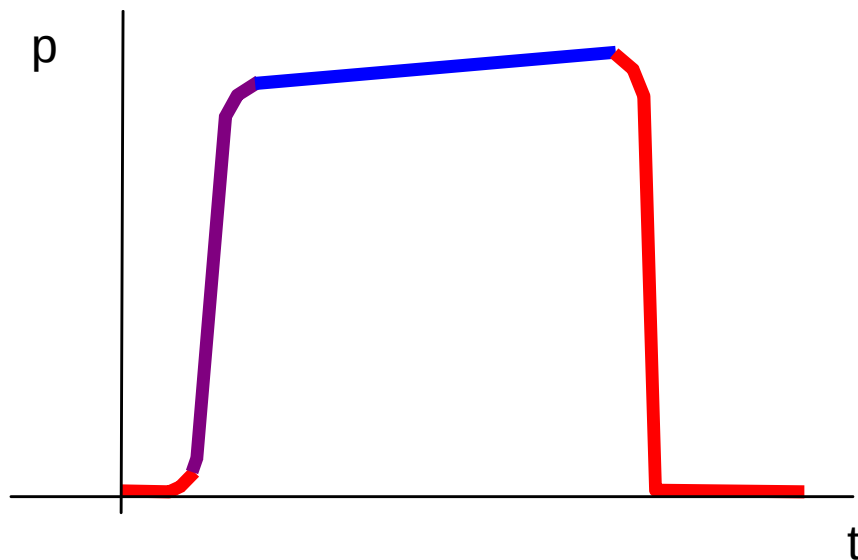
Kóros körülmények közt:

Gázfrontot szélesít:

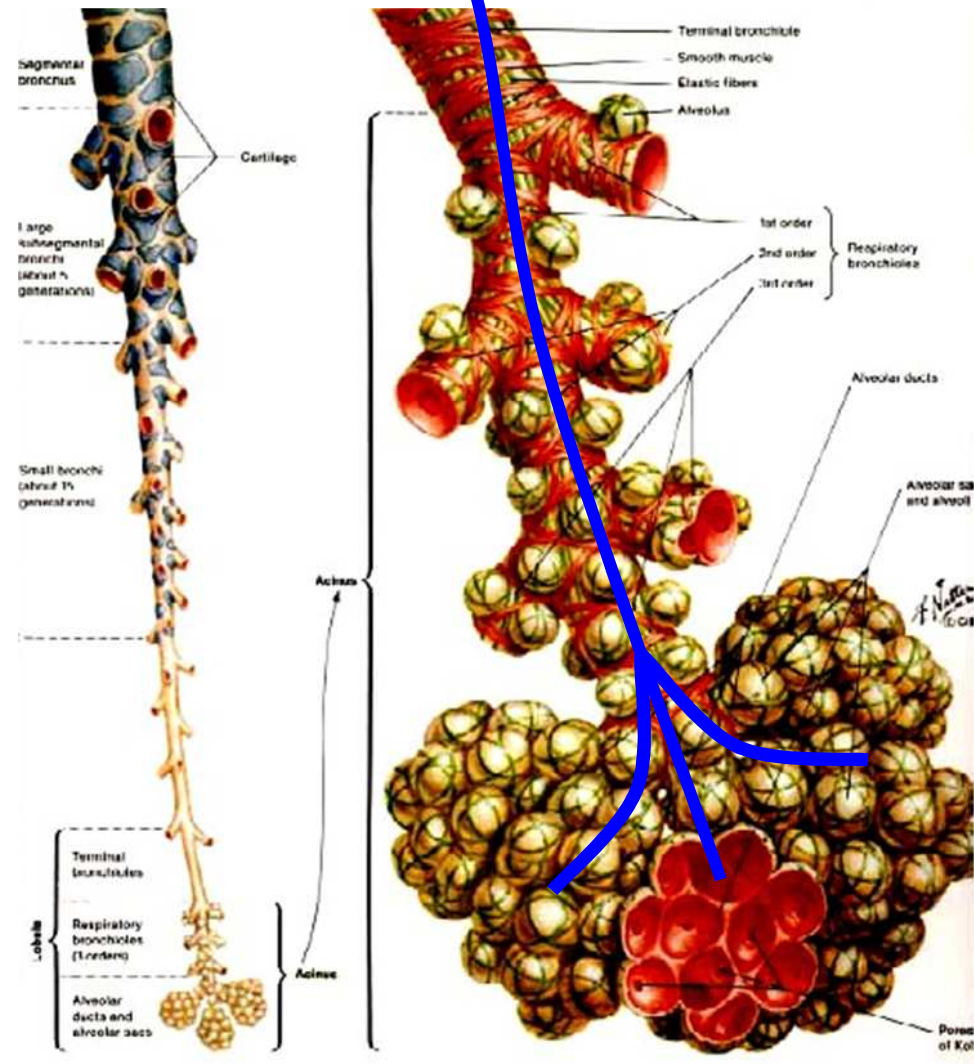
- Megnyúlt áramlási idő $\approx$ lelassul a maximális kilégzési áramlás
 - compliance csökkenése
 - légúti rezisztencia növekedése
- Ventillációs heterogenitás növekedése $\approx$ nem egyszerre indul az alveolusok ürülése



III. szakasz



III. Alveoláris tér ürülése

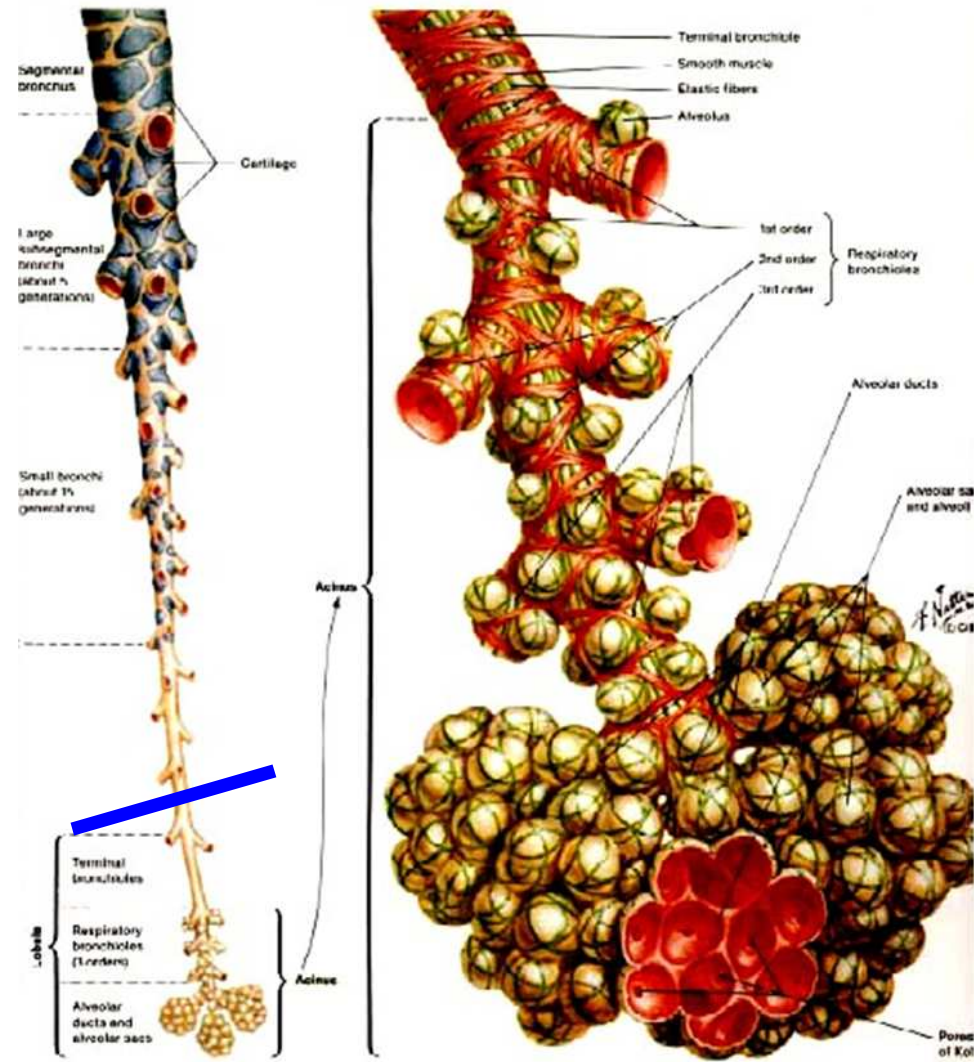


III. szakasz meredeksége: S_{III}

Fiziológiásan

1. Interakció a diffúziós és a konvektív gáztranszport között

Dubois AB J Appl Physiol 4:535-548, 1952.
Crawford ABH J Appl Physiol 59:838-846, 1985.

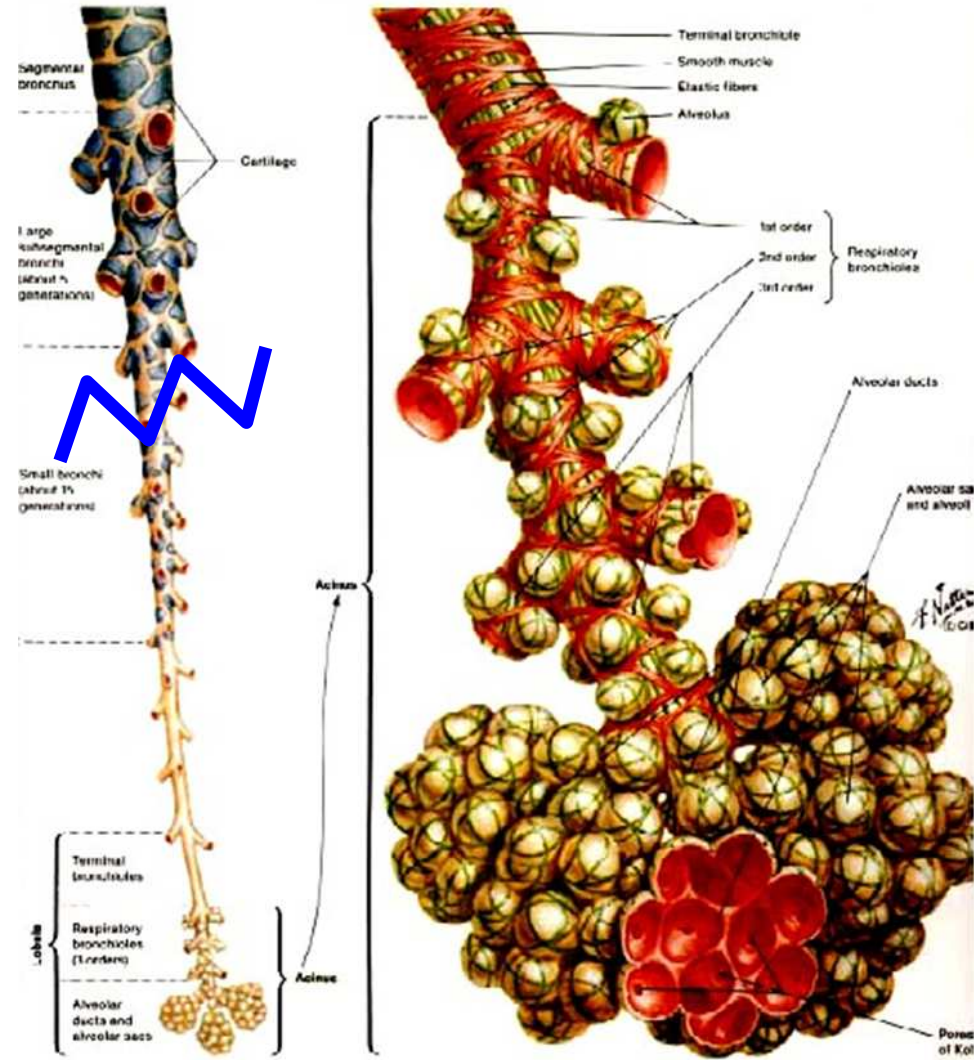


III. szakasz meredeksége: S_{III}

Fiziológiásan

1. Interakció a diffúziós és a konvektív gáztranszport között

Dubois AB J Appl Physiol 4:535-548, 1952.
Crawford ABH J Appl Physiol 59:838-846, 1985.

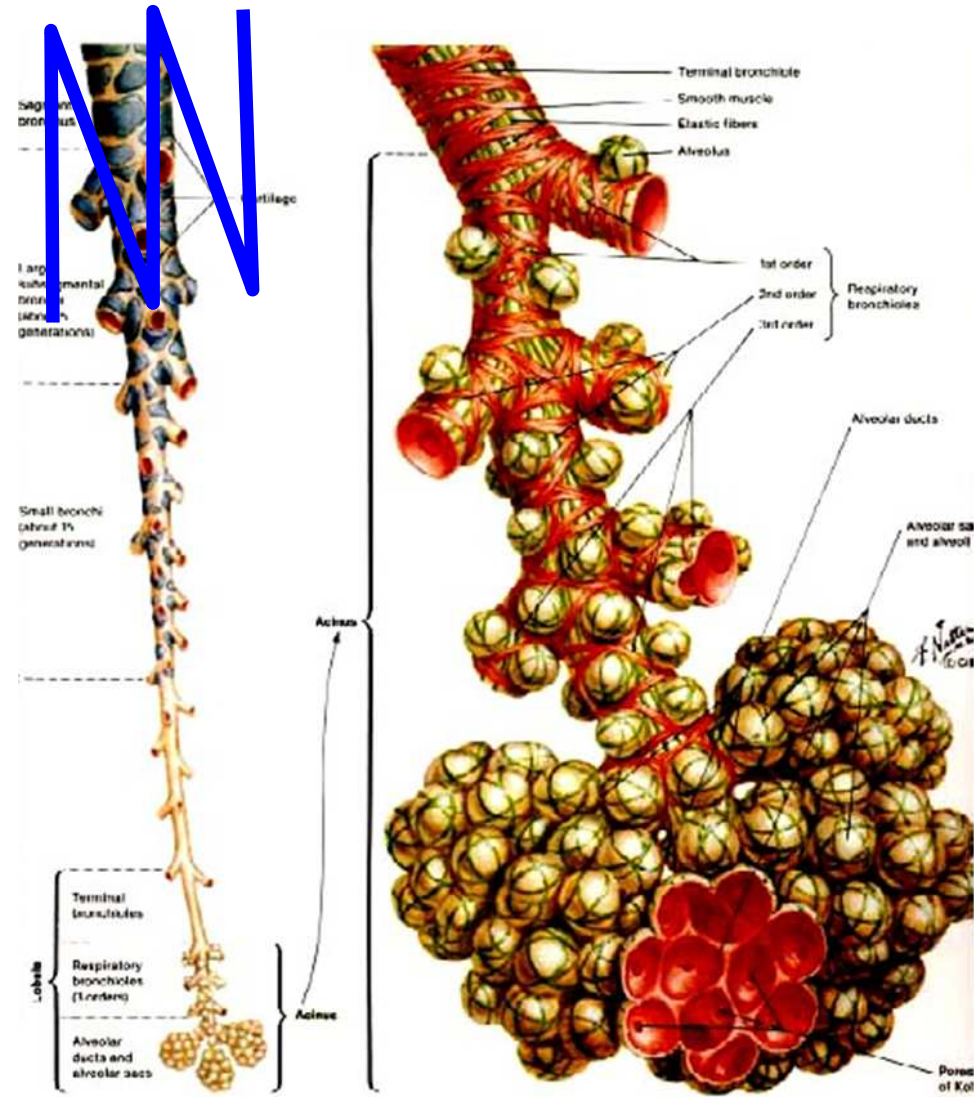


III. szakasz meredeksége: S_{III}

Fiziológiásan

1. Interakció a diffúziós és a konvektív gáztranszport között

Dubois AB J Appl Physiol 4:535-548, 1952.
Crawford ABH J Appl Physiol 59:838-846, 1985.

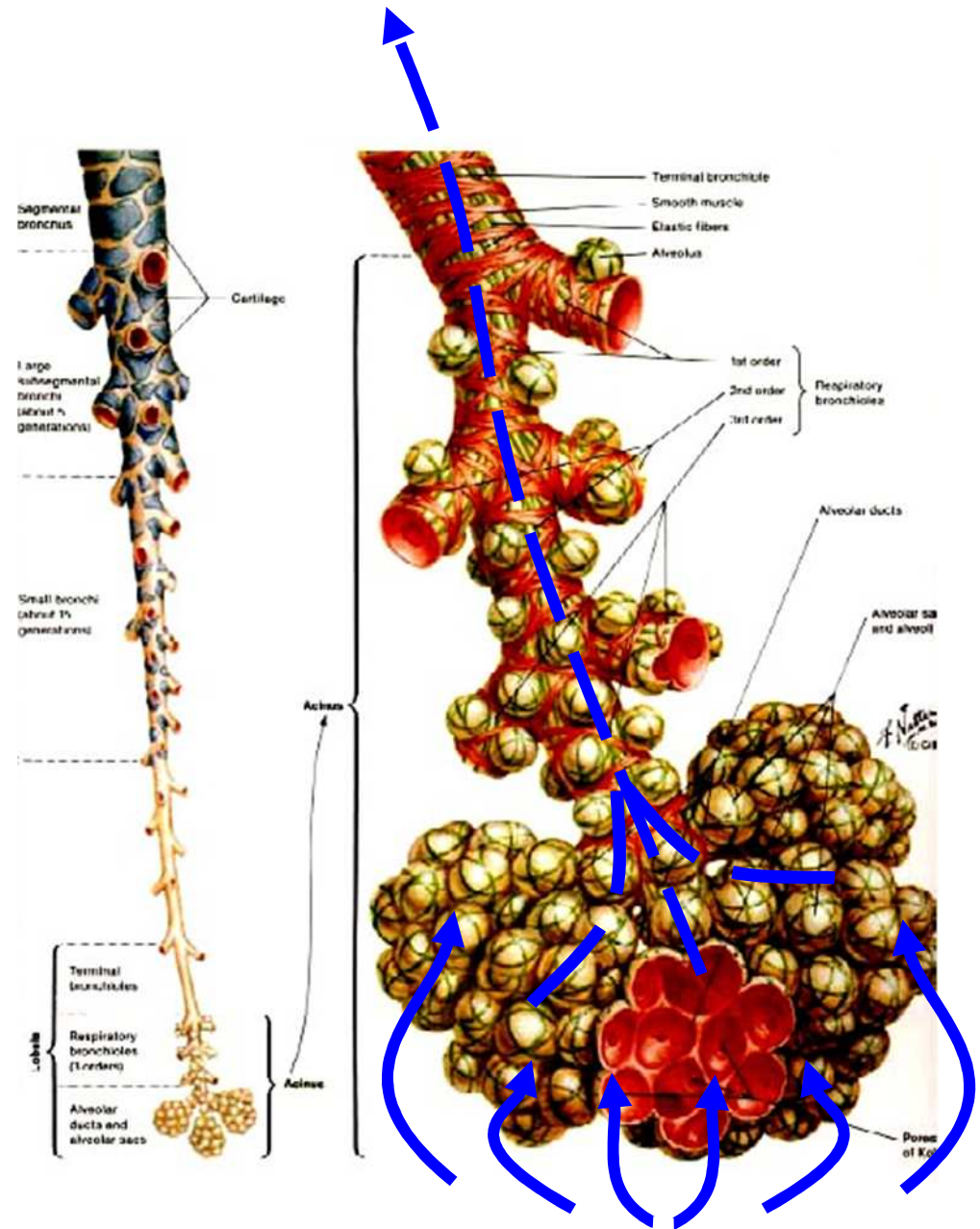


III. szakasz meredeksége: S_{III}

Fiziológiásan

2. A légzés periodikus, a keringés folyamatos

Dubois AB J Appl Physiol 4:535-548, 1952.
Crawford ABH J Appl Physiol 59:838-846, 1985.



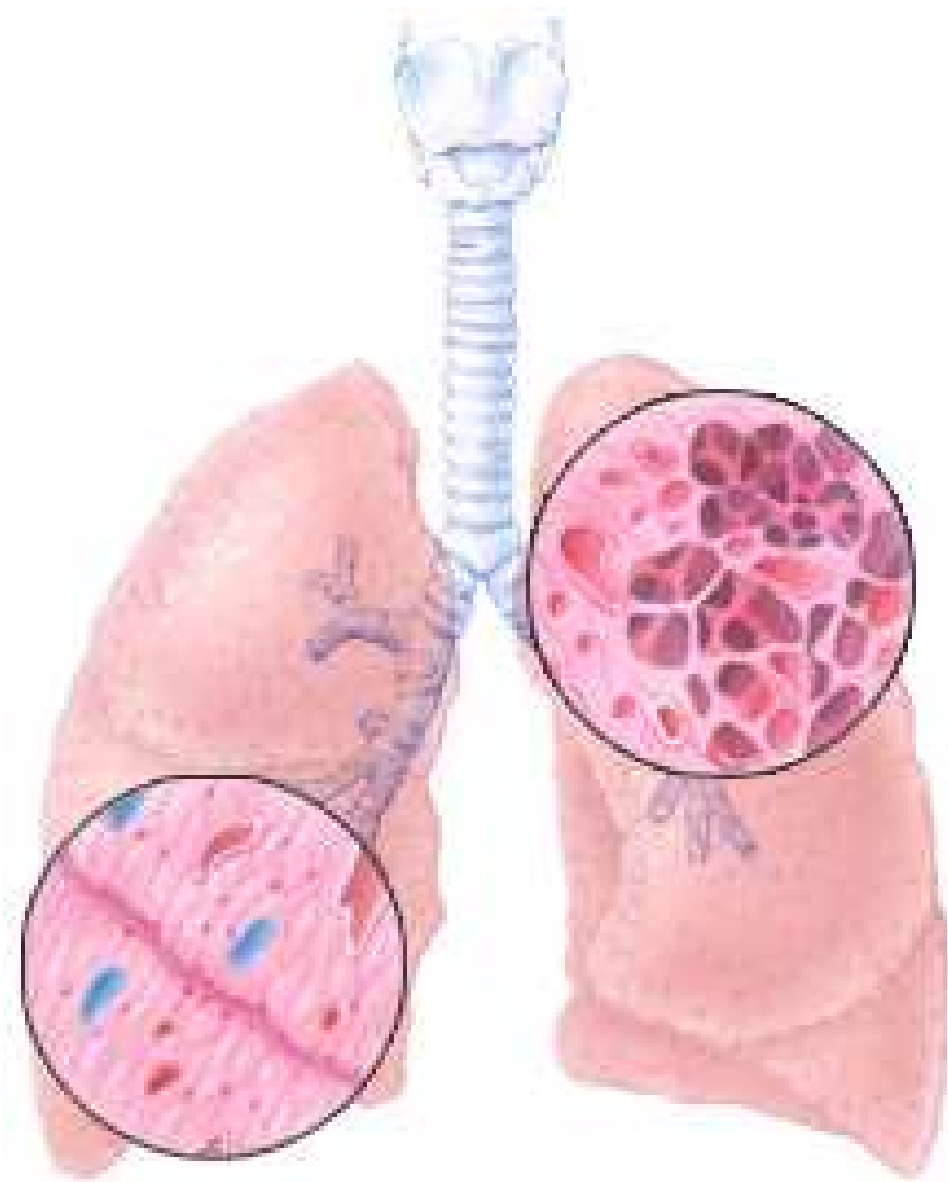
III. szakasz meredeksége: S_{III}

Kóros körülmények között

- A légúti rezisztív tulajdonságok
 - Az alveolusok szekvenciális ürülése

„soros inhomogenitás”

- Strömberg NO. Pediatr Pulmonol 29:94-102, 2000.*
Krauss B. Anesth Analg 100:884-888, 2005.
Thompson JE. Respir Care 50:100-108, 2005.
Bhavani-Shankar K. Anesth Analg 91:973-977, 2000.
Kalenda Z. Mastering infrared capnography.
Kerckebosch-Zeist, 1989.
Tusman G. Anesth Analg 114:866-974, 2012.
Blanch L. Minerva Anesthesiologica 72:577-585, 2006.
Ortega R. N England J Med 367(19):e27. doi: 10.1056/NEJMvcm 11005237, 2012.
Walsh BK. Respir Care 56:503-509, 2011.



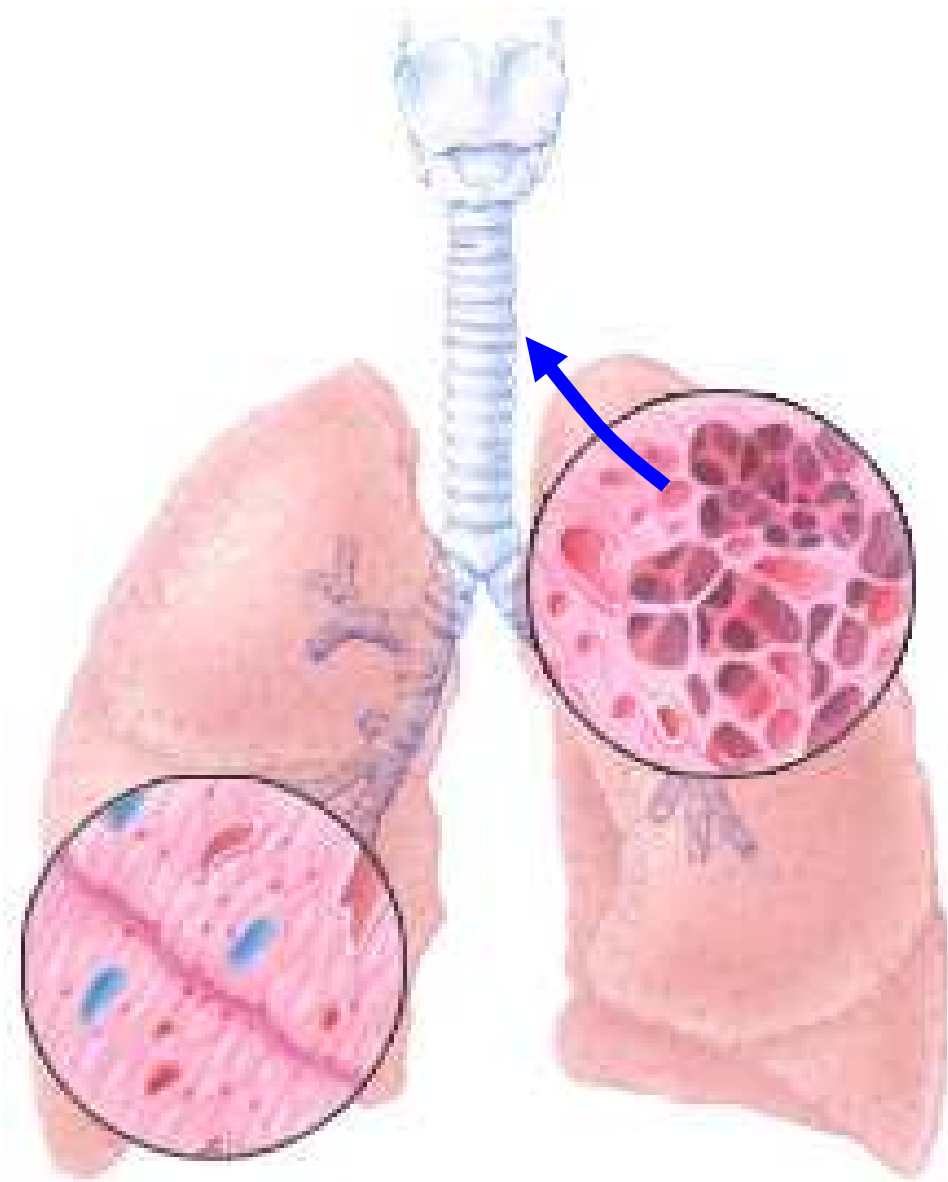
III. szakasz meredeksége: S_{III}

Kóros körülmények között

- A légúti rezisztív tulajdonságok
 - Az alveolusok szekvenciális ürülése

„soros inhomogenitás”

- Strömberg NO. Pediatr Pulmonol 29:94-102, 2000.*
Krauss B. Anesth Analg 100:884-888, 2005.
Thompson JE. Respir Care 50:100-108, 2005.
Bhavani-Shankar K. Anesth Analg 91:973-977, 2000.
Kalenda Z. Mastering infrared capnography.
Kerckebosch-Zeist, 1989.
Tusman G. Anesth Analg 114:866-974, 2012.
Blanch L. Minerva Anesthesiologica 72:577-585, 2006.
Ortega R. N England J Med 367(19):e27. doi: 10.1056/NEJMvcm 11005237, 2012.
Walsh BK. Respir Care 56:503-509, 2011.



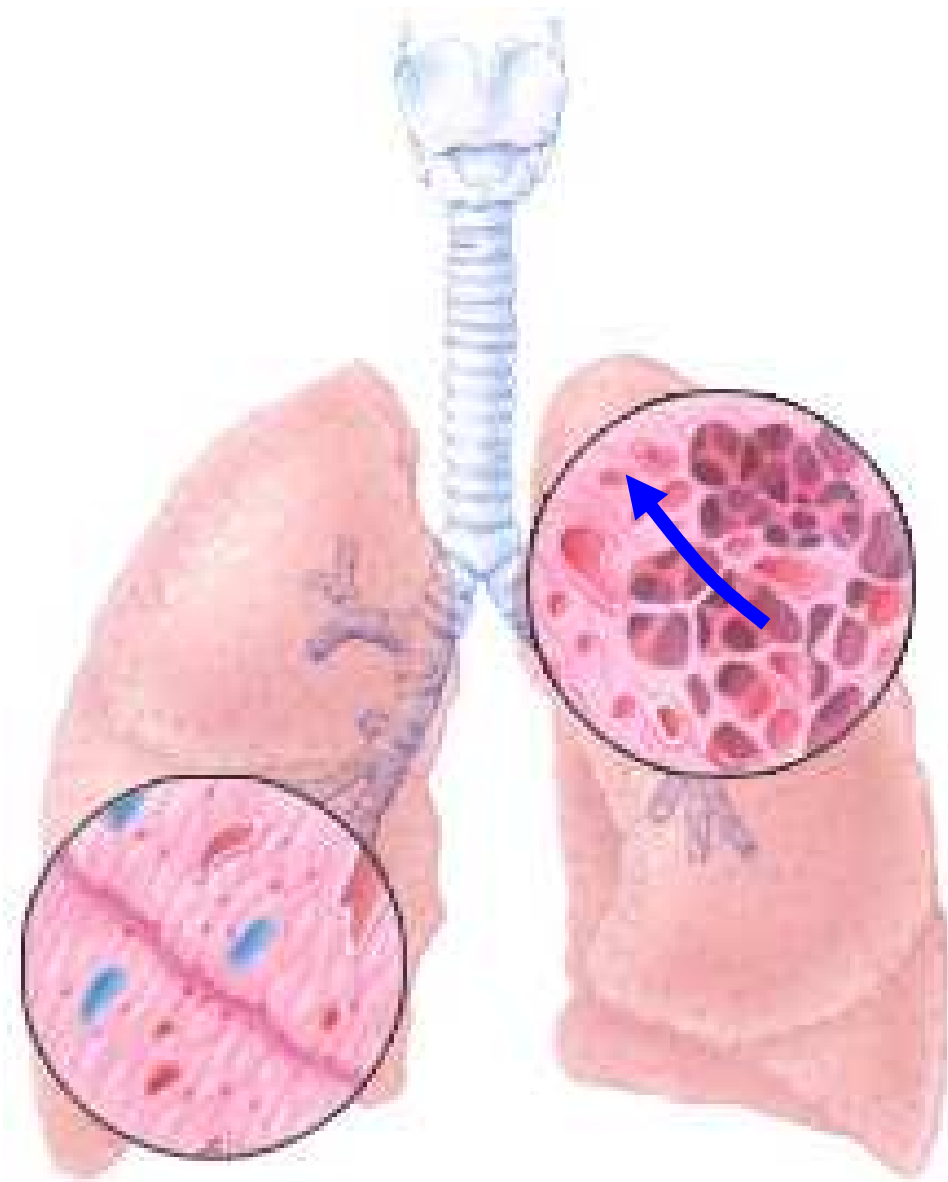
III. szakasz meredeksége: S_{III}

Kóros körülmények között

- A légúti rezisztív tulajdonságok
 - Az alveolusok szekvenciális ürülése

„soros inhomogenitás”

- Strömberg NO. Pediatr Pulmonol 29:94-102, 2000.*
Krauss B. Anesth Analg 100:884-888, 2005.
Thompson JE. Respir Care 50:100-108, 2005.
Bhavani-Shankar K. Anesth Analg 91:973-977, 2000.
Kalenda Z. Mastering infrared capnography.
Kerckebosch-Zeist, 1989.
Tusman G. Anesth Analg 114:866-974, 2012.
Blanch L. Minerva Anesthesiologica 72:577-585, 2006.
Ortega R. N England J Med 367(19):e27. doi: 10.1056/NEJMvcm 11005237, 2012.
Walsh BK. Respir Care 56:503–509, 2011.



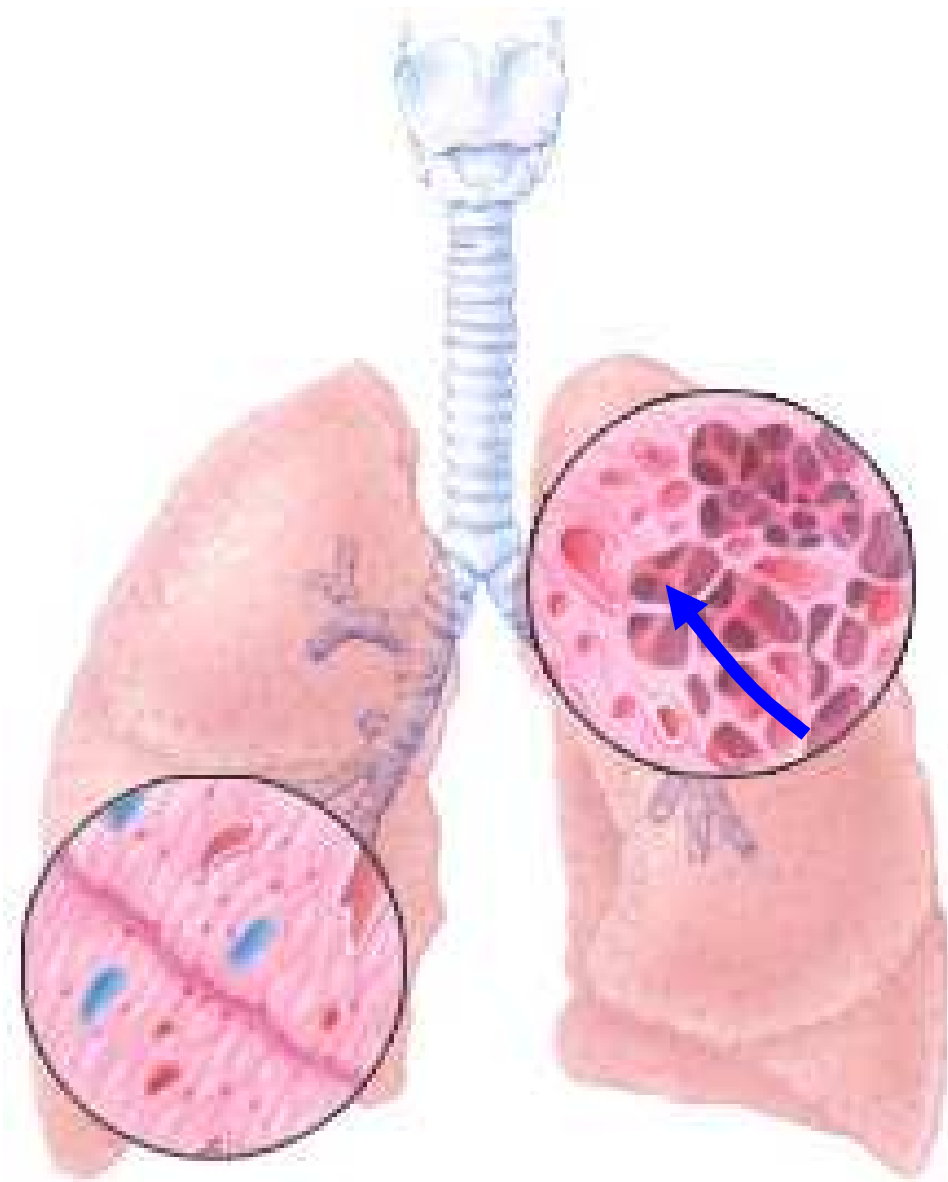
III. szakasz meredeksége: S_{III}

Kóros körülmények között

- A légúti rezisztív tulajdonságok
 - Az alveolusok szekvenciális ürülése

„soros inhomogenitás”

- Strömberg NO. Pediatr Pulmonol 29:94-102, 2000.*
Krauss B. Anesth Analg 100:884-888, 2005.
Thompson JE. Respir Care 50:100-108, 2005.
Bhavani-Shankar K. Anesth Analg 91:973-977, 2000.
Kalenda Z. Mastering infrared capnography.
Kerckebosch-Zeist, 1989.
Tusman G. Anesth Analg 114:866-974, 2012.
Blanch L. Minerva Anesthesiologica 72:577-585, 2006.
Ortega R. N England J Med 367(19):e27. doi: 10.1056/NEJMvcm 11005237, 2012.
Walsh BK. Respir Care 56:503–509, 2011.



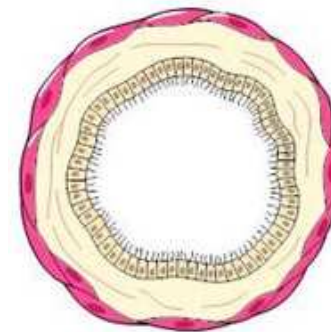
III. szakasz meredeksége: S_{III}

Kóros körülmények között

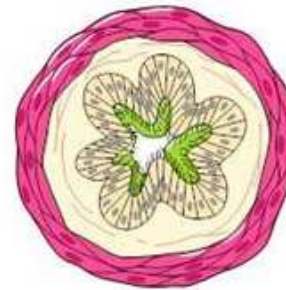
- A légúti rezisztív tulajdonságok
 - A jobban ventillált régiók a kilégzés korábbi fázisához járulnak hozzá, a rosszabbak a későbbi szakaszhoz

„párhuzamos inhomogenitás”

- Strömberg NO. *Pediatr Pulmonol* 29:94-102, 2000.
Krauss B. *Anesth Analg* 100:884-888, 2005.
Thompson JE. *Respir Care* 50:100-108, 2005.
Bhavani-Shankar K. *Anesth Analg* 91:973-977, 2000.
Kalenda Z. *Mastering infrared capnography*.
Kerckebosch-Zeist, 1989.
Tusman G. *Anesth Analg* 114:866-974, 2012.
Blanch L. *Minerva Anesthesiologica* 72:577-585, 2006.
Ortega R. *N Engl J Med* 367(19):e27. doi:
10.1056/NEJMvcm 11005237, 2012.
Walsh BK. *Respir Care* 56:503–509, 2011.

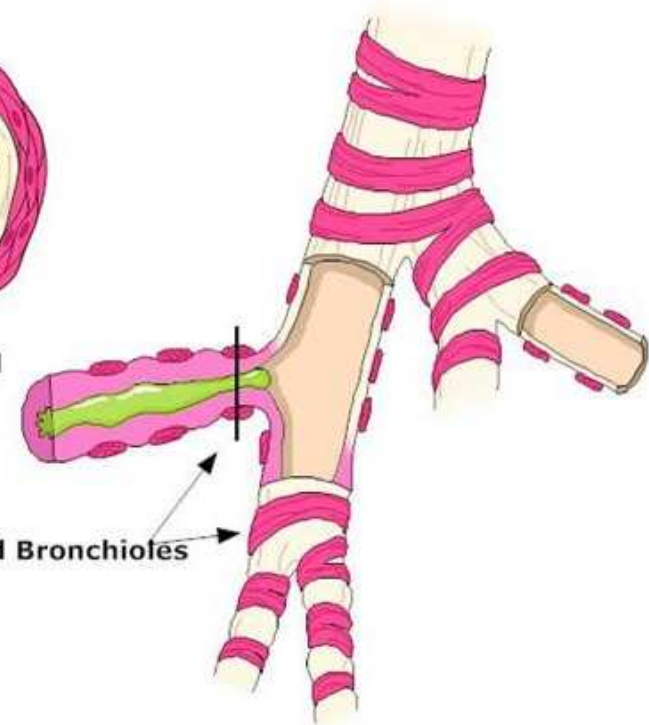


normal



constricted

Drawing of bronchus showing constricted bronchioles due to asthma.



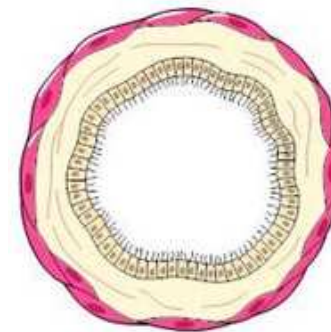
III. szakasz meredeksége: S_{III}

Kóros körülmények között

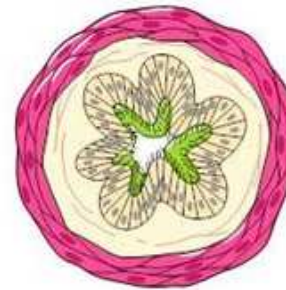
- A légúti rezisztív tulajdonságok
 - A jobban ventillált régiók a kilégzés korábbi fázisához járulnak hozzá, a rosszabbak a későbbi szakaszhoz

„párhuzamos inhomogenitás”

- Strömberg NO. *Pediatr Pulmonol* 29:94-102, 2000.
Krauss B. *Anesth Analg* 100:884-888, 2005.
Thompson JE. *Respir Care* 50:100-108, 2005.
Bhavani-Shankar K. *Anesth Analg* 91:973-977, 2000.
Kalenda Z. *Mastering infrared capnography*.
Kerckebosch-Zeist, 1989.
Tusman G. *Anesth Analg* 114:866-974, 2012.
Blanch L. *Minerva Anesthesiologica* 72:577-585, 2006.
Ortega R. *N Engl J Med* 367(19):e27. doi:
10.1056/NEJMvcm 11005237, 2012.
Walsh BK. *Respir Care* 56:503–509, 2011.

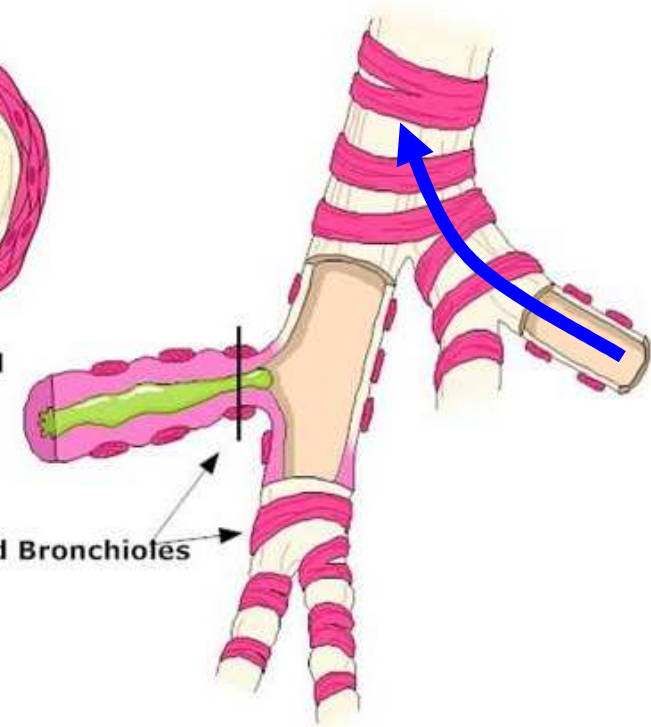


normal



constricted

Drawing of bronchus showing constricted bronchioles due to asthma.



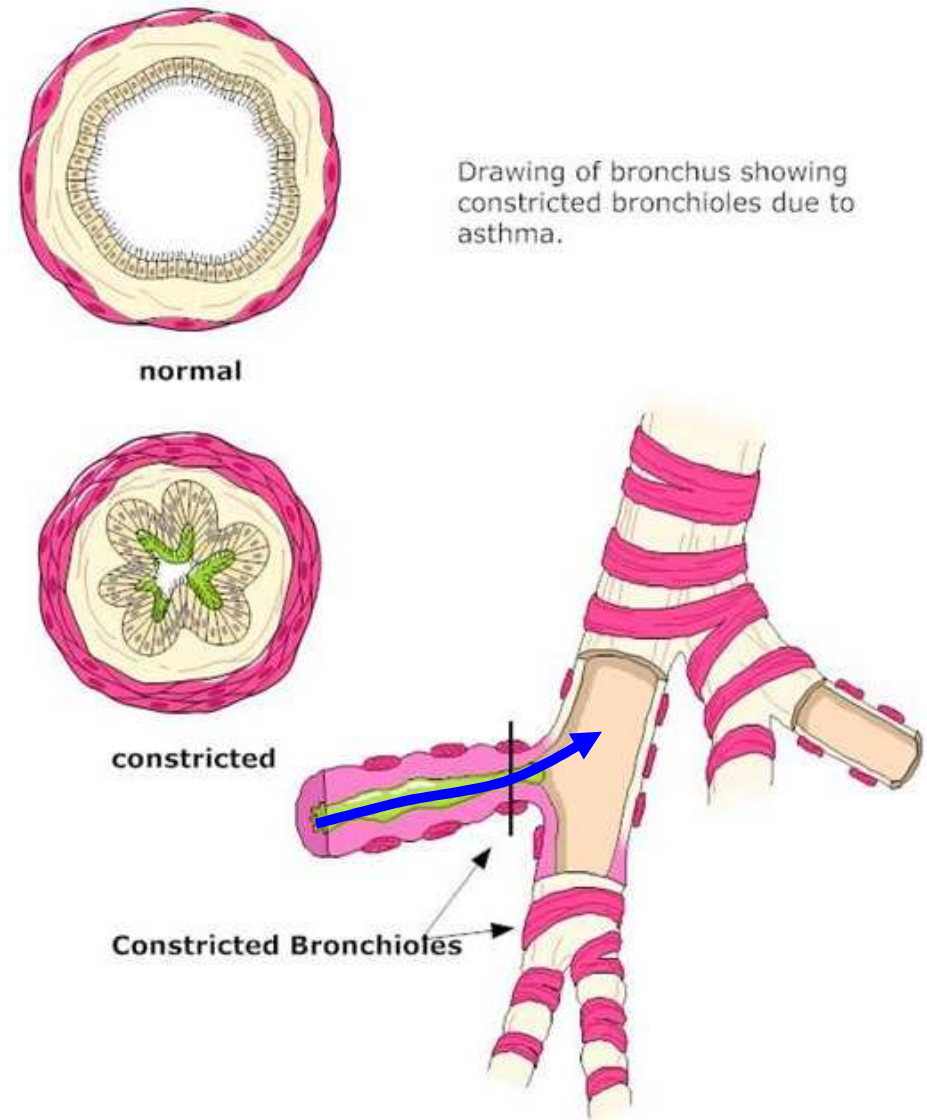
III. szakasz meredeksége: S_{III}

Kóros körülmények között

- A légúti rezisztív tulajdonságok
 - A jobban ventillált régiók a kilégzés korábbi fázisához járulnak hozzá, a rosszabbak a későbbi szakaszhoz

„párhuzamos inhomogenitás”

- Strömberg NO. *Pediatr Pulmonol* 29:94-102, 2000.
Krauss B. *Anesth Analg* 100:884-888, 2005.
Thompson JE. *Respir Care* 50:100-108, 2005.
Bhavani-Shankar K. *Anesth Analg* 91:973-977, 2000.
Kalenda Z. *Mastering infrared capnography*.
Kerckebosch-Zeist, 1989.
Tusman G. *Anesth Analg* 114:866-974, 2012.
Blanch L. *Minerva Anesthesiologica* 72:577-585, 2006.
Ortega R. *N Engl J Med* 367(19):e27. doi:
10.1056/NEJMvcm 11005237, 2012.
Walsh BK. *Respir Care* 56:503–509, 2011.

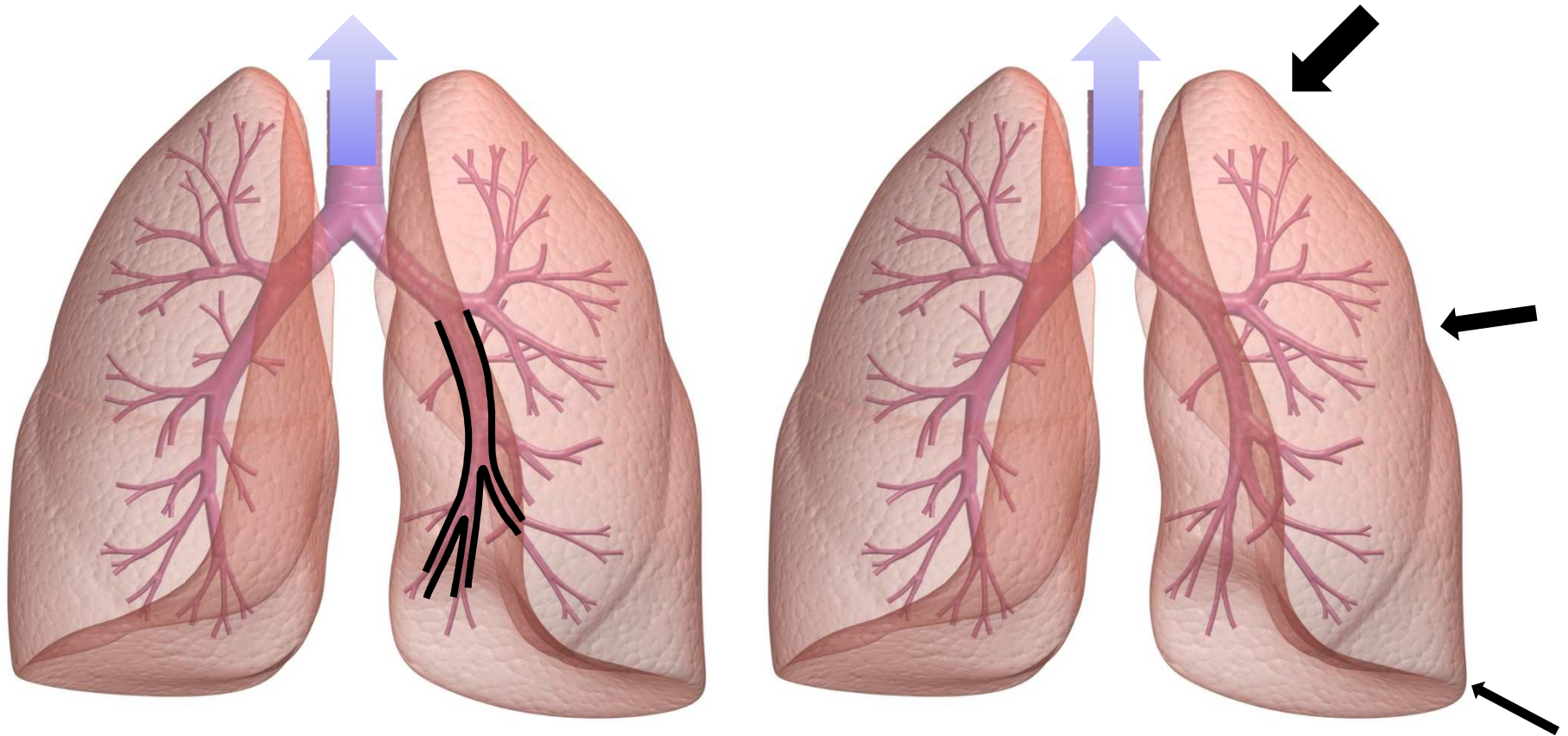




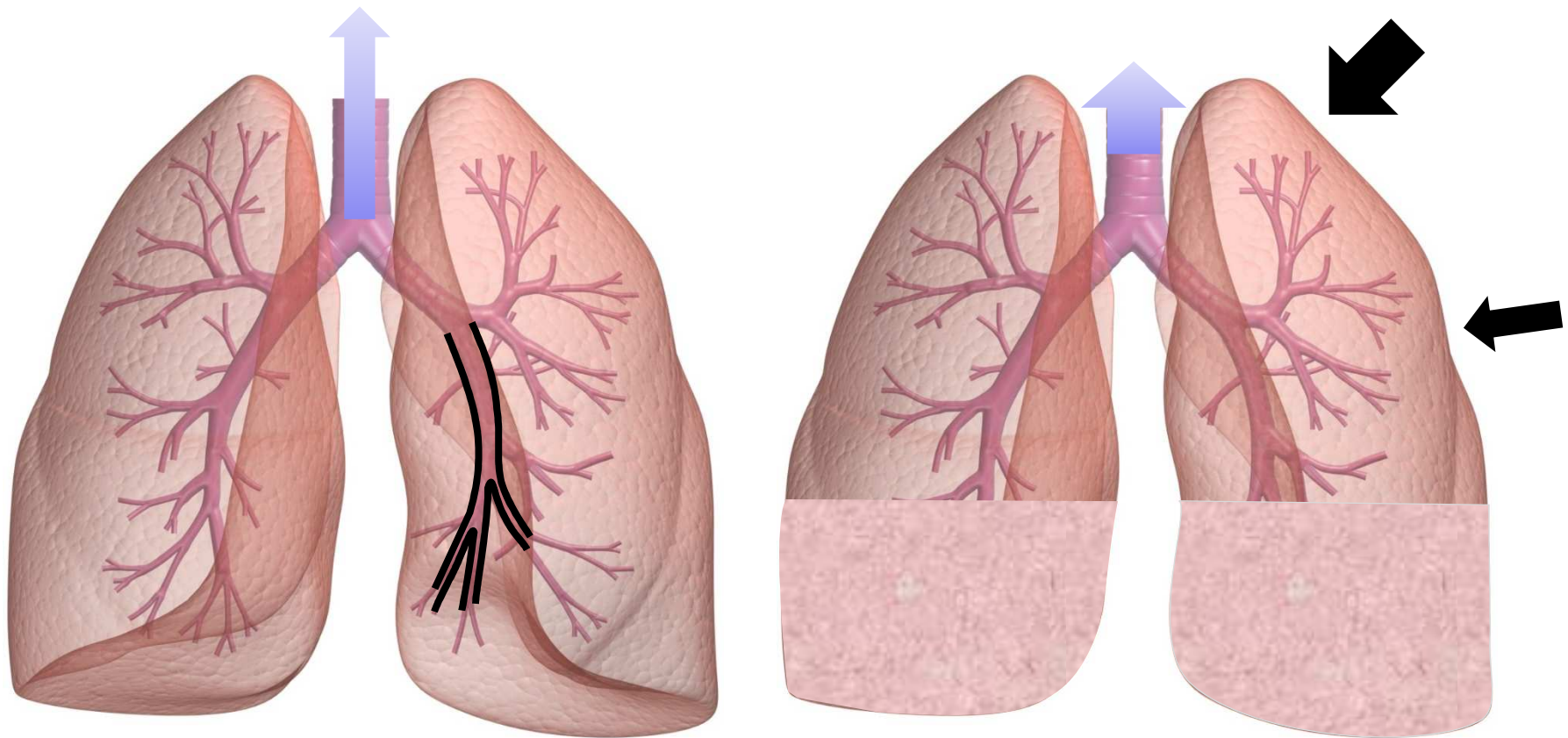
Hatással vannak-e
légzőrendszer/tüdő

- rezisztív és
 - elasztikus tulajdonságai
- a kapmogramra és az abból
származtatható
paraméterekre?

Fiziológias körülmények között



Kóros állapotokban



Tanulmány 2. Légzőrendszeri mechanika – SS kapnográfia

Cél

A kapcsolat feltérképezése:

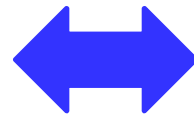
A tCap és Vcap

Fázisainak

Alakjának

Holttér-

Intrapulmonális shunt paraméterei



Légúti és szöveti mechanika

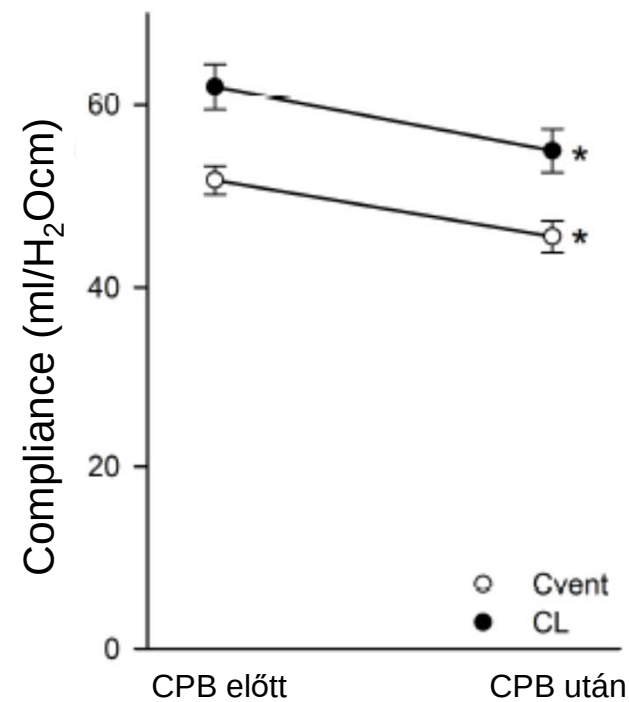
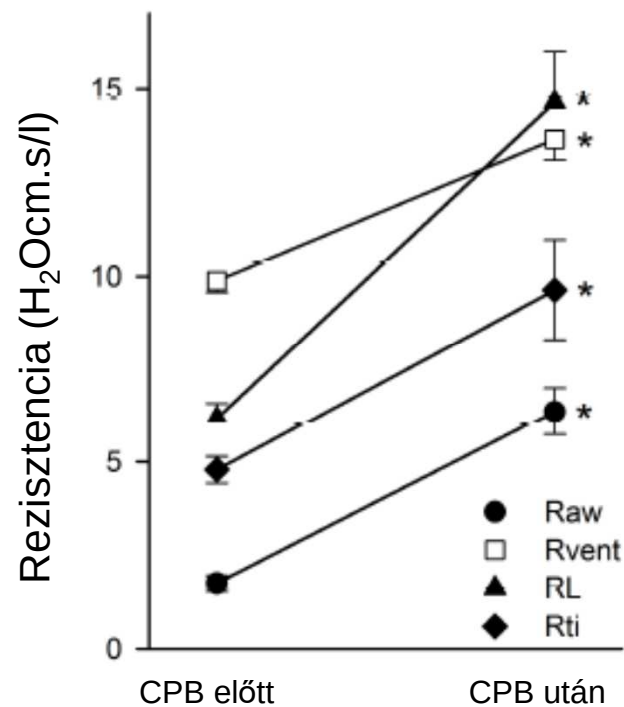
Kilégzési áramlás

Gázcsere

Eredmények:

CPB után

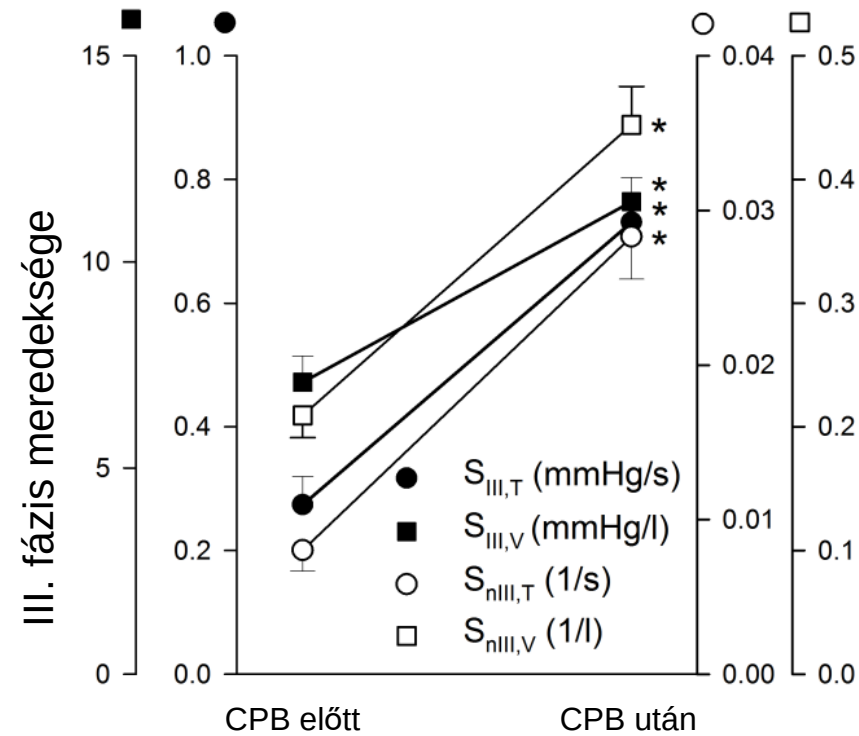
- **Minden rezisztenciát jellemző paraméter nőtt:** Raw, Rti vagy kombinációjuk (R_{vent} és RL)
- **Compliance** oszcillometriás (CL) végkilégzési állapotban, vagy a respirátor által számolt (C_{vent}) végbelégzési állapotban nőtt



Eredmények:

CPB után

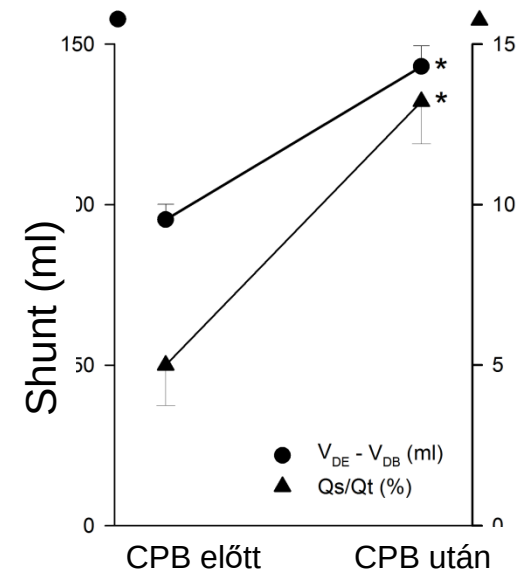
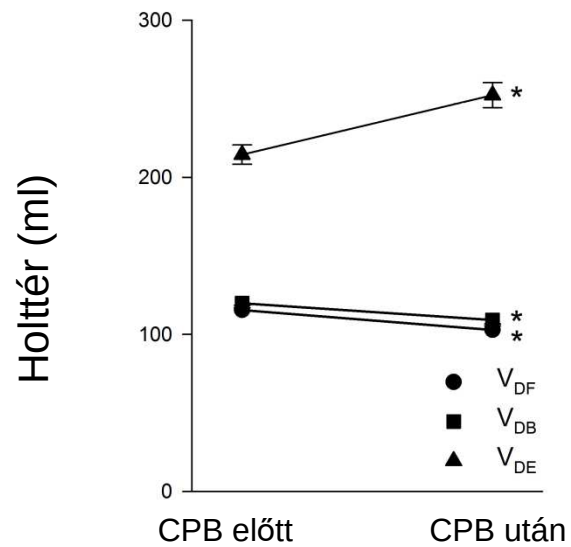
- S_{III} : Jelentős növekedés mind tCap mind Vcap során



Eredmények:

CPB után

- V_{DF} and V_{DB} : uniform csökkenés
- V_{DE} nőtt
- Shunt paraméterek a ventilációból ($V_{DE} - V_{DB}$) és perfúzióból (Q_s/Q_t) számolva egyaránt növekedtek



Eredmények:

CPB előtt

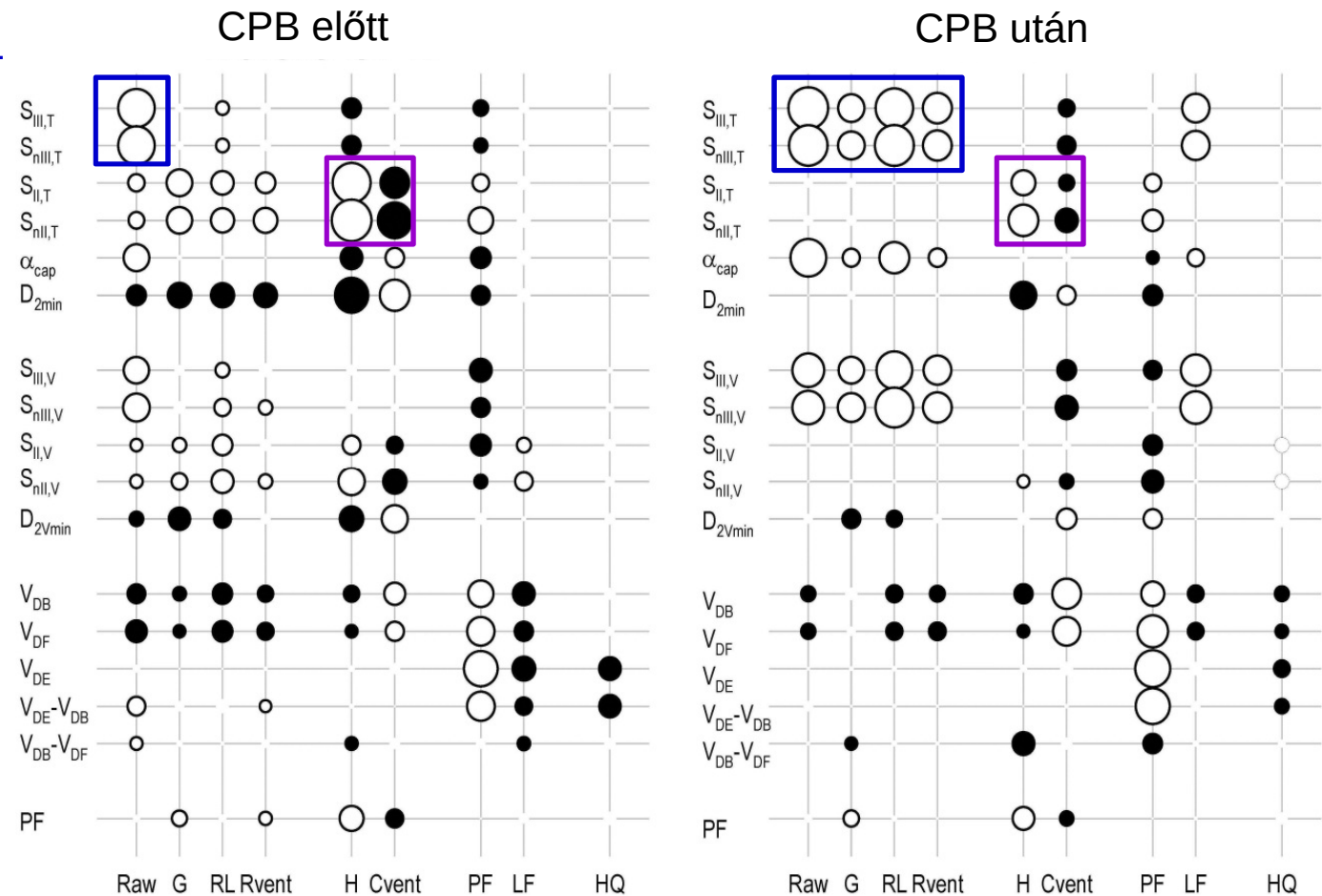
- Raw legjobban $S_{III,T}$ -mal korrelált

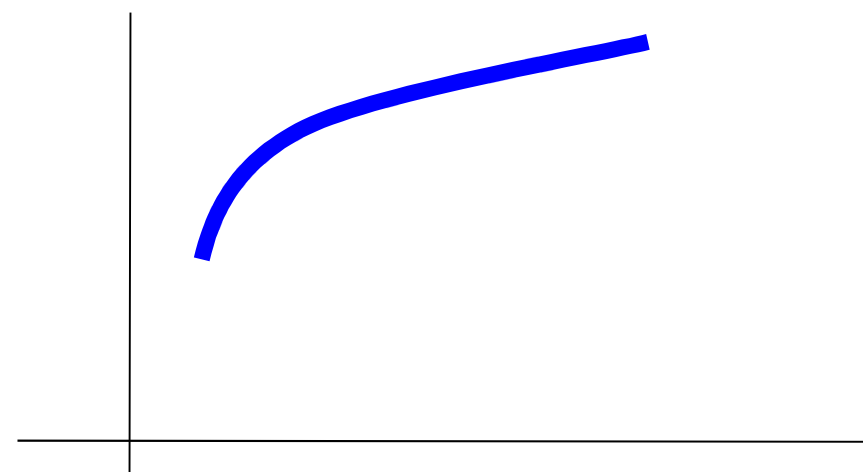
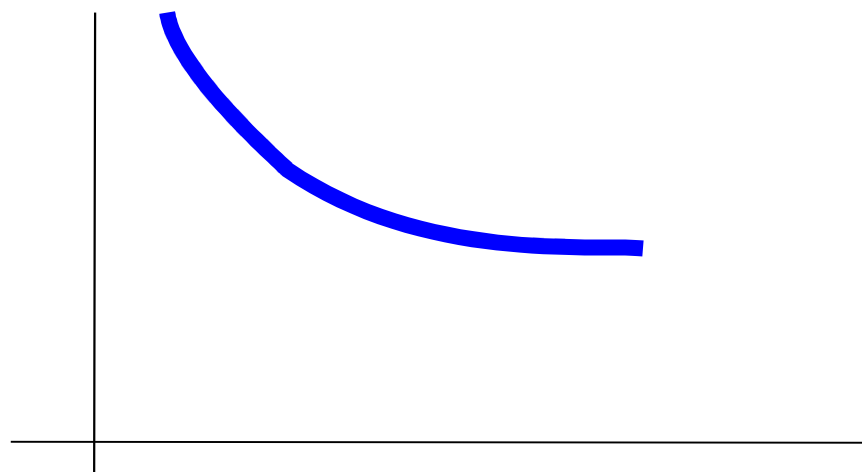
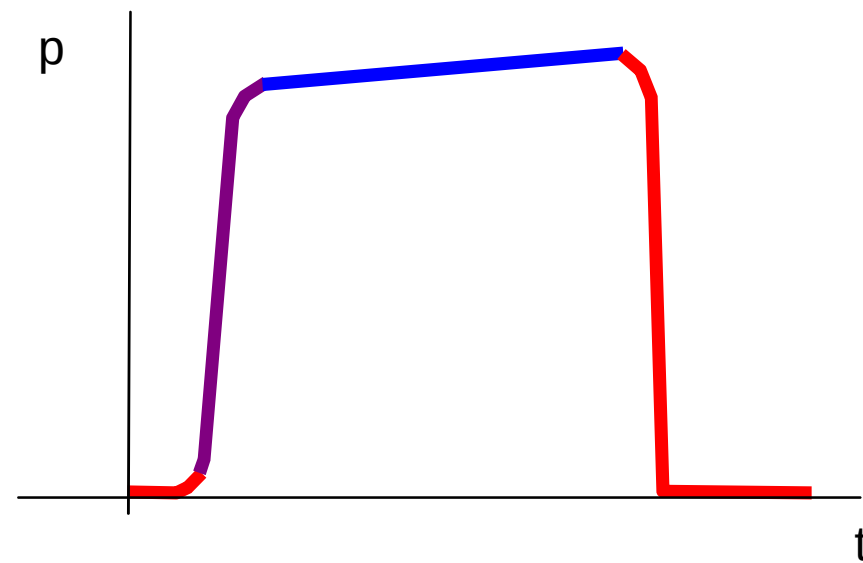
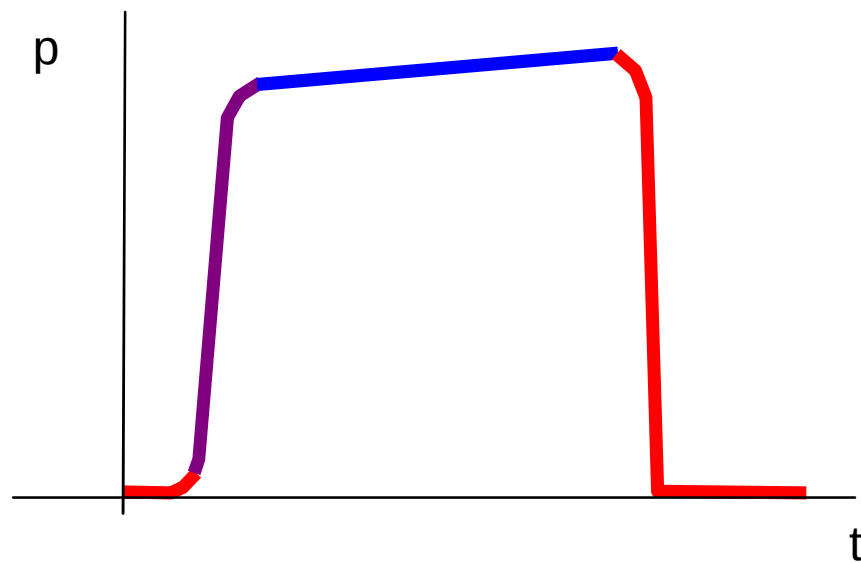
CPB után

- Minden ezisztív paraméter korrelált $S_{III,T}$ -mal

CPB előtt és után

- Tüdő szöveti elasticitás (H és C_{vent}) a legszorosabb korrelációt $S_{II,T}$ -vel mutatta



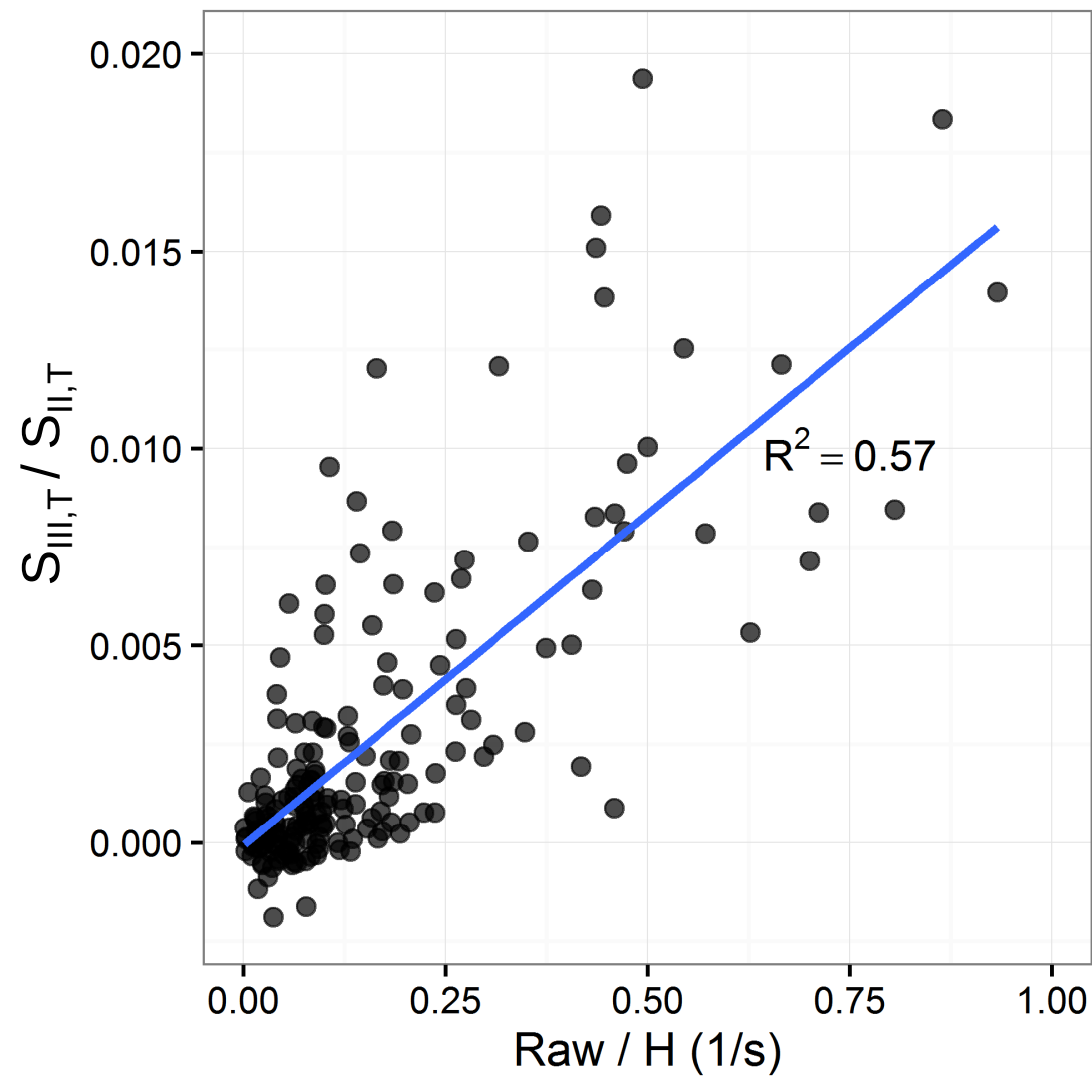


Elasztancia

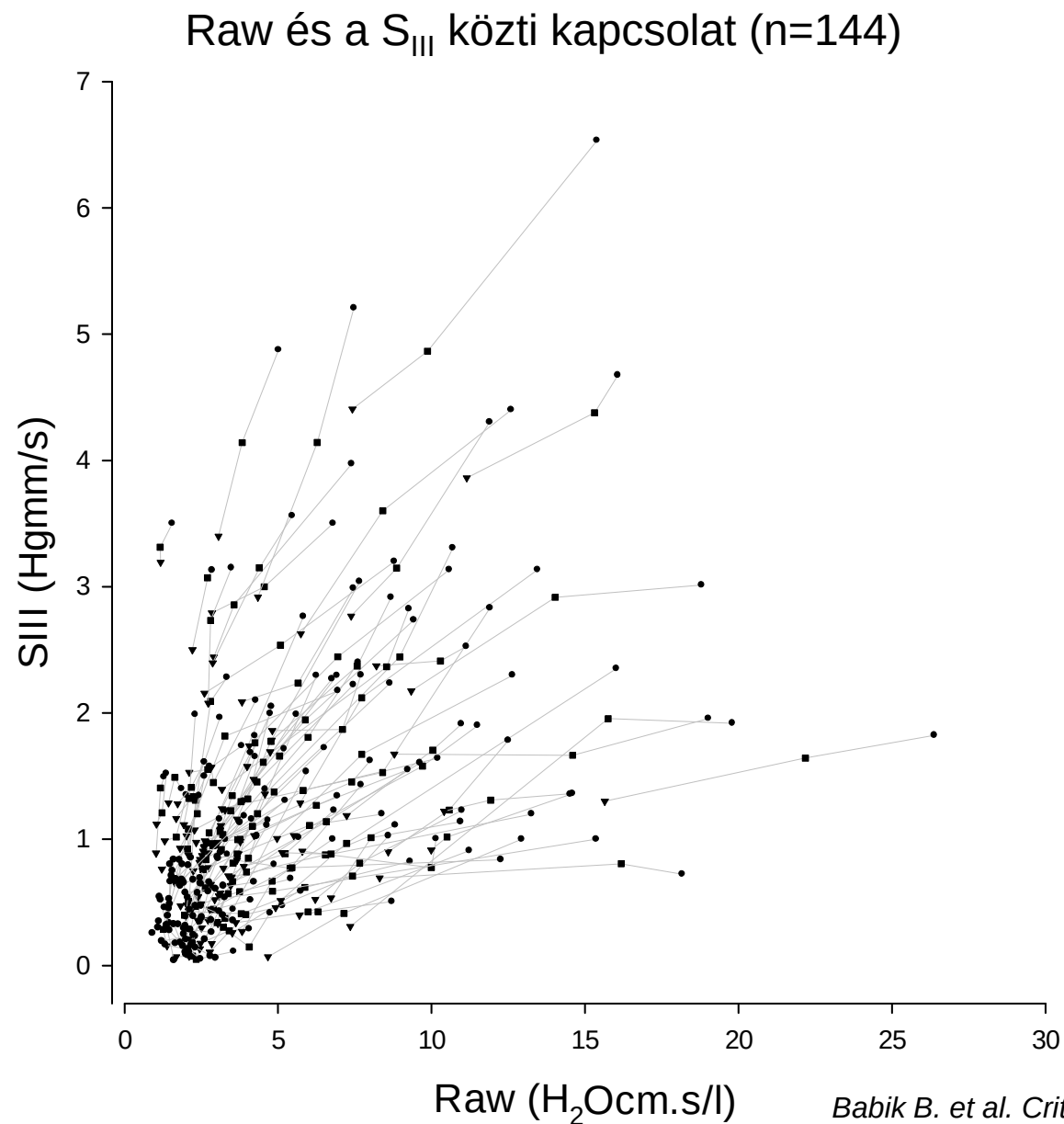
Rezisztancia

Eredmények:

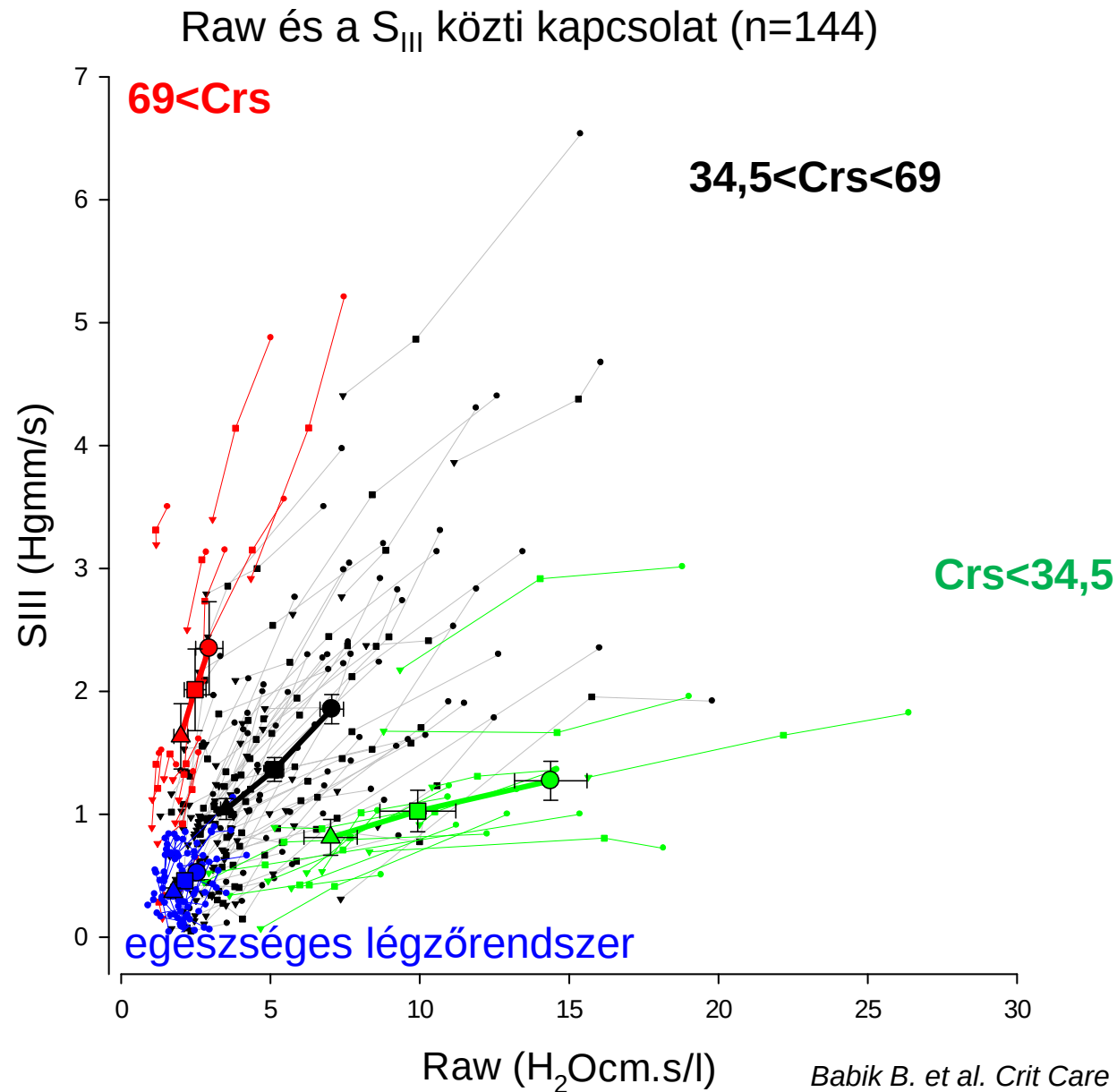
Korreláció az $S_{III,T} / S_{II,T}$ és Raw / H között



Tanulmány 3. S_{III} és légzőrendszeri mechanika II.



Tanulmány 3. S_{III} és légzőrendszeri mechanika II.



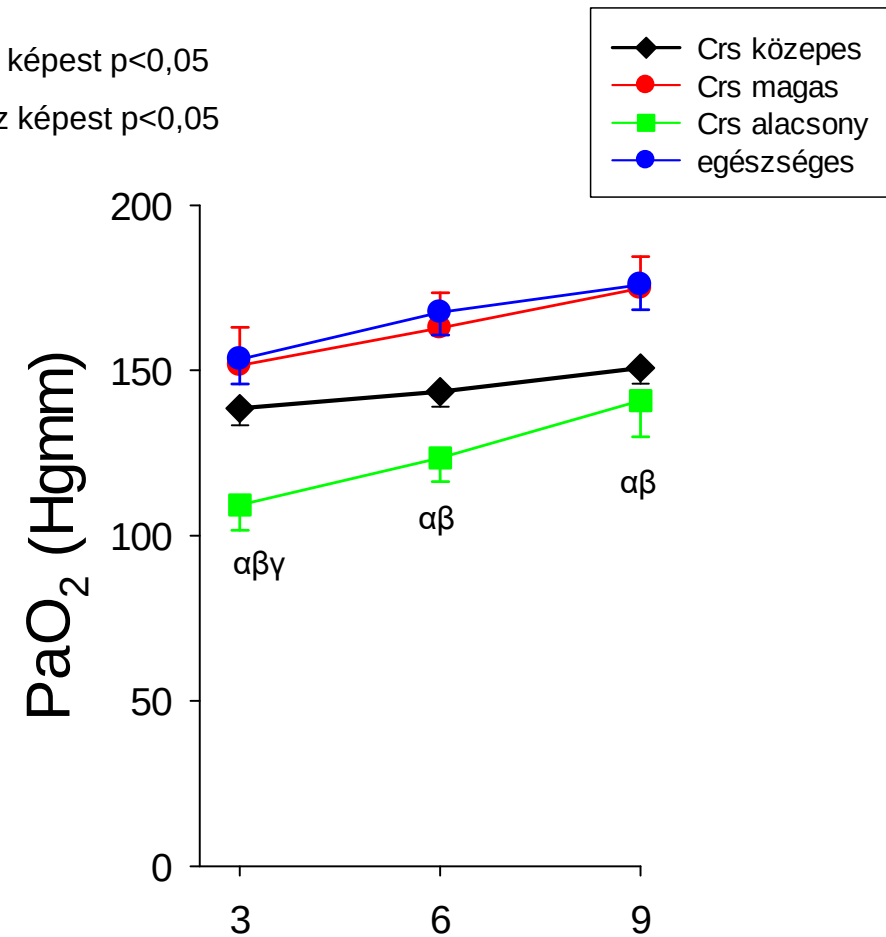
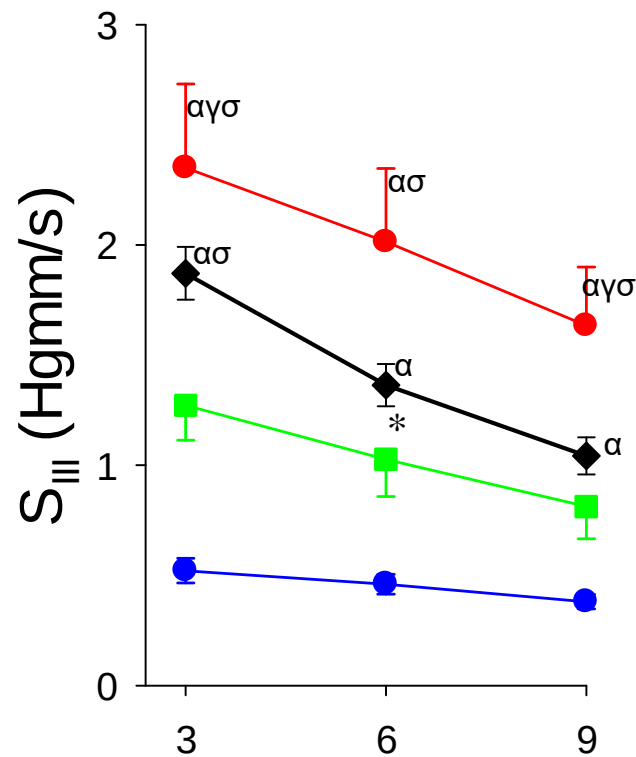
S_{III} és PaO_2 PEEP-függése Crs függvényében

α : egészségeshez képest $p < 0,05$

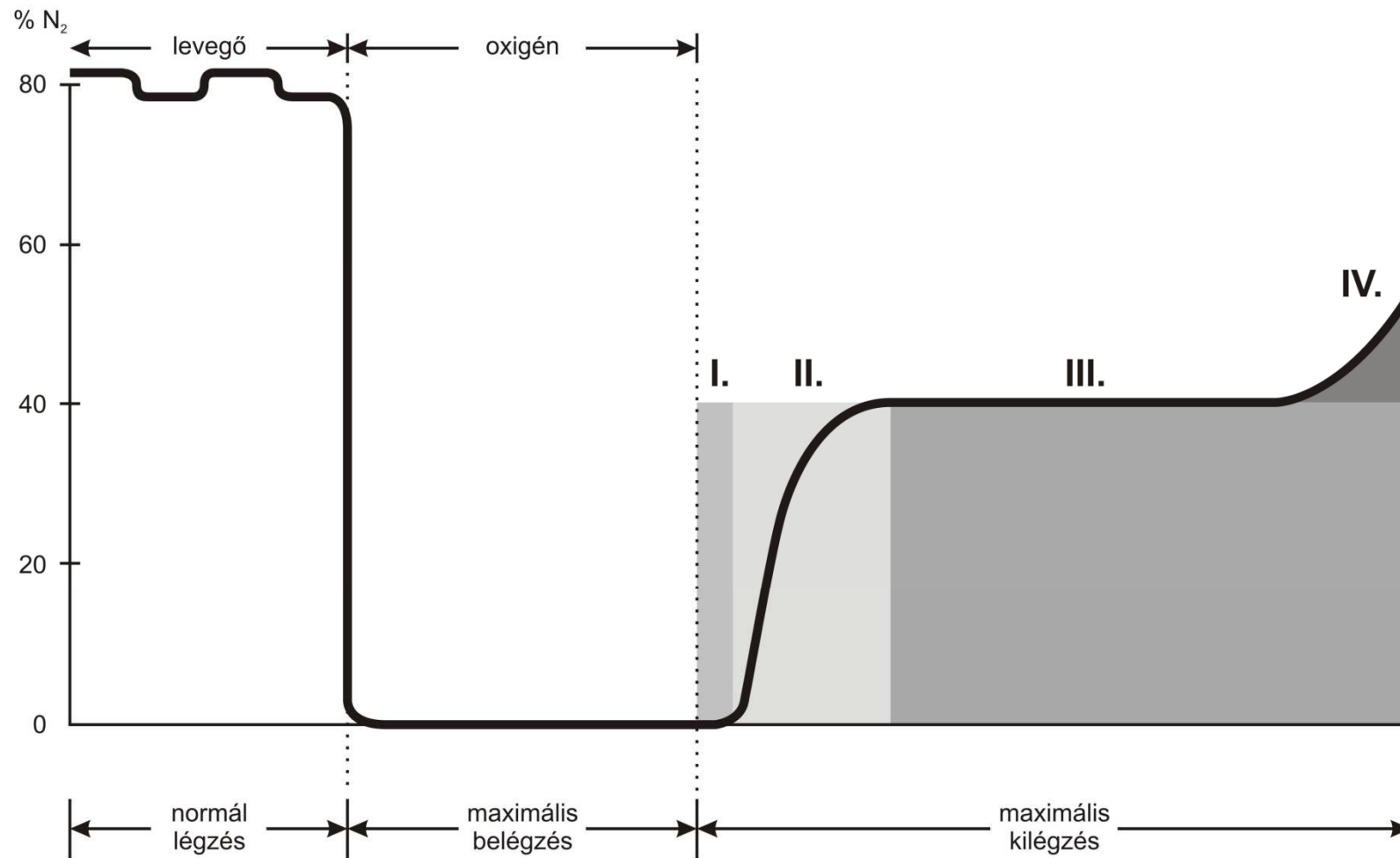
β : magas C-hez képest $p < 0,05$

γ : közepes C-hez képest $p < 0,05$

σ : alacsony C-hez képest $p < 0,05$

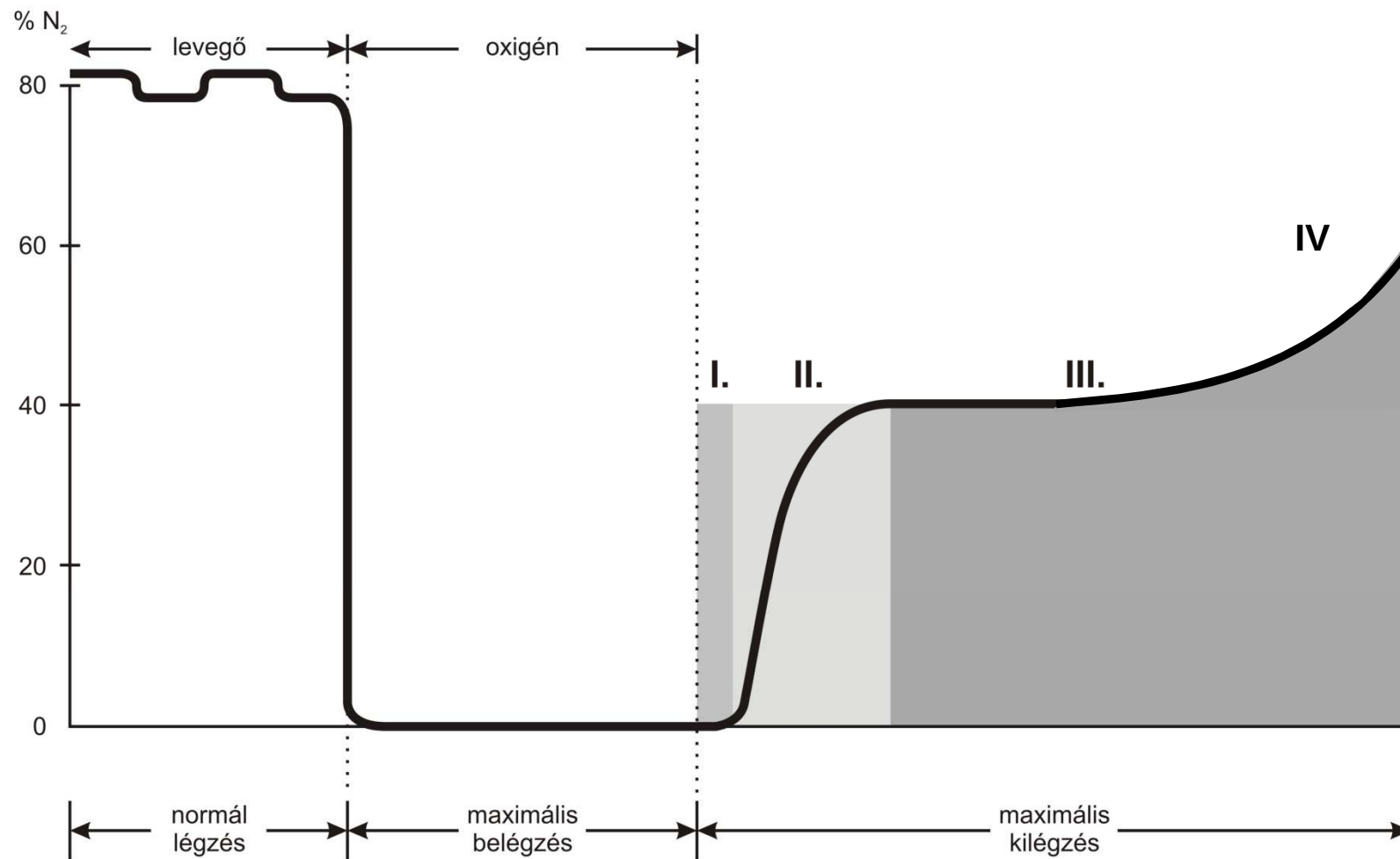


Single breath test (SBT-N₂)

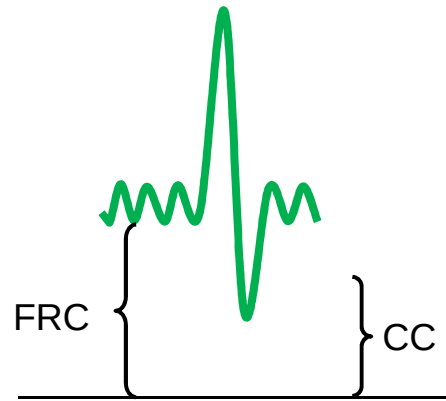


Megbeszélés

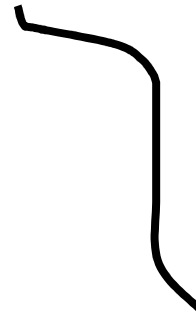
Single breath test (SBT-N₂)



$FRC/CC > 1$



spirogram



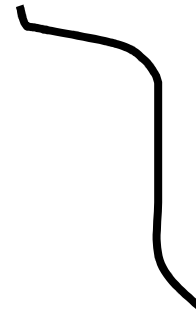
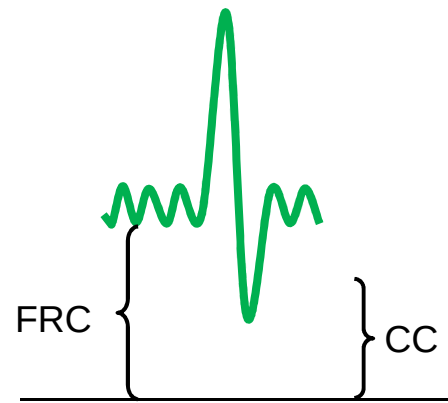
SBT-N₂



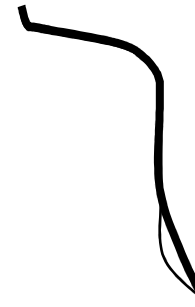
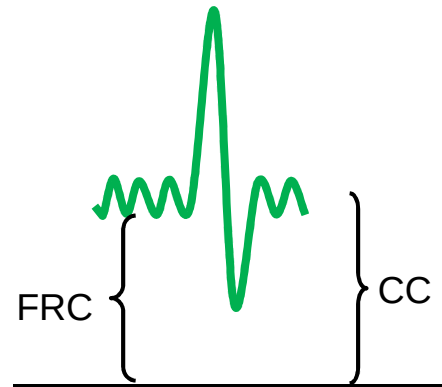
kapnogram



$FRC/CC > 1$



$FRC/CC < 1$

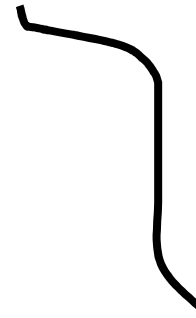
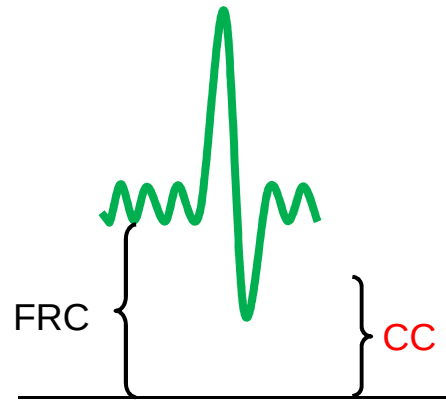


spirogram

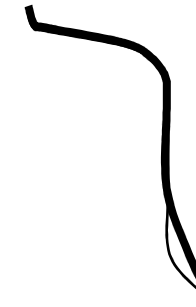
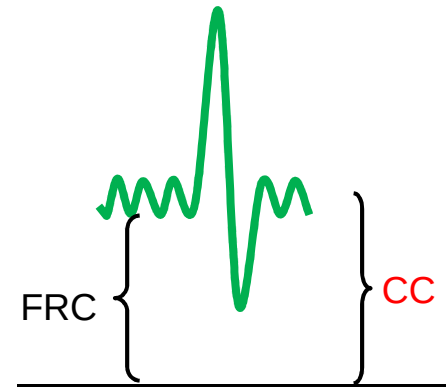
SBT-N₂

kapnogram

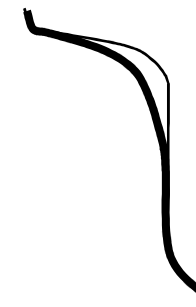
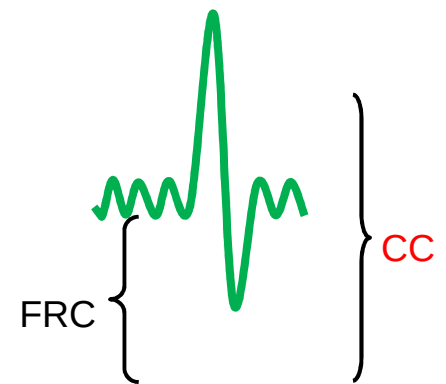
$$\text{FRC} / \text{CC} > 1$$



$$\text{FRC} / \text{CC} < 1$$



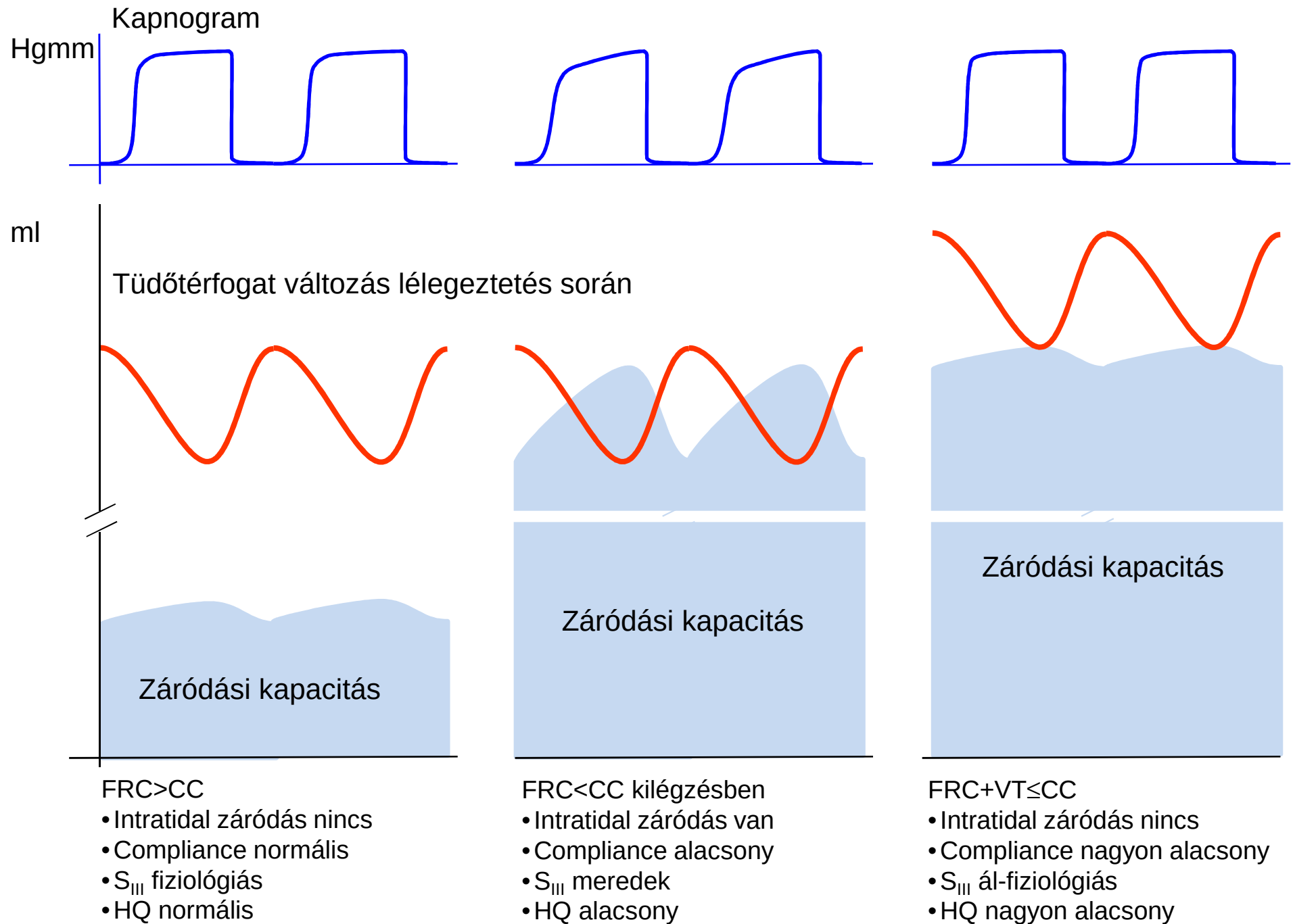
$$\text{FRC} + \text{VT} / \text{CC} < 1$$



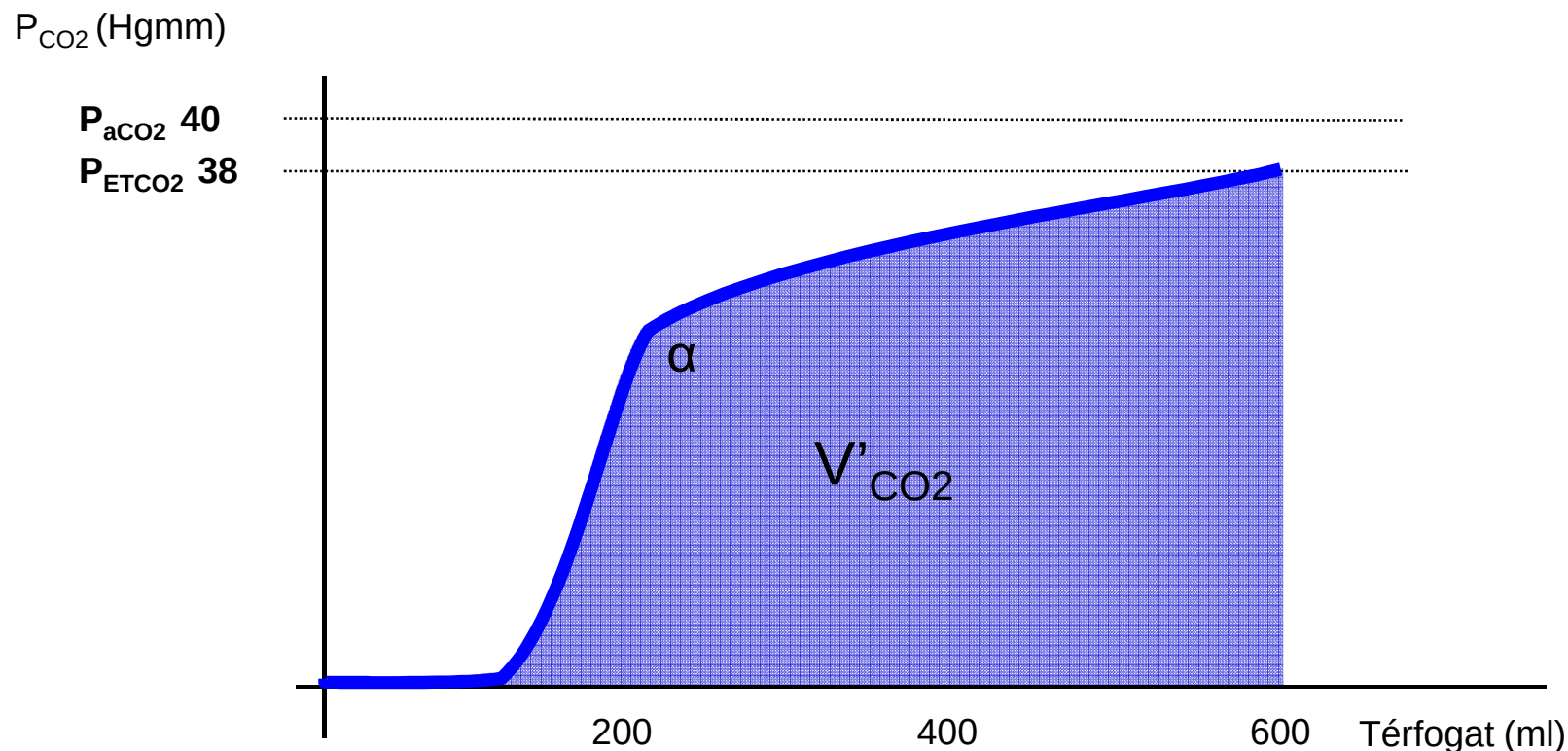
spirogram

SBT-N₂

kapnogram

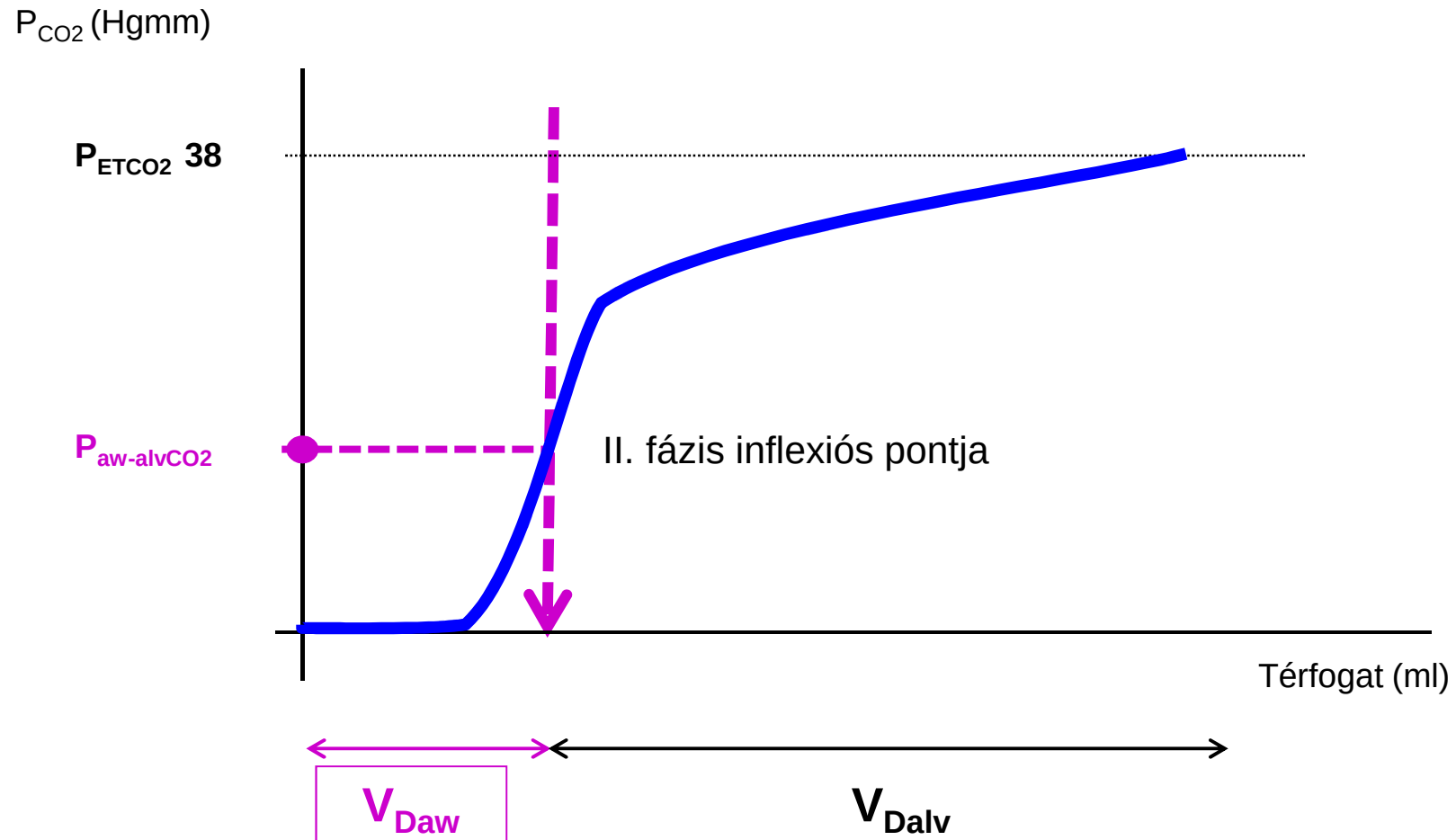


Statikus, kvantitatívan jellemezhető paraméterek: Kilégzett CO₂ mennyisége



- SBT-CO₂ alatti terület integráltja, a V'_{CO2}
- 3 ml/kg, RQ~0,8, fiziológiás állapot, felnőtt (csecsemőkorban akár 10 ml/kg is)
- Szepszis, delírium, exogén, vagy endogén katekolaminok mellett nő

Fowler holttér



Fowler, W. S. *Am J Physiol*, 1948, 154, 405-16.

Tusman G *Anesth Analg* 2012; 114:866-74.

Tusman G *Intensive Care Med* 2011; 37:870-874. *<http://links.lww.com/AA/A363>

Fowler holttér

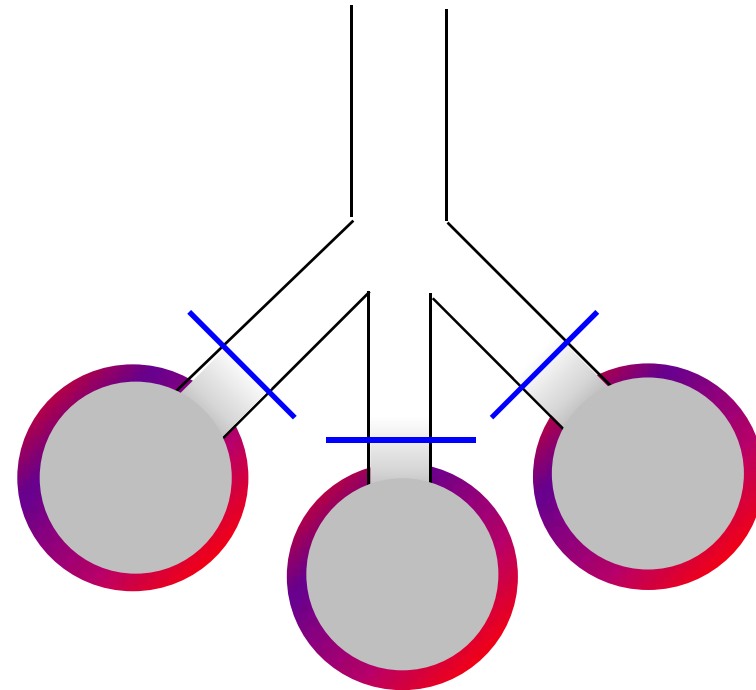
Definíció

Anatómiai holttér $\sim 1,5\text{-}2 \text{ ml/kg}$, ($\sim 100\text{-}150 \text{ ml}$)

Megfontolás

Homogén modell, nem veszi tudomásul

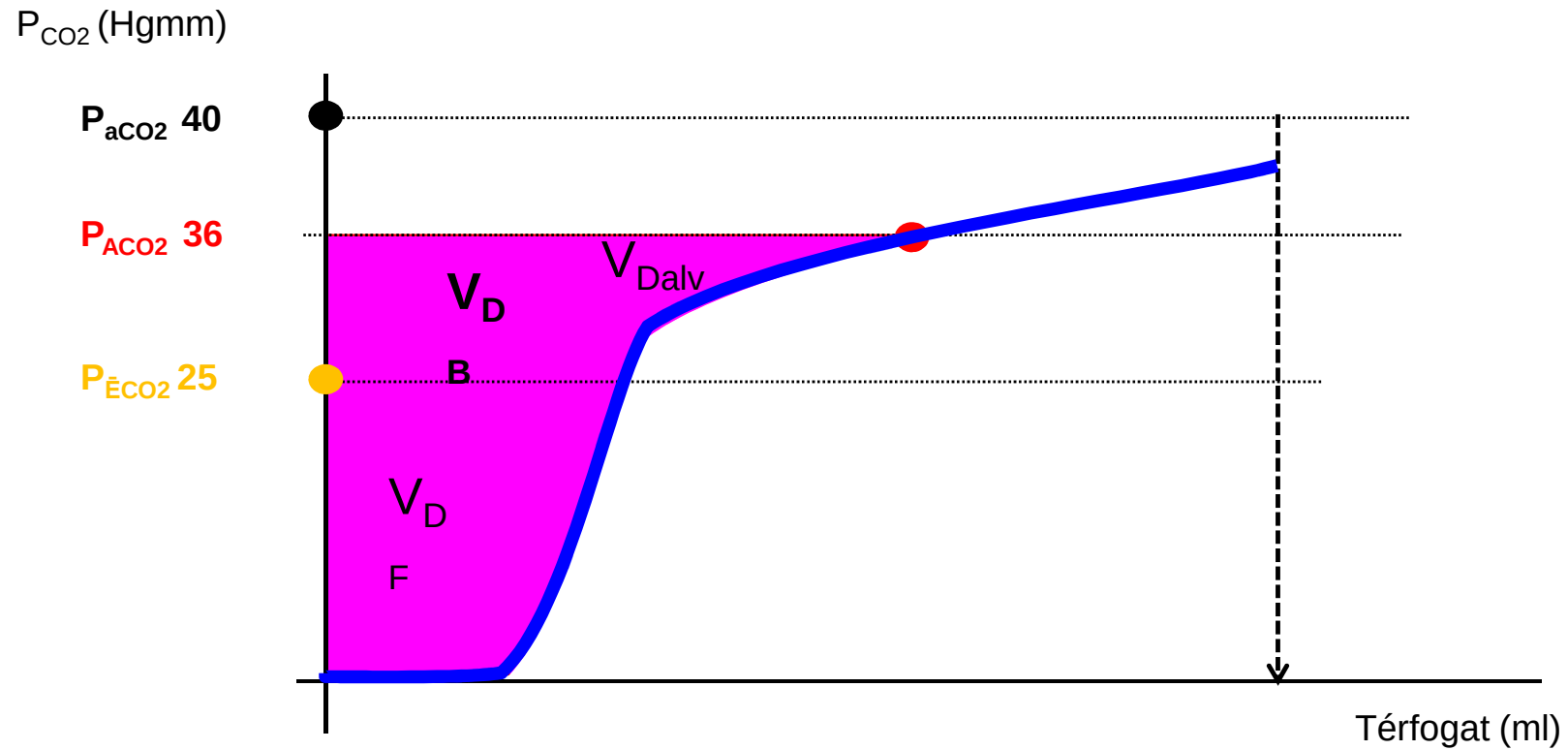
- Holtteret
- Shuntöt



Reprezentálja:

- Vezető légutakat
- ($\rightarrow$ alveoláris teret, mint abszolút homogén szellőző teret)

Bohr holttér



$$V_{DB} = V_D / V_T = (P_{ACO2} - P_{ECO2}) / P_{ACO2}$$

Tusman G Anesth Analg 2012; 114:866-74.

Tusman G Intensive Care Med 2011; 37:870-874. *<http://links.lww.com/AA/A363>

Bohr holttér

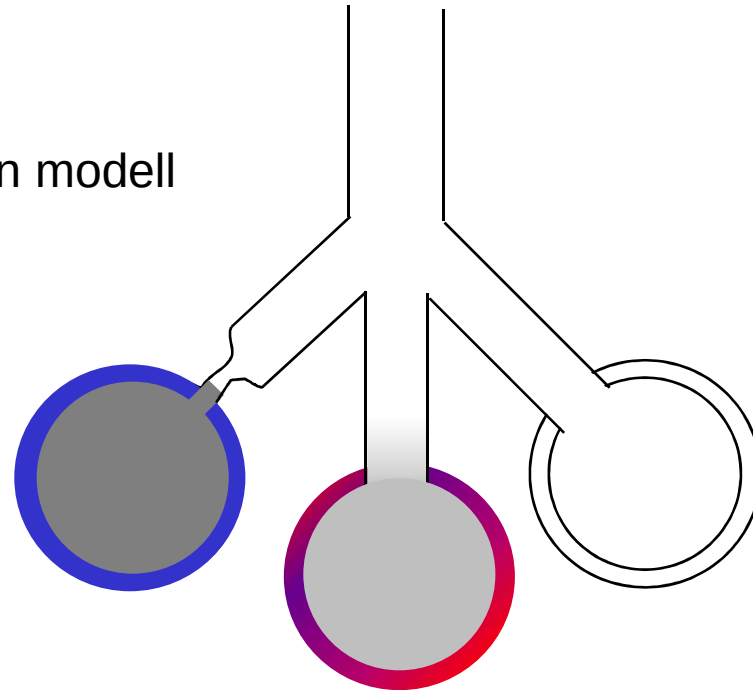
Definíció

Élettani holttér ($\sim 2,2$ ml/kg, $= \sim 180$ ml)

Anatómiai + alveoláris holttér

Megfontolás

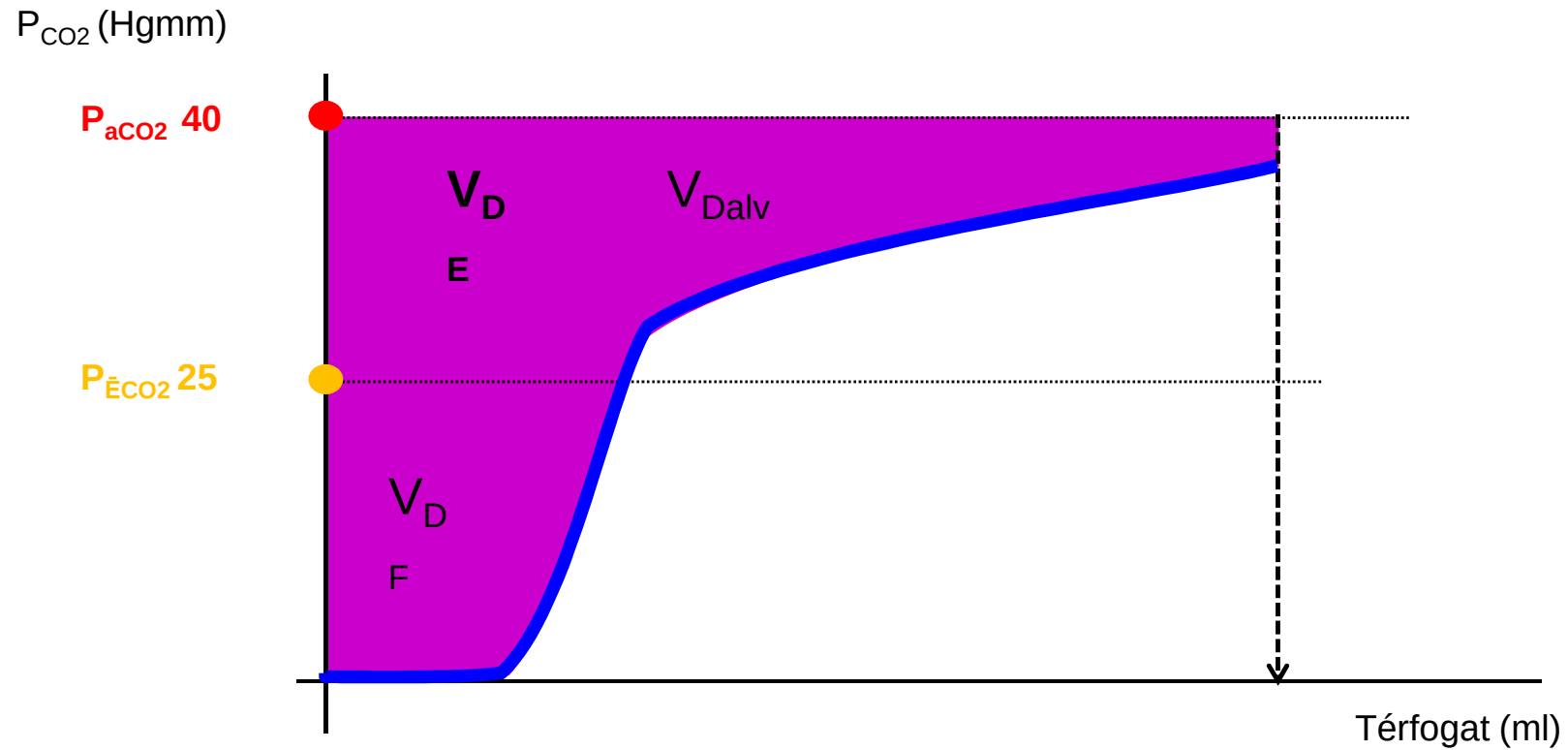
Riley-féle három kompartmentes heterogén modell



Reprezentálja:

- Vezető légutakat
- Nem keringő alveolusokat

Enghoff holttér



$$V_{DE} = V_D / V_T = (P_{aCO_2} - P_{\bar{E}CO_2}) / P_{aCO_2}$$

Tusman G Anesth Analg 2012; 114:866-74.

Tusman G Intensive Care Med 2011; 37:870-874. *<http://links.lww.com/AA/A363>

Enghoff holttér

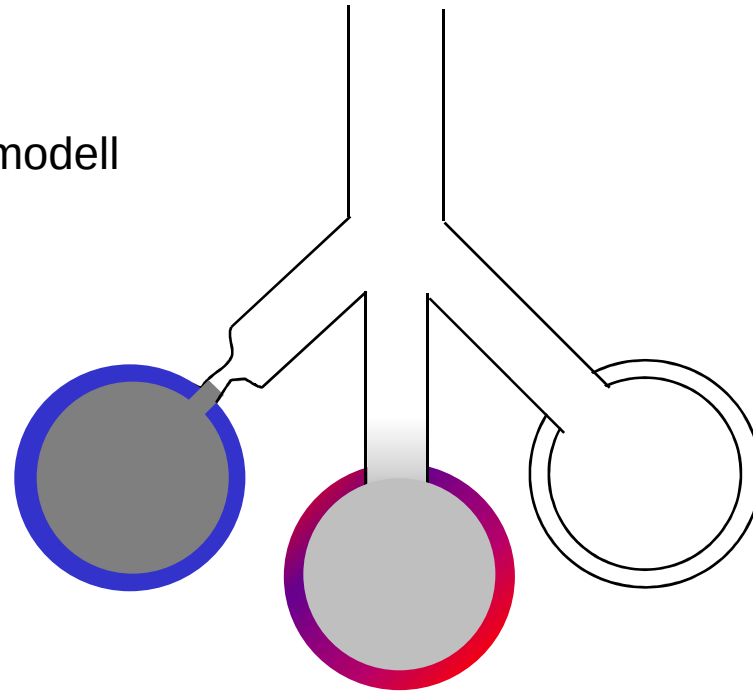
Definíció

Élettani holttér „II.” ($\sim 2,2 \text{ ml/kg} + X$, $= \sim 180 + X \text{ ml}$)

Anatómiai + alveoláris holttér + shunt

Megfontolás

Riley-féle három kompartmentes heterogén modell

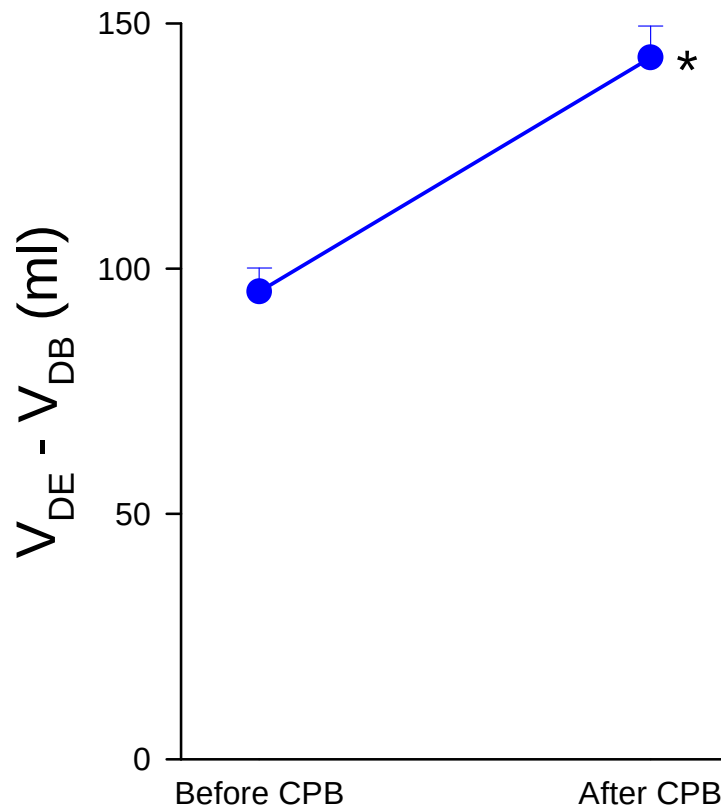


Reprezentálja:

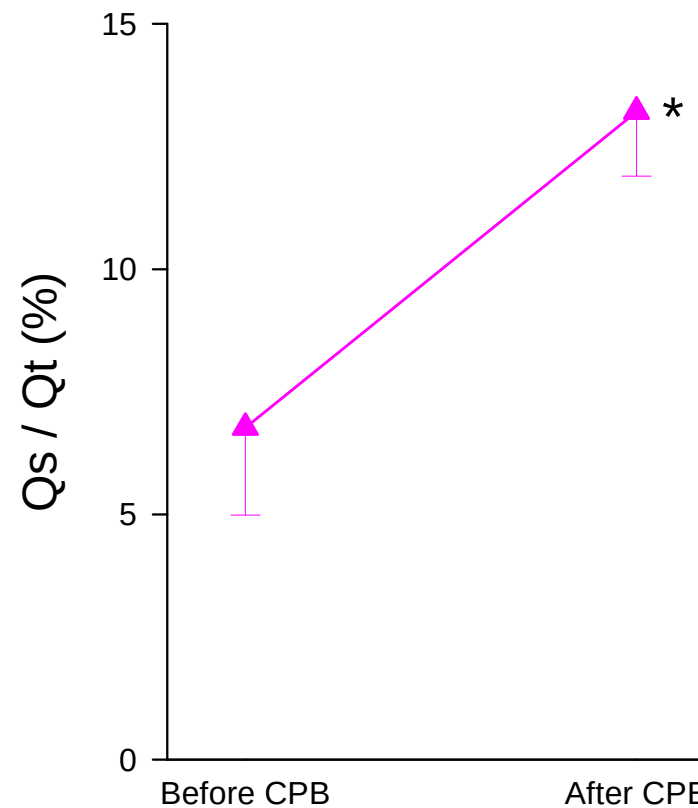
- Vezető légutakat
- Nem keringő, de légző alveolusokat
- Nem légző, de keringő alveolusokat

Shunt keringés növekedése CPB hatására

Volumetrikus kapnográfiaival
(P_{ACO_2} , $P_{\bar{E}CO_2}$, P_{ACO_2} , flow)

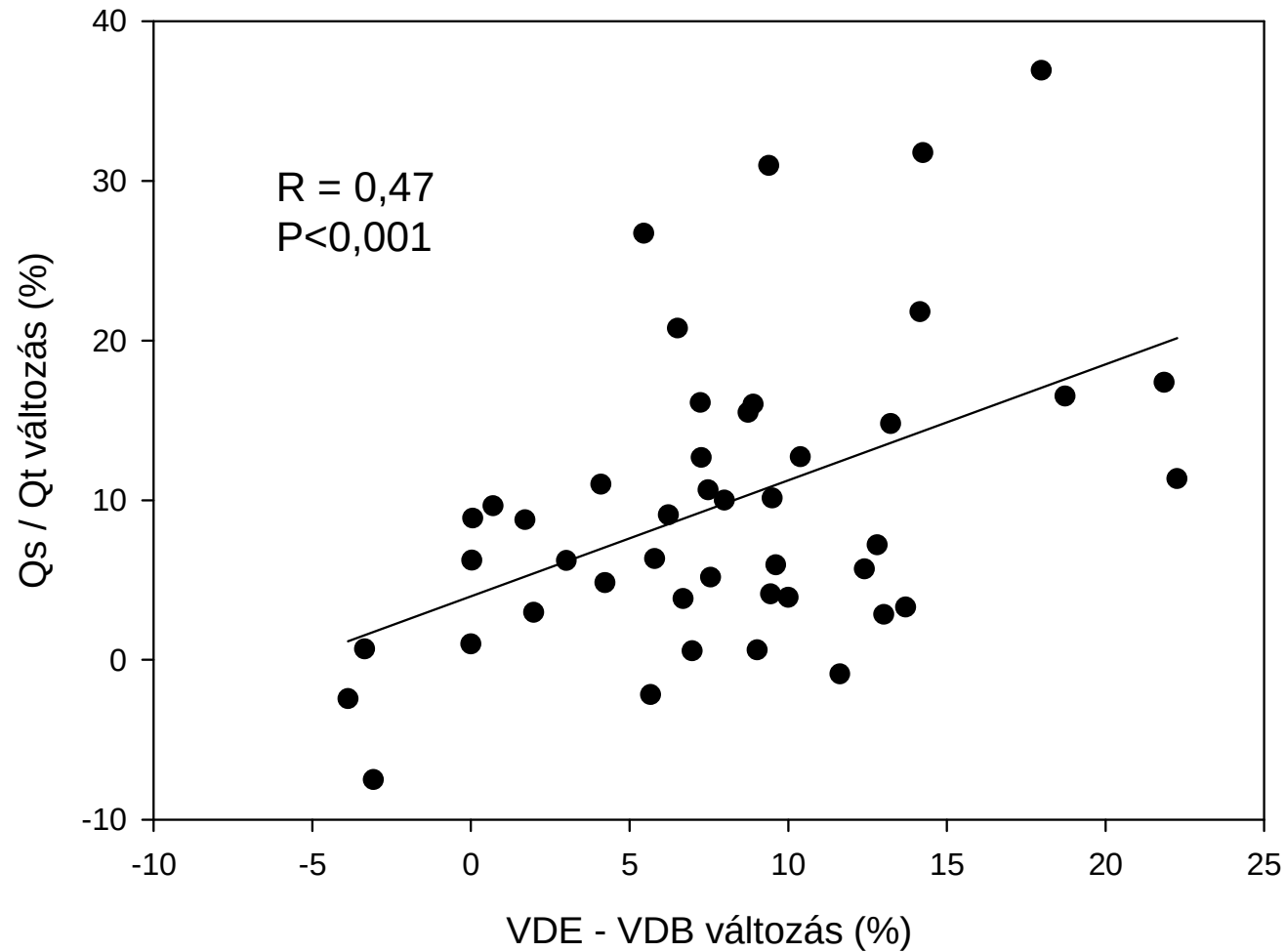


Fick-elv segítségével
(C_{taO_2} , C_{tvO_2})



Adatok publikáció alatt

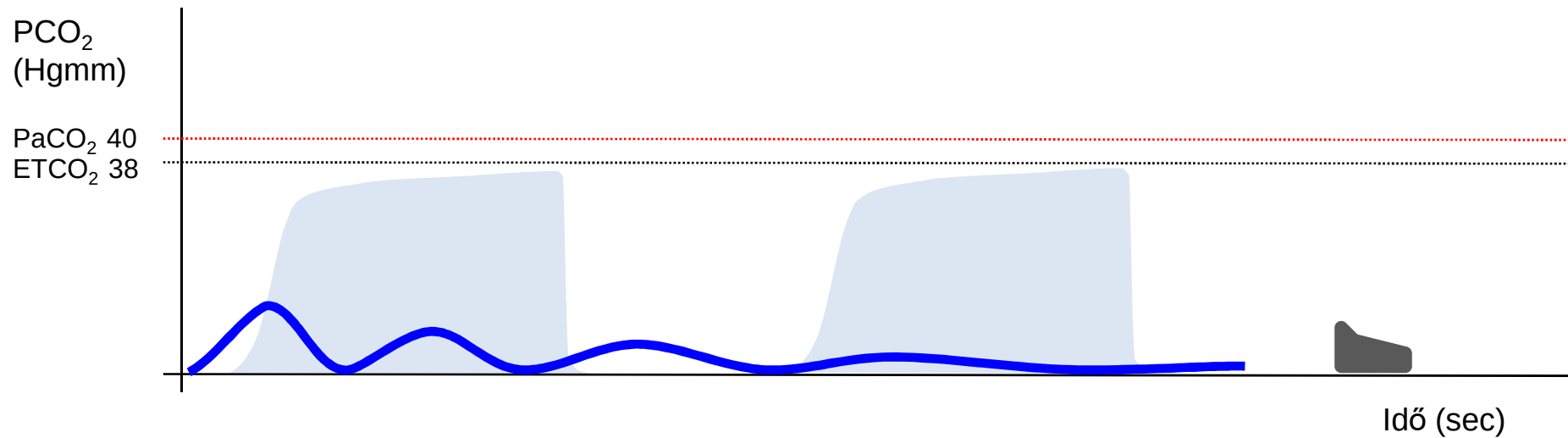
Volumetrikus kapnográfiaival és Fick elv segítségével meghatározott intrapulmonális shunt korrelációja



Adatok publikáció alatt

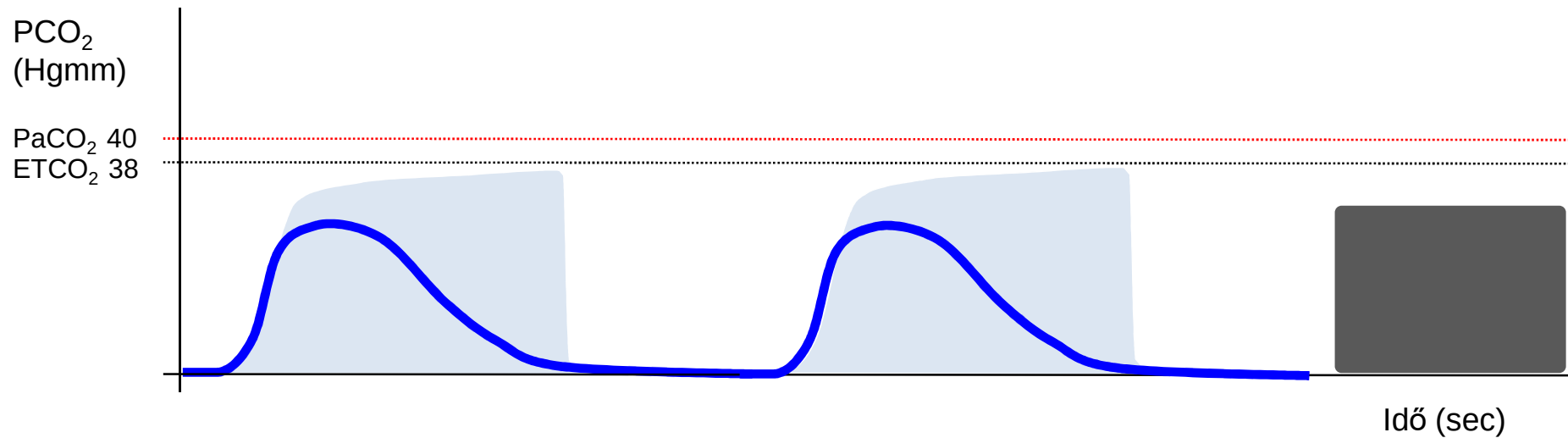
Kapnográfia – gyakorlati felhasználás





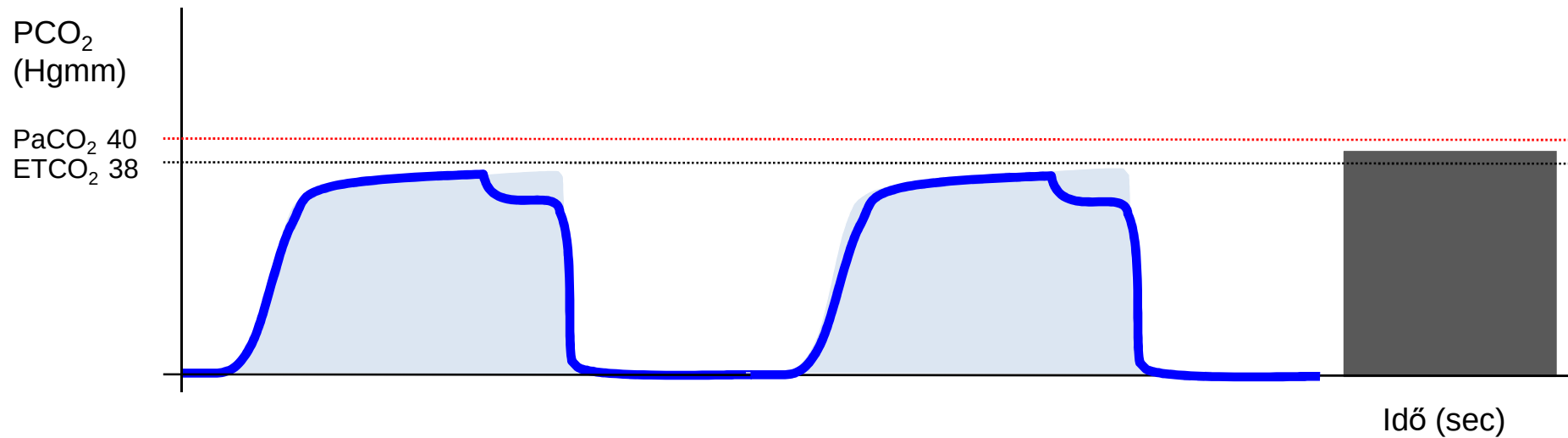
Intraoesophagealis intubálás kapnogramja

- maszkos lélegeztetés
- cukros italok elfogyasztása után
- bronchospazmus
- de a klinikai jelek, és a szabálytalan alakú, gyorsan csökkenő CO₂ egyértelművé teszik a rossz tubuspozíciót



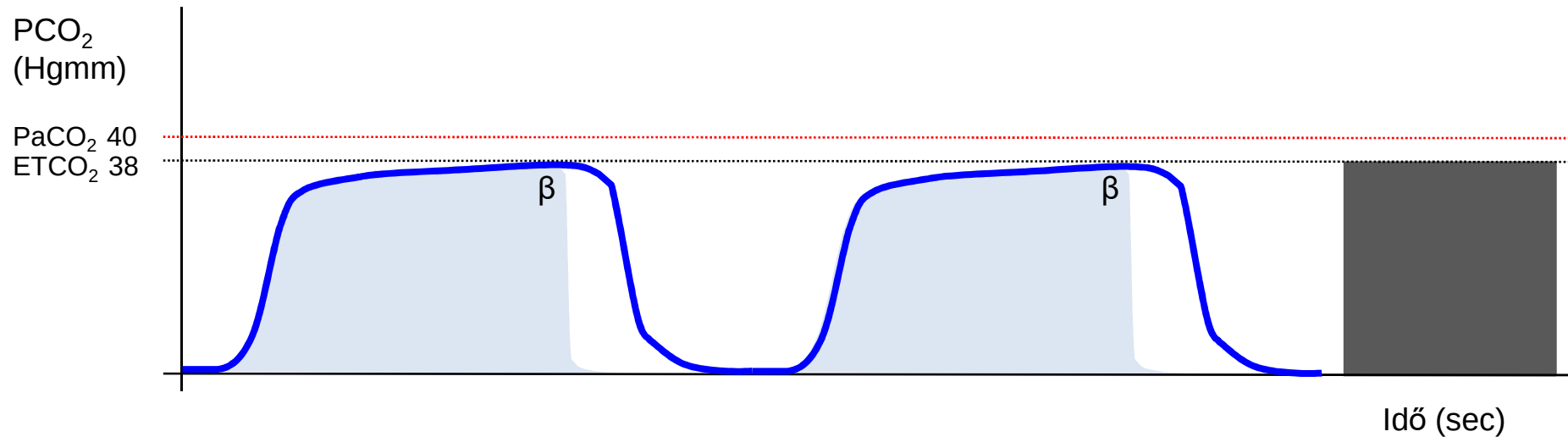
Ha a tubus a jobb főhörgőbe migrál, akkor a

- ventiláció/perfúzió arány a vizsgált tüdőben megnő
- ETCO₂ csökken
- a kapnogram a légzésmechanikai paraméterekkel azonnal jelez, a pulzoximetria kicsit késik



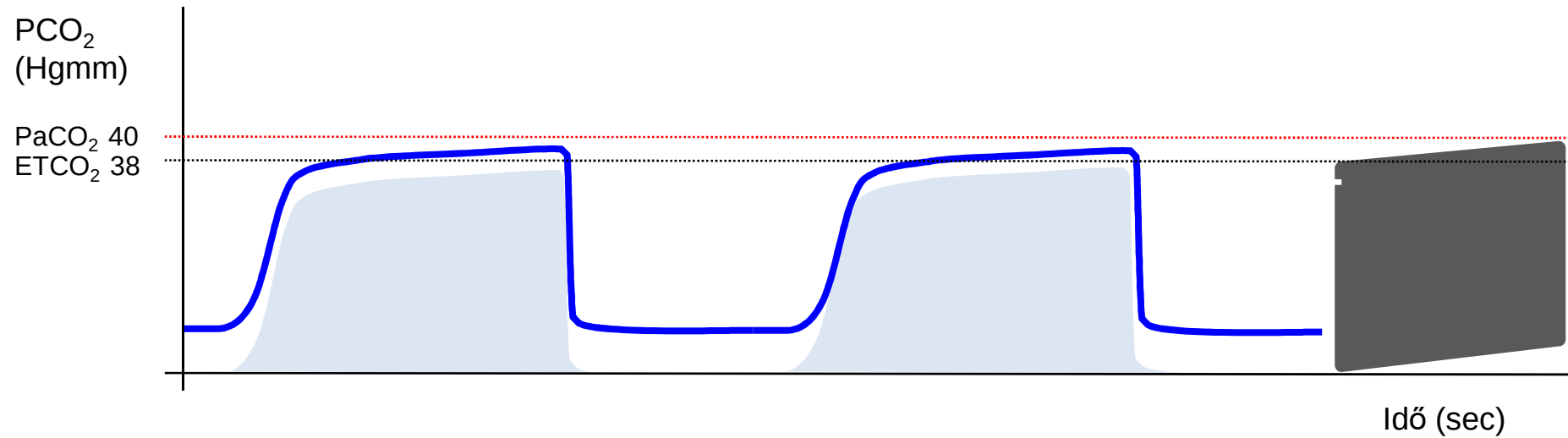
Tubus mandzsetta tömítetlenség

A kilégzésvégi alacsony áramlás mellett az oldaláramú kapnogram fals levegőt szív az alveoláris mellé, az ETCO₂ értéke csökken.



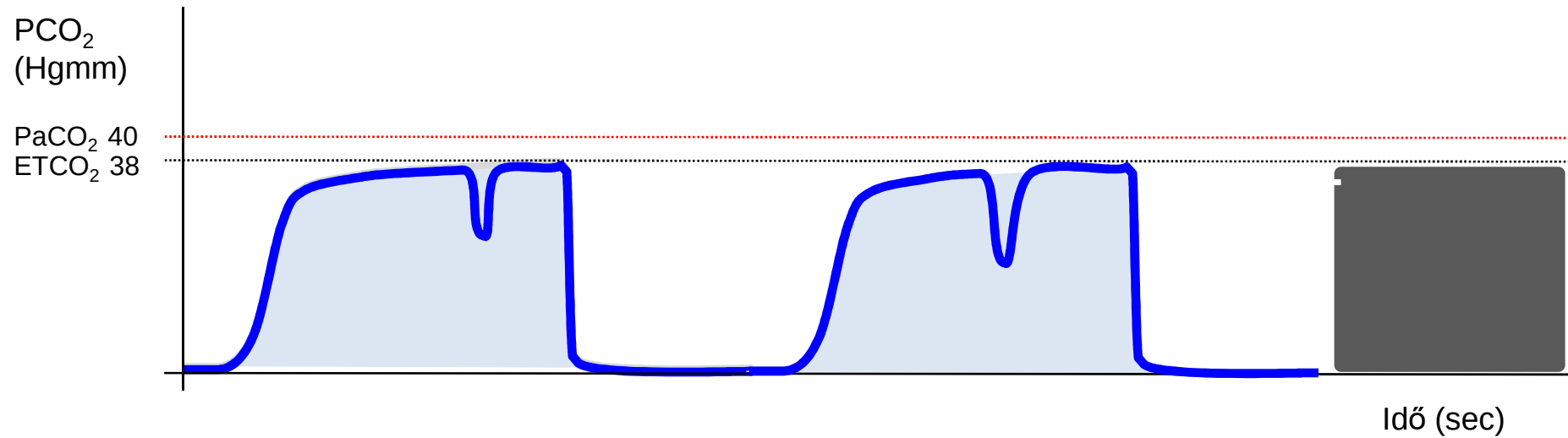
Visszalégző rendszerek belégző szelepének rossz zárása

A lélegeztető mindkét száron fúj gázkeveréket a beteg felé, a kapnogrammot a kilégzőszár alvolaris gáztartalmának, és belégző szár friss gázának keveredése határozza meg



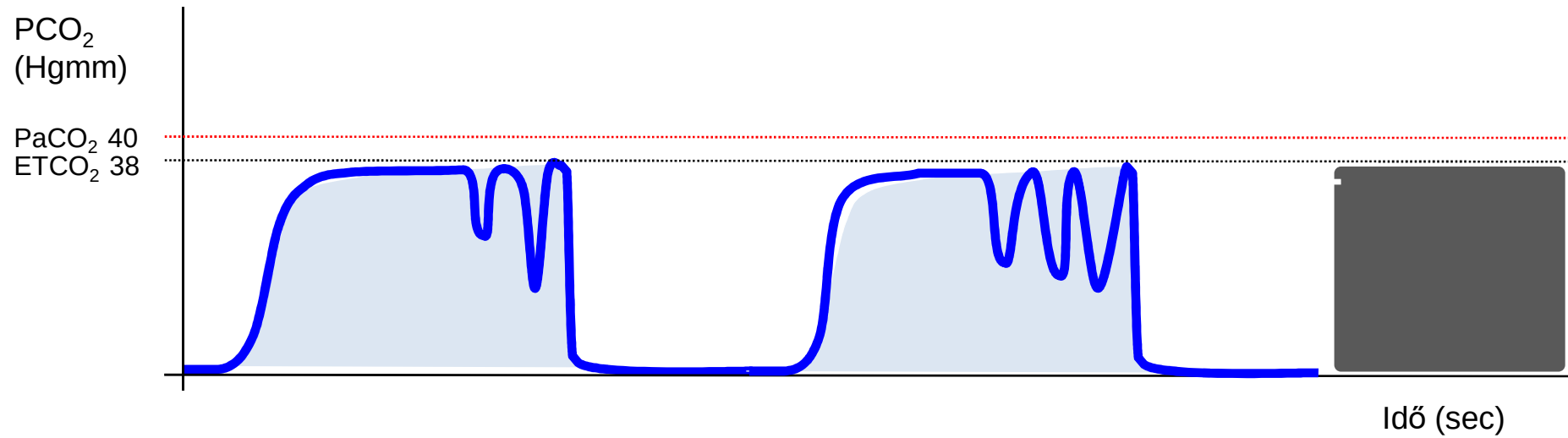
Visszalégző rendszerek CO_2 eliminálási hibája

A be-, és kilégzett gázkeverék koncentrációja a friss gázáramlással fordított arányban nő

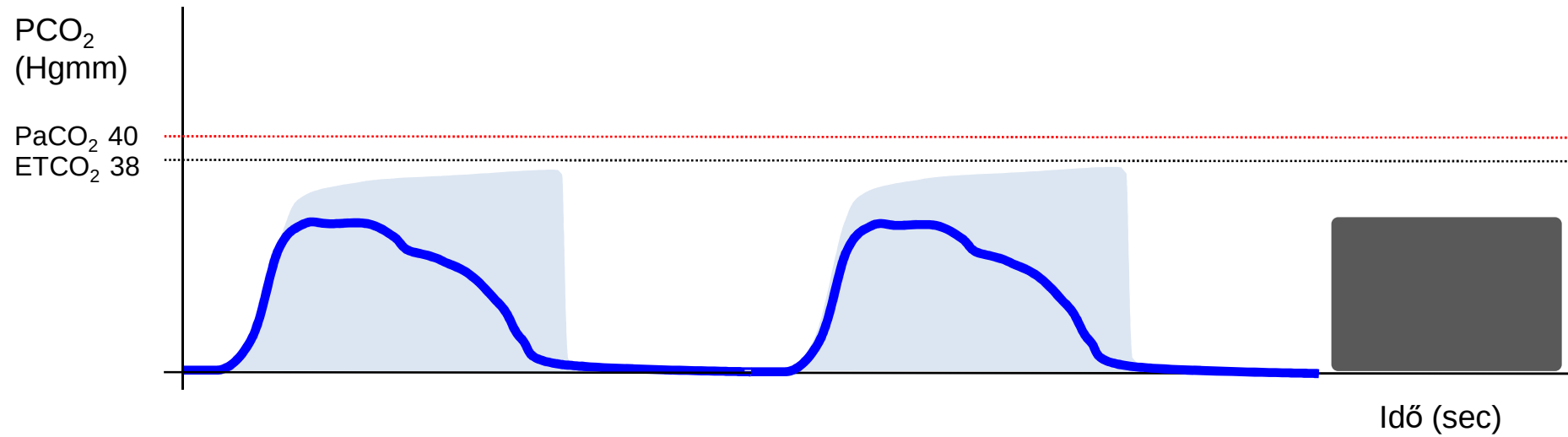


Csökkenő izomrelaxáció

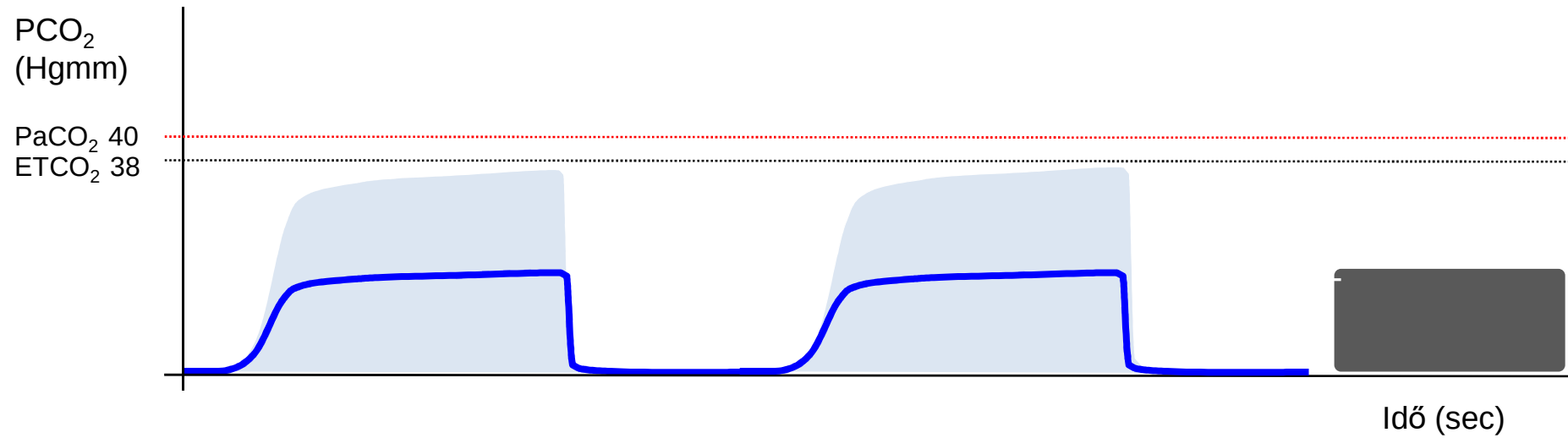
Kilégzés során indított belégzés, különösen fájdalom, agitáltság, relatív hypoventilláció esetén



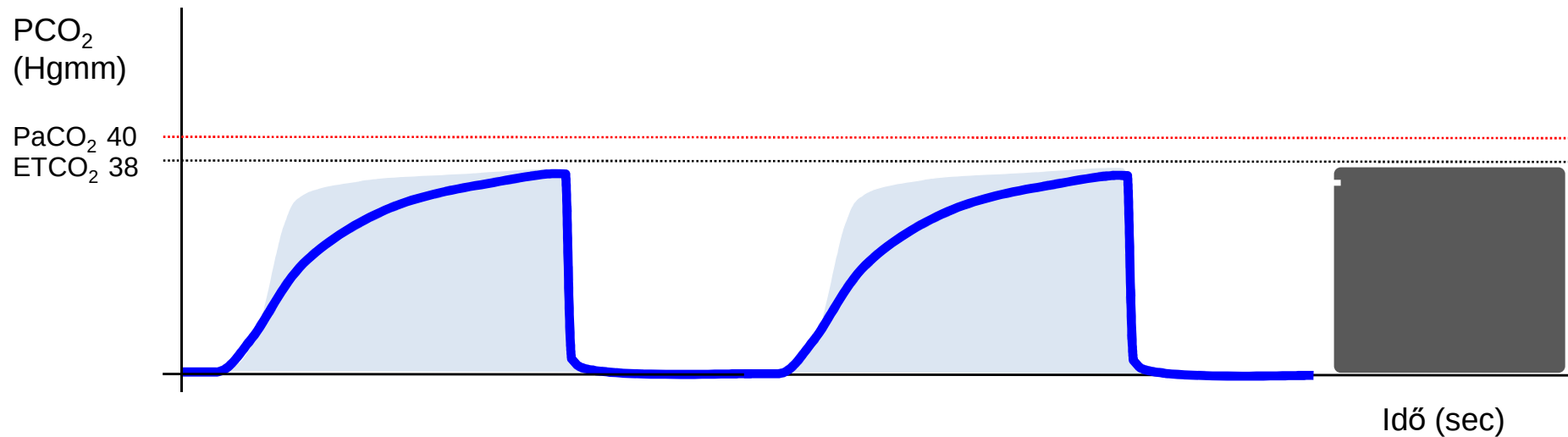
Oldaláramú kapnográfia elszívása meglassult kilégzésvégi áramlás mellett kompetícióba kerülhet



PTX súlyosságától függő ventilációs/perfúziós aránytalanság, kilégzési akadályoztatás torzítja a kapnogrammot

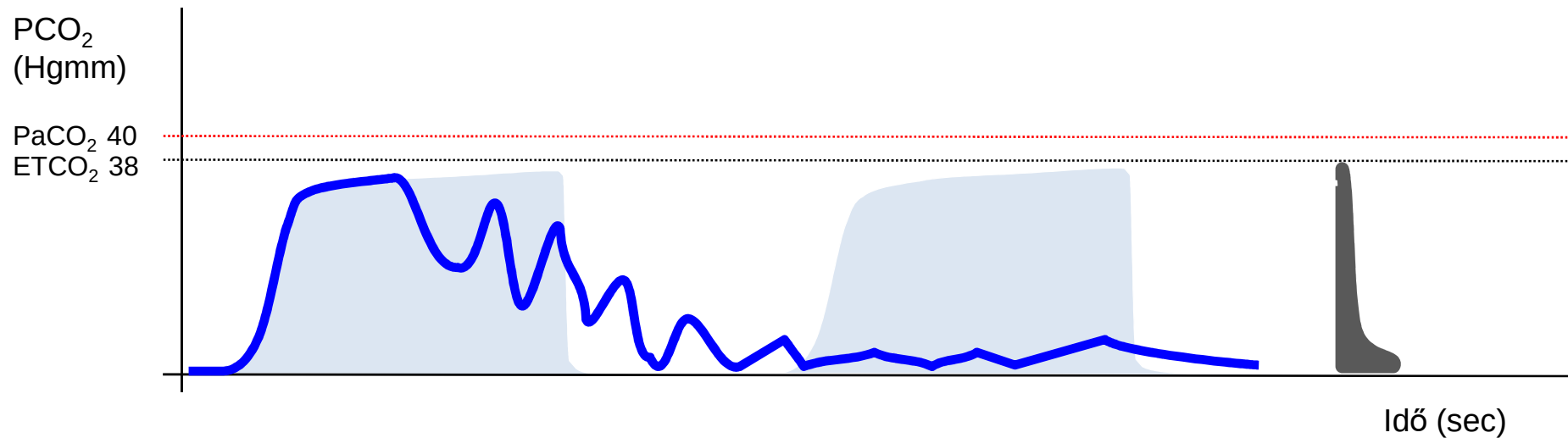


A pulmonalis embólus/embolizáció ventilációs/perfúziós arány eltolásával növeli a nem-szekvenciális holtteret, a-ETCO₂ gradiens nő



COPD

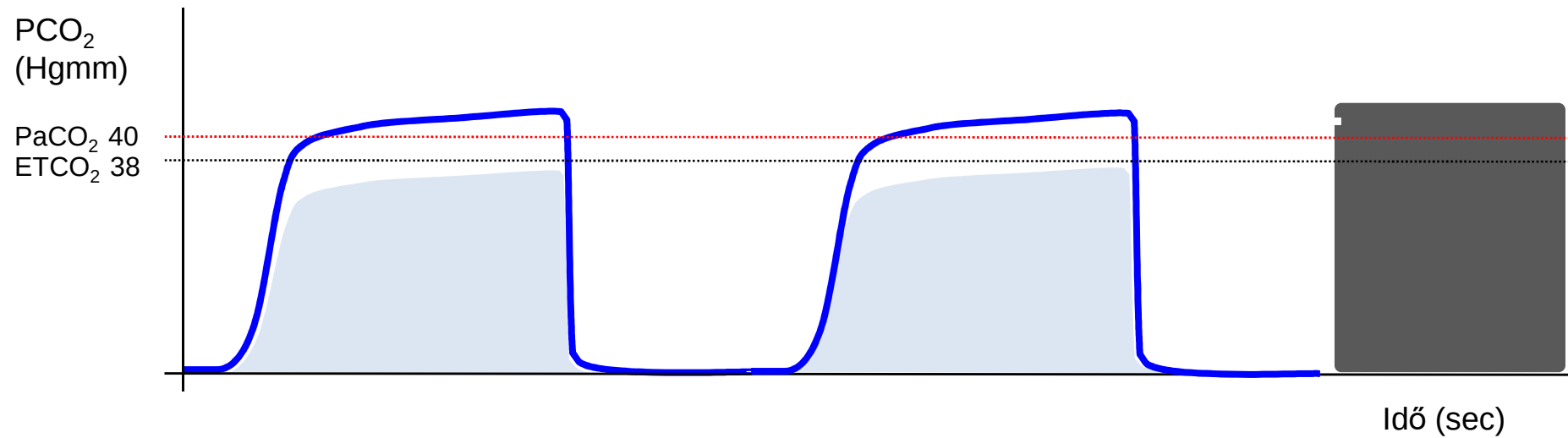
- Soros vagy párhuzamos heterogenitás lassítja az alveolusok ürülését, mely a II. fázis meredekségét csökkenti, a III. fázisét növeli
- Az a-ETCO₂-t növeli a szekvenciális holtér növekedés, de csökkenti az alveolusok inhomogenitása, az idő-kapnogramnál a volumetrikus kapnogram alkalmasabb a patológia pontosabb megítélésére



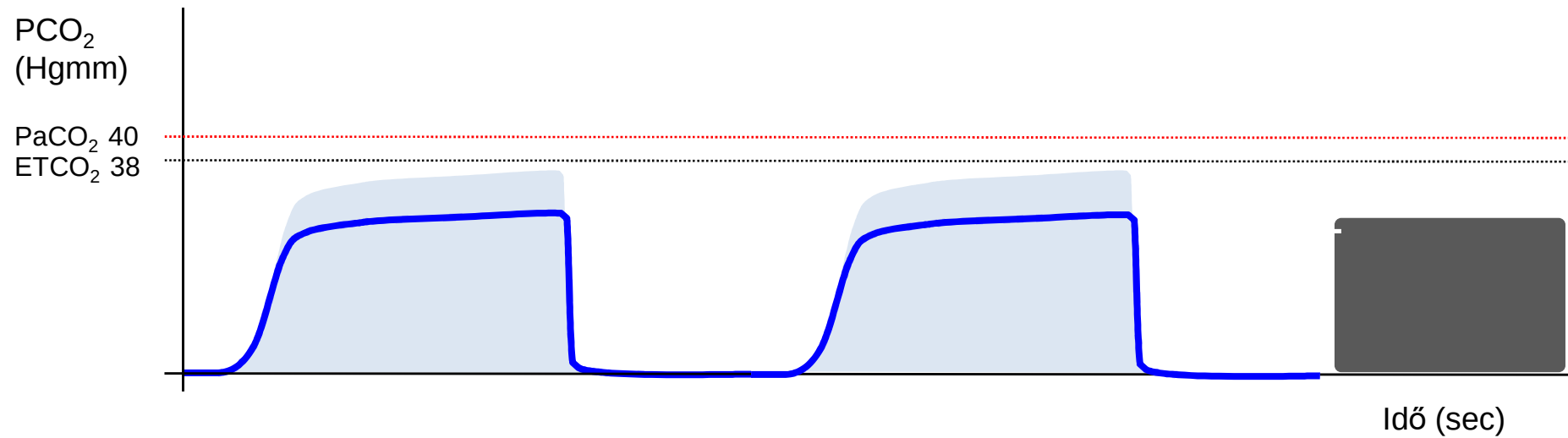
Kamrafibrilláció

A kapnogram is azonnal jelez

- A kompressziók effektivitását
- A ritmus és a kontrakció visszatértét
- Az esetleges „bikarbonát-abuzust”
- A kézi lélegeztetés miatt az oldaláramú kapnográfia használható

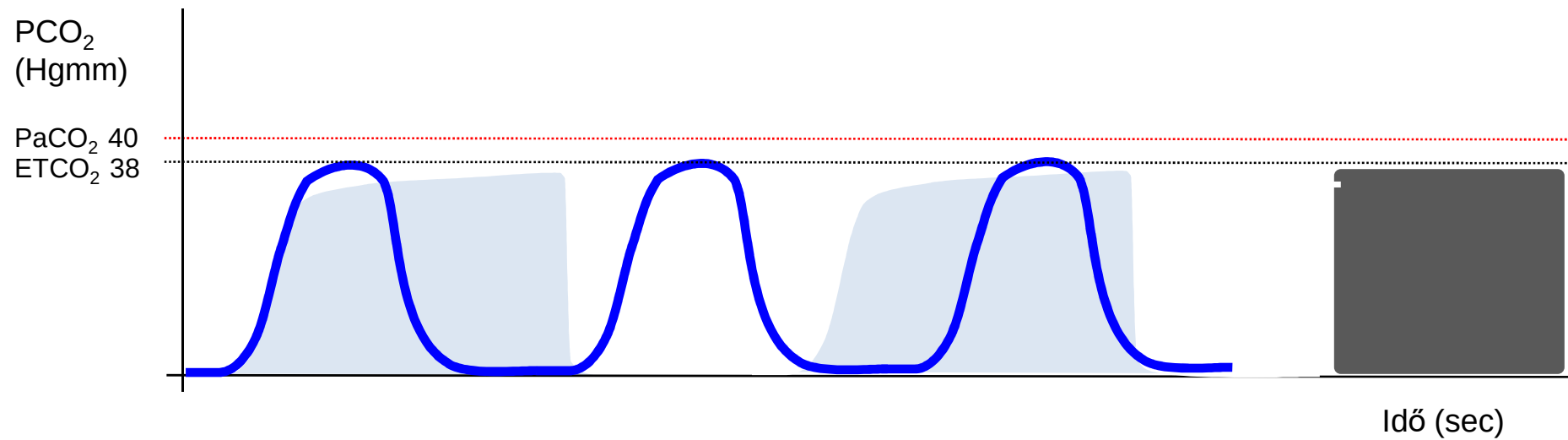


Abszolút hyperkapnia: nagy a holtér, alacsony a légvételi térfogat
Relatív hyperkapnia: posztoperatív didergés, katekolaminok, láz

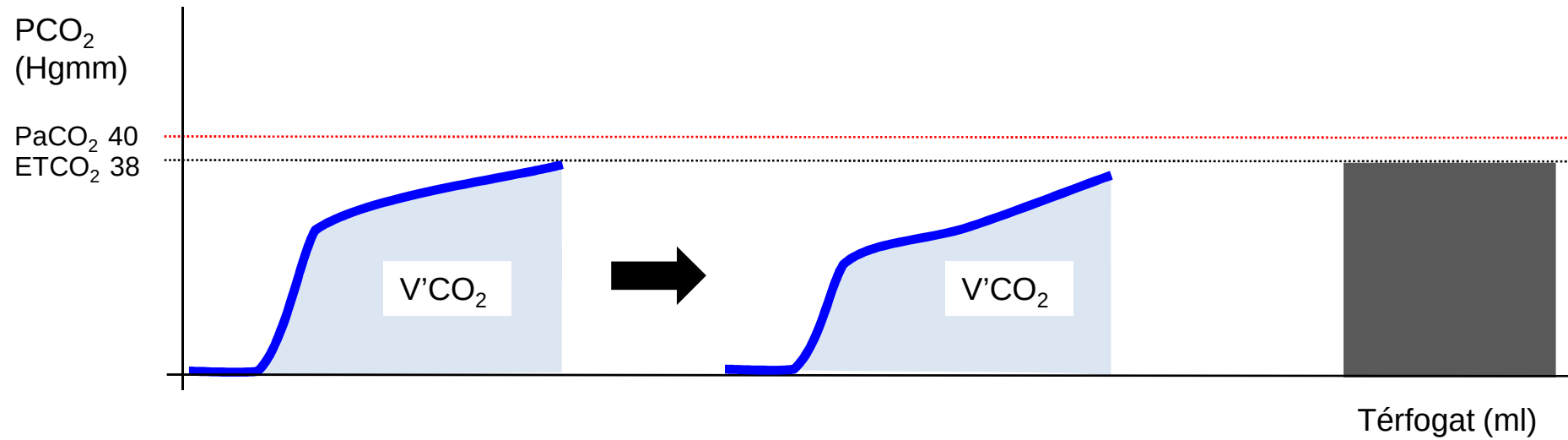


Hypokapnia

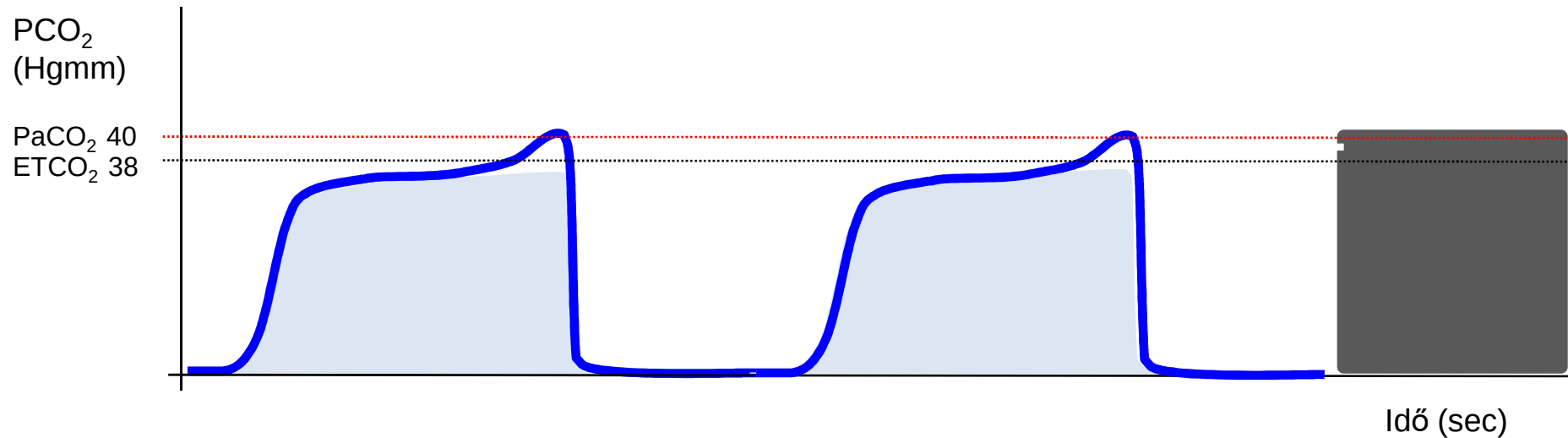
- normofrekvencia mellett a nagy tidal térfogat
- perioperatív lehűlés



Normál gyermek kapnogram



Magas légúti rezisztencia a heterogénné váló alveoláris ürülés miatt konkávvá teheti a volumetrikus kapnogram harmadik fázisát



Betegesen kövér, vagy terhes egyéneknél egy gyors és egy lassú alveolus kompartment alakul ki
Kilégzés során először a gyors alveolusok ürülnek, egyenletes, alacsony CO₂ koncentrációval, majd ahogy az áramlás csökken, megnő CO₂ tartalmuk
A lassú alveolus kompartment egyenletes sebességgel, egyenletesen növekvő koncentrációval ürülve járul hozzá a kapnogram III. fázis kialakításához

Jövő?

- Betegbiztonságot szolgáló
 nélkülözhetetlen monitorozási modalitás
- fontos diagnosztikus eszköz
- aneszteziológiában és intenzív
 terápiában
- **Altatógépeken / Lélegeztetőgépeken**
 on-line kvalitatív adatok
 - Önálló megjelenítésre
 - Rögzítésre
 - Feldolgozásra

