Noțiuni introductive
în explorarea funcțională respiratorie

Aplicații practice în medicina muncii

Marina Oțelea (coordonator)
Agripina Raşcu
Fayssal El Husseini

Noțiuni introductive în explorarea funcțională respiratorie

Aplicații practice în medicina muncii

EDITURA UNIVERSITARĂ
Bucureşti, 2018

Colecția MEDICINĂ

Redactor: Gheorghe Iovan
Tehnoredactor: Marina Oțelea
Ilustrații și copertă: arh. Ana Maria Oțelea

Editură recunoscută de Consiliul Național al Cercetării Științifice (C.N.C.S.) și inclusă de Consiliul Național de Atestare a Titlurilor, Diplomelor și Certificatelor Universitare (C.N.A.T.D.C.U.) în categoria editurilor de prestigiu recunoscut.

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României
OȚELEA, MARINA-RUXANDRA
Noțiuni introductive în explorarea funcțională respiratorie : aplicații practice în medicina muncii / Marina Oțelea (coord.), Agripina Raşcu, Fayssal El Husseini. - Bucureşti : Editura Universitară, 2018
Conține bibliografie
ISBN 978-606-28-0759-7

I. Rascu, Agripina
II. El Hussein, Faysal

616

DOI: (Digital Object Identifier): 10.5682/9786062807597

© Toate drepturile asupra acestei lucrări sunt rezervate, nicio parte din această lucrare nu poate fi copiată fără acordul Editurii Universitare

Copyright © 2018
Editura Universitară
Editor: Vasile Muscalu
B-dul. N. Bălcescu nr. 27-33, Sector 1, Bucureşti
Tel.: 021 – 315.32.47 / 319.67.27
www.editurauniversitara.ro
e-mail: redactia@editurauniversitara.ro

Distribuție: tel.: 021-315.32.47 /319.67.27 / 0744 EDITOR / 07217 CARTE
comenzi@editurauniversitara.ro
O.P. 15, C.P. 35, Bucureşti
www.editurauniversitara.ro

Cuvânt înainte

Explorarea funcțională respiratorie este un component esențial al diagnosticului în foarte multe patologii şi spirometria este, în cele mai multe cazuri, prima etapă a acestui parcurs.

În patologia profesională, spirometria este investigația paraclinică de monitorizare a expusului la risc de boală pulmonară profesională, fie că aceasta este pneumoconioza, astmul bronşic, alveolita alergică extrinsecă, bronhopneumopatia cronică obstructivă, pentru a le numi doar pe cele mai frecvente. De asemenea, este o examinare necesară, chiar dacă nu singura, pentru aprecierea unei posibile reduceri a capacității de efort şi de adaptare la suprasolicitări.

Spirometria este o investigație pe care o poate efectua orice medic în condiții de ambulator dacă respectă tehnica şi măsurile de precauție. De aceea, am vrut să scriem o carte care să le poate servi ca informație pentru o mai nuanțată interpretare a rezultatelor şi pentru înțelegerea indicațiilor de solicitare a examinărilor suplimentare, în serviciile de specialitate.

Vreau să mulțumesc colegilor mei care au răspuns cu entuziasm invitației de a lucra la această carte, prof. dr. Agripina Raşcu şi dr. Fayssal El Husseini, medici cu distinse preocupări în domeniul explorării funcționale respiratorii, în România şi respectiv, în Franța. Dialogul cu ei este un exemplu de tranziție de la preocupările mele

actuale, îndreptate către identificarea mecanismelor funcționale şi fiziopatologice, la medicina clinică, în care amândoi activează şi în care au o bogată experiență. De altfel, laboratorul de cercetare aplicativă pe care dr. Fayssal El Husseini îl conduce la Paris este în sine un model de lucru al unei explorări funcționale comprehensive în variate patologii respiratorii.

Nu pot să închei fără un gând de mulțumire îndreptat către cei doi maeştri care, cu mulți ani în urmă, mi-au deschis poarta spre fascinanta lume a explorării funcționale respiratorii: dr. Ştefan Duțu, pasionatul conducător al laboratorului de Fiziologie şi Fiziopatologie Respiratorie din Institutul "Marius Nasta" şi dr. Nicolae Muică, un excelent cunoscător al patologiei profesionale respiratorii, cu care interpretam explorările funcționale ale pacienților internați în Clinica de Boli Profesionale din Spitalul Colentina în vremea rezidențiatului meu.

Sper ca prin această carte ceea ce am învățat de la ei şi ceea ce am completat prin lectură şi experiență practică să ajungă la studenții şi medicii care vor parcurge aceste pagini.

Marina Oțelea

Cuprins

Capitolul 1. Anatomia aparatului respirator - Agripina Raşcu 11
1.1. Introducere. Definiții 11
1.2. Căile aeriene 12
1.3. Cutia toracică 13
1.4. Plămânii 13
1.5. Vascularizatia aparatului respirator 15
1.6. Bariera alveolo-capilară 16

Capitolul 2. Noțiuni de fiziologie a ventilației - Marina Oțelea 19
2.1. Introducere. Definiții 19
2.2. Ciclul respirator 22

Capitolul 3. Spirometria - Fayssal El Husseini, Marina Oțelea, Agripina Raşcu 27
3.1. Introducere. Noțiuni generale 27
3.2. Indicații şi contraindicații 29
3.3 . Condiții de efectuare a spirometriei 32
3.4 . Mod de lucru 32
3.4.1. Pregătirea examinării 33
3.4.2. Efectuarea propriu zisă a înregistrării 33
3.4.3 . Surse de eroare a înregistrării 34
3.4.4. Afişarea rezultatelor. Valorile de referință 35

3.5. Caracteristicile curbei (buclei) flux volum..... 38
3.5.1. Criterii de validare a curbei flux-volum 38
3.6 Caracteristici ale curbei volum-timp 44
3.6.1 Criterii de validare a curbei volum flux 45
3.7 Parametrii funcționali măsurați cu ajutorul spirometriei 46
3.8 Interpretarea spirometriei 48

Capitolul 4. Disfuncțiile restrictive - Agripina Raşcu 55
4. 1. Substratul fiziopatologic al disfuncțiilor restrictive 55
4.1.1. Noțiuni introductive 55
4.1.2. Clasificarea fiziopatologică a disfuncțiilor restrictive 56
4.1.3. Patologii restrictive intrinseci (pulmonare) 57
4.1.4. Patologii restrictive extrinseci 62
4.1.5. Respirația la volume pulmonare mici 66
4.2. Bucla flux volum în disfuncțiile restrictive 67
4.3. Explorări funcționale complementare în diagnosticul disfuncției restrictive..... 69
4.3.1. Determinarea CPT, a CRF şi a VR 69
4.3.2. Capacitatea de difuziune a CO în disfuncțiile restrictive 71
4.3.3. Evaluare forței muşchilor respiratori 74
4.4. Criterii de diagnostic şi severitate în disfuncțiile restrictive 75

Capitolul 5. Disfuncțiile obstructive - Marina Oțelea 78
5. 1. Substratul fiziopatologic al disfuncțiilor obstructive 78
5.1.1. Noțiuni introductive 78
5.1.2. Clasificarea fiziopatologică a disfuncțiilor obstructive 81
5.1.3. Patologiile obstructive pulmonare 81
5.1.4. Patologii obstructive extratoracice 91
5.1.5. Disfuncția obstructivă a căilor aeriene mari intratoracice..... 91
5.2. Bucla flux volum în bolile obstructive..... 91
5.3. Explorări funcționale complementare în diagnosticul disfuncției obstructive..... 94
5.3.1. Determinarea CPT, CRF şi VR 95
5.3.2. Determinarea Raw şi Gaw 97

5.3.3. Capacitatea de difuziune a CO în disfuncțiile obstructive 98
5.3.4. Explorarea funcțională a căilor aeriene distale 99
5.4. Criterii de diagnostic şi severitate în disfuncțiile obstructive 101

Capitolul 6. Modificarea probelor funcționale respiratorii în principalele boli profesionale pulmonare Fayssal El Husseini, Marina Oțelea, Agripina Raşcu 107
6.1. Introducere 107
6.2. Disfuncții respiratorii în principalele tipuri de afecțiuni pulmonare profesionale 108
6.2.1. Modificări funcționale respiratorii în silicoză 108
6.2.2. Modificări funcționale respiratorii în azbestoză 109
6.2.3. Modificări funcționale respiratorii în alveolită alergică extrinsecă..... 110
6.2.4. Modificări funcționale respiratorii în astmului bronşic profesional 110
6.3. Aplicații practice 112

Capitolul 1. Anatomia aparatului respirator

Agripina Raşcu

1.1. Introducere. Definiții

Aparatul respirator asigură aportul de oxigen (O_2) necesar desfăşurării normale a proceselor metabolice şi elimină din organism dioxidul de carbon (CO_2) rezultat în urma acestor procese.

Respirația este schimbul de gaze (O_2 şi CO_2) între aerul extern şi celulele organismului, realizat prin acțiunea conjugată a aparatului respirator, a aparatului cardio-vascular şi a sintezei hemoglobinei cu metabolismul tisular .

Respirația externă: este etapa pulmonară a procesului de respirație, denumit şi respirație externă. Respirația externă este asigurată de funcționalitatea celor 3 procese fundamentale ce contribuie la schimbul de gaze la nivel pulmonar: ventilația, perfuzia şi difuziunea prin membrana alveolo-capilară.

Componentele aparatului respirator: căile respiratorii şi aparatul respirator propriu-zis, format la rândul lui din cutia toracică şi plămâni.

1.2. Căile aeriene sunt reprezentate de:

- Cavitatea nazală care filtrează, încălzeşte şi umidifică aerul care pătrunde din mediul exterior.
- Faringele, o componentă comună a aparatului respirator şi digestiv.
- Laringele, situat între faringe (superior) şi trahee (inferior), alcătuit din 11 piese cartilaginoase. Este atât organ respirator cât şi de fonație (datorită corzilor vocale).
- Traheea, un conduct rigid, cu lungime de aproximativ 10 cm care purifică, încălzeşte şi umidifică aerul; se întinde de la nivelul cartilajului cricoid până la nivelul carinei, locul unde se ramifică în cele doua bronhii principale, dreaptă şi stângă, canale rigide cu structură cartilaginoasă.
- Bronhiile primitive sunt reprezentate de bronhia dreaptă, care are o direcție mai oblică şi mai scurtă decât bronhia stângă. Bronhiile primitive se ramifică la rândul lor în bronhii interlobare, patru bronhii pe dreapta (superioară, intermediară, medie şi inferioară) şi, respectiv, două pe stânga (superioară şi inferioară), segmentare (zece la nivelul plămânului drept şi nouă la nivelul plămânului stâng) care deservesc segmentele bronhopulmonare. Bronhiile segmentare, se împart mai departe, prin diviziuni dihotomice succesive, până la nivelul bronhiolelor terminale, respectiv al bronhiolelor respiratorii care se deschid în sacii alveolari. Diviziunea dihotomică se realizează până la nivelul generației 24 rezultând un număr de până la 224 bronhiole terminale, care se continuă cu bronhiolele respiratorii, acestea deschizându-se în sacii alveolari. Bronhiile au structura cartilaginoasă până la nivelul bronhiolelor (diviziuni cu diametrul < 1 mm).

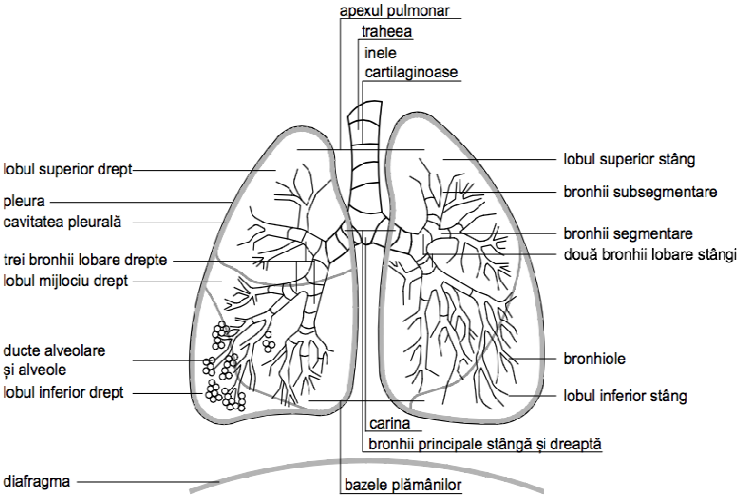

Fig. 1.1 Arborele bronşic

1.3. Cutia toracică este formată din vertebre, coaste, stern şi elemente musculo-aponevrotice, structuri care o transformă într-o cutie închisă inferior de muşchiul diafragm. Diafragmul deşi nu este un component al cutiei toracice, este cel mai important muşchi respirator, participând la respirație prin mişcarea de coborâre în inspir care permite plămânilor să se destindă şi prin ascensionare în expir, ce favorizează eliminarea aerului.

1.4. Plămânii (drept şi stâng) sunt situați în cutia toracică, deasupra diafragmei. Sunt organe spongioase şi elastice, formate din lobi, segmente, lobuli şi acini. Plămânul drept este format din 3 lobi şi cântăreşte aproximativ 650 g, iar plămânul stâng este mai mic, fiind format doar din 2 lobi şi cântărind aproximativ 550 g.

Lobii pulmonari sunt unități morfologice mari, delimitate prin scizuri, independenți structural şi funcțional.

Segmentele pulmonare sunt subdiviziuni anatomice şi funcționale ale lobilor pulmonari, delimitate imperfect de septuri conjunctive.

Lobulii pulmonari sunt mase piramidale cu baza către suprafața externă a plămânului. Sunt constituiți din ramificații ale bronhiolelor şi din vase de sânge, înconjurate de țesut conjunctiv (Fig 2).

Acinii pulmonari sunt alcătuiți din: bronhiola respiratorie, canalele alveolare şi alveolele pulmonare. Acinul pulmonar constituie unitatea structurală şi funcțională a lobului pulmonar. Sunt aproximativ 300 milioane de alveolele pulmonare în fiecare plămân. Alveolele pulmonare sunt cavități microscopice, octoedrice în care se deschid terminațiile căilor aeriene. Peretele alveolar este alcătuit din 2 tipuri de celule (pneumocite): pneumocitele tip 1 celule situate pe o membrană bazală (membrana alveolară) şi pneumocite tip 2, celule granuloase care secreta surfactantul. La periferia alveolelor pulmonare se dispune rețeaua de capilare pulmonare.

Schimbul de gaze respiratorii se efectuează prin membrana alveolo-capilară, a cărei grosime variază între 0.2 - 2.5 μm.

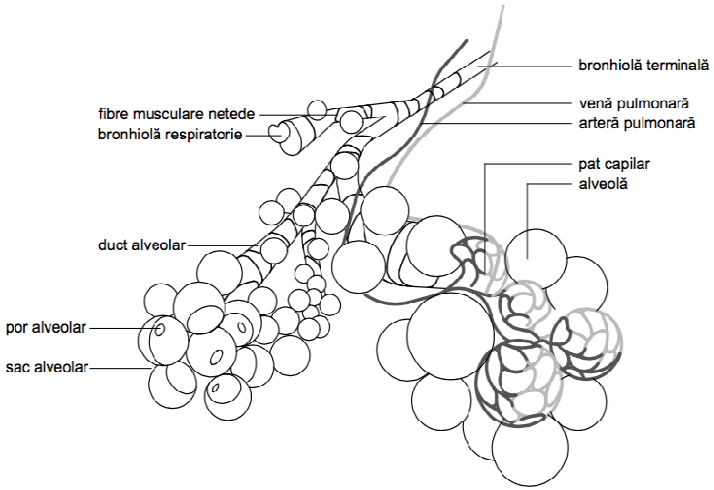

Fig. 1.2 Lobului pulmonar

Din alveole, O_2 difuzează prin membrana bazală alveolară şi membrana bazală capilară, ajungând în endoteliul capilar şi în plasmă, de unde este preluat în hematie, unde se leagă de hemoglobină. CO_2

parcurge acelaşi traseu, dar în sens invers. Transferul O_2 şi, respectiv, al CO_2 se efectuează prin difuzie în funcție de gradientul de presiune existent de o parte şi de alta a membranei alveolo-capilare.

Plămânii sunt acoperiți de pleură, o seroasă care leagă plămânii de cutia toracică şi care reprezintă una dintre componentele necesare realizarea distensiei şi, respectiv, revenirii la volumul de repaos al plămânilor.

Pleura secretă lichidul pleural conținut între cele doua foițe, viscerală şi parietală. Între cele două foițe pleurale se creează un spațiu virtual. Pleura viscerală acoperă plămânii şi se invaginează între lobi pentru a forma scizurile lobare. Pleura parietală rezultă din reflectarea pleurei viscerale la nivelul hilului; îmbracă fața internă a cutiei toracice, fața superioară a diafragmului şi marginile mediastinului.

Hilurile pulmonare, câte unul pentru fiecare plămân, sunt locurile în care converg, sau pe unde bronhiile principale, vasele (artere, vene, limfatice) pătrund sau ies din plămân.

1.5. Vascularizația aparatului respirator este realizată prin circulația pulmonară şi circulația bronşică.

Circulația pulmonară se derulează prin arterele şi venele pulmonare. Artera pulmonară, emergentă din ventriculul drept, aduce la plămân sânge neoxigenat pentru a fi transformat în sânge oxigenat. La nivelul mediastinului, se divide în ramura stânga şi dreaptă care intră în plămâni prin hilul stâng, respectiv drept, apoi se ramifică şi urmează ramificațiile arborelui bronşic. Ramificațiile sunt din ce în ce mai mici până la nivelul vaselor destinate alveolelor, care au un diametru sub 100 μm). Geometria arterelor extraalveolare cu diametru între 100 μm şi 1 mm este variabilă în funcție de ciclul respirator. Peretele arterial înmagazinează energie în timpul inspirului, pe care o cedează în expir, menținând astfel un debit pulmonar constant.

Ramificațiile intraalveolare grupează arteriolele pulmonare şi arteriolele precapilare (cu diametru 5-15 μm), care dau naştere

capilarelor pulmonare. Ele pot fi comprimate dacă presiunea alveolară devine mai mare decât presiunea intravasculară.

Circulația arteriala pulmonară are un debit cvasi-egal cu circulația sistemică, dar regimul de presiune este mai mic, corespunzător elasticității mai mari a peretelui arterelor din circulația pulmonară, a stratului muscular incomplet în arteriolele distale, care favorizează îndeplinirea rolului principal al plămânului, de transfer gazos.

Venele pulmonare transportă sânge oxigenat. Circulația venoasă începe cu rețeaua postcapilară care se deschide în venule şi apoi în vene cu calibru mic (sub 1 mm diametru), ale căror traiecte perilobare este diferit de cel al arterelor. Traiectul sistemului venos pulmonar se va alătura sistemului arterial la nivelul venelor cu calibru mare. Sistemul venos are un volum mai mare şi o suprafață de secțiune mai mare decât sistemul arterial, ceea ce îi conferă rolul de rezervor. Venele pulmonare se varsă în ventriculul stâng la nivelul urechiuşei stângi.

Circulația bronşică face parte din circulația sistemică şi se realizează prin arterele bronşice, vase cu calibru mic (1,5 mm) care se desprind din aorta toracică şi aduc sânge oxigenat de la inimă, distribuindu-l structurilor pulmonare şi din venele bronşice care preiau sângele cu CO_2 pe care îl varsă în venele mediastinale (v. azygos şi v. hemiazygos) şi în venele pulmonare. Cantitatea deversată în venele pulmonare creează un scurt-circuit (un şunt) dreapta – stânga care, în mod normal, nu reprezintă mai mult de 1% din debitul cardiac. În condiții patologice, poate reprezenta, însă un factor ce contribuie la desaturarea sângelui arterial.

Circulația limfatică aduce limfa din regiunea bronhopulmonară la ganglionii hilari, apoi la ganglionii limfatici mediastinali, ulterior la canalul toracic.

1.6. Bariera alveolo-capilară este unitatea funcțională a plămânului, alcătuită, începând de la lumenul alveolar din: film lichidian, epiteliu alveolar, intersitițiu şi endoteliu capilar. Are grosimea de 0,3-0,5 μm. La acest nivel se realizează schimburile gazoase, schimburi de apă şi de substanțe dizolvate în filmul lichidian.

Filmul lichidian endo-capilar este alcătuit din 3 straturi: glicocalixul, în contact cu celulele alveolare în structura căruia se găsesc glicoproteine şi IgA secretorii, stratul apos care conține IgG şi IgA, şi surfactantul - o substanța tensioactivă, care împiedică colabarea alveolelor în expir.

Epiteliul alveolar. Cele 300 milioane de alveole ocupă o suprafată medie de 80 m^2 pentru fiecare plămân. Peretele alveolar este alcătuit în principal din 2 tipuri de celule specifice (pneumocitele): pneumocite tip 1 sunt celule plate, care ocupă aproximativ 95% din suprafața alveolară. Pneumocitele de tip 1 sunt celule subțiri, cu puține organite citoplasmatice, specializate în schimburile gazoase. Pneumocitele de tip 2 sunt celule cuboidale, ce conțin granule prin care se secretă surfactantul pulmonar. Sinteza surfactantului începe după 26 săptămâni de viață fetală; de aceea, prematurii născuți anterior acestei date gestaționale au dificultăți de adaptare a ventilației la viața extrauterină. Celulele de tip 2 au potențialul de a se transforma în celule epiteliale de tip 1, regenerând epiteliul alveolar alterat.

Sunt de menționat câteva elemente particulare ale circulației aerului în spațiile aeriene distale: comunicarea interalveolară (între două alveole vecine) prin intermediul porului Kohn şi comunicarea între alveole şi bronhiole prin intermediul porilor Lambert. Aceste comunicări favorizează ventilația colaterală, permițând ventilarea indirectă a unui teritoriu ale cărui căi normale de ventilație sunt obstruate, dar şi trecerea CO_2 din spațiile insuficient ventilate în cele normal ventilate.

Intersitițul pulmonar este format din: substanța fundamentală cu conținut semnificativ de mucopolizaharide; o componentă celulară alcătuită din macrofage, limfocite şi alte polinucleare; fibre de colagen, de elastina, fibroblaşti şi fibre contractile nonmusculare, sensibile la hipoxie şi la catecolamine, filete nervoase nemielinizate. Interstițiul este inegal distribuit în zonele alevolare: astfel există zone în care alcătuit doar din perete alveolar şi capilar şi zone în care se regăsesc toate structurile descrise mai sus.

Macrofagele alveolare ataşate epiteliului alveolar sau libere în interstiţiu, realizează un important mecanism de apărare, iau parte la reacţii inflamatorii şi sunt implicate în răspunsul imun, activează lizozomii, proteazele, complementul, tromboplastina, citokinele IFγ TNFα, interleukine , precum IL1, IL8.

Endoteliul capilar. Celulele endoteliului capilar sunt numeroase. Ele prezintă miofilamente şi sunt susceptibile să se contracte sub acţiunea mediatorilor (histamină, serotonină). Reprezintă, de asemenea, o sursă de NO, vasodilatator pulmonar natural. Capilarele acoperă în jur de 75% din suprafaţa alveolară (aproximativ 60 m^2).

Bibliografie selectivă:

1. John Hall: Guyton and Hall .Textbook of Medical Physiology. Ed.13; 2015
2. Bogdan M.A : Pneumologia, Ed.Universitara Carol Davila Bucuresti, 2008.
3. Ch. Prefaut: Principes de physiologie respiratoire, Ed. Euromed, Montpellier,1982

Capitolul 2. Noțiuni de fiziologie a ventilației

Marina Oțelea

2.1. Introducere. Definiții

Ventilația este procesul prin care se asigură pătrunderea aerului cu conținut ridicat de O_2 în plămâni şi se elimină din plămâni aerul cu conținut ridicat de CO_2, în urma mişcărilor ritmice ale aparatului respirator. Datorită arhitecturii pulmonare, ventilația cuprinde o cantitate de aer care ajunge în zona de schimb gazos (realizând ventilația alveolară) şi una care nu ajunge până la acest nivel (spațiul mort).

Spațiul mort fiziologic (V_D) cuprinde spațiul mort anatomic (al căilor de conducere aeriene care nu conțin alveole) şi spațiul mort funcțional (spațiul alveolar care nu participă la schimburile respiratorii prin lipsa perfuziei).

Ventilația alveolară (V_A) este egală cu cantitatea de aer ce ajunge în alveole/minut, fiind dependentă de frecvența şi de amplitudinea respirației. V_A se calculează după formula:

V_A = Frecvența respiratorie **x** (volumul curent - spațiul mort)

Ventilația irosită (***wasted ventilation***) (V_I) este raportul între spațiul mort fiziologic şi volumul curent. Este în mod normal situat în jurul valorii de 0.2-0.35 litri. În determinarea ventilației irosite se utilizează valorile CO_2 arteriale ($PaCO_2$), considerându-se că acesta se

echilibrează cvasi-instantaneu cu cea alveolară şi valorile CO_2 în aerul expirat (P_ECO_2). Formula de calcul este următoarea:

$$V_I = (PaCO_2 - P_ECO_2)/PaCO_2$$

Repaosul respirator este rezultatul echilibrului presional realizat în condițiile de expansiune pulmonară corespunzătoare valorii capacității reziduale pulmonare (CRF). Volumul pulmonar care corespunde CRF este volumul la care forța de recul elastic pulmonar (îndreptată spre interior) şi forța de recul elastic al peretelui toracic (îndreptată spre exterior) realizează o presiune intrapulmonară egală cu presiunea atmosferică. De aceea, în acest moment al ciclului respirator nu există flux de aer.

Complianța pulmonară reprezintă gradul de distensibilitate a plămânilor, mai precis raportul dintre variația de volum şi variația de presiune. Dacă plămânii au o variație de volum mai mică pentru o variație de presiune dată, înseamnă că au o complianță mai mică. Dacă plămânii au o variație mai mare de volum pentru o variație dată de presiune, înseamnă că au complianță mai mare. Complianța pulmonară variază în funcție de structura intrinsecă a plămânului şi de structura şi cantitatea de surfactant. Un plămân cu mai multe fibre (elastice şi de colagen) va fi mai greu de destins şi va reveni cu o forță de recul mai mare la volumul inițial. Surfactantul, secretat de celulele epiteliale de tip II, reduce tensiunea de suprafață a lichidului alveolar şi contribuie la asigurarea complianței pulmonare normale.

Complianța peretelui toracic. Este mai mică decât cea toracică. Curba complianței toracice este deplasată la valori de volume mai mici, deoarece reculul elastic pulmonar este mai mare în inspir decât reculul elastic toracic.

Complianța aparatului toraco-pulmonar. Reprezintă complianța integrată a plămânilor şi a peretelui toracic.