

**Ministerul Sănătății al Republicii Moldova
Universitatea de Stat de Medicină și Farmacie
„Nicolae Testemițanu”**

Catedra Medicină internă nr. 5

Explorările funcționale ale sistemului respirator

S.Matcovschi, Eudochia Țernă

Chișinău – 2003

Elaborarea metodică a fost aprobată și recomandată pentru editare de către Comisia Metodică Centrală a USMF „Nicolae Testemițanu” (Proces verbal nr. 5 din 20 martie 2003).

Recenzenți: *Ion Butorov*, profesor universitar

Ion Țâbârnă, profesor universitar

Elaborarea metodică este destinată studenților și rezidenților.

CUPRINS

Introducere	2
Lista abrevierilor	3
Ventilația pulmonară	5
Volumele și capacitățile pulmonare	5
Debitele sau constantele dinamice pulmonare	7
Distribuția ventilației	9
Mecanica pulmonară	9
Metode de explorare și interpretarea rezultatelor	9
Spirografia	10
Bucla flux-volum	17
Pneumotahometria și pneumotahografia	19
Pletismografia barometrică	20
Scintigrafia pulmonară	20
Probele farmacodinamice respiratorii	21
Schimbul de gaze	22
Difuziunea alveolo-capilară a gazelor	24
Gazele sangvine	25
Balanța acido-bazică a sângelui	27
Anexă (Disfuncții ventilatorii → maladii)	29
Bibliografie selectivă	30

INTRODUCERE

Din punct de vedere biologic respirația reprezintă o totalitate de procese, ce asigură oxidarea aerobică în organism, în rezultatul căreia se produce energia necesară pentru viață.

Respirația include următoarele evenimente: ventilația pulmonară, schimbul de gaze dintre aerul alveolar și sângele capilar (din circuitul mic), transportul oxigenului de către sângele arterial și a bioxidului de carbon de către cel venos, schimbul de gaze dintre sângele capilar (din circuitul mare) și țesuturile organismului și respirația tisulară (internă).

Obiectivul explorărilor funcționale respiratorii este investigarea ventilației pulmonare, difuziunii gazelor, perfuziei, raportului ventilație/perfuzie, gazelor sangvine și a balanței acido-bazice.

LISTA ABREVIERILOR

- AB – bicarbonatul actual
- BB – bazele tampon
- BE – excesul de baze tampon
- C – complianța pulmonară
- CI – capacitatea inspiratorie;
- CO₂ – bioxid de carbon
- CPT – capacitatea pulmonară totală;
- CRF – capacitatea reziduală funcțională;
- CRM – capacitatea respiratorie maximă
- CV – capacitatea vitală;
- CVF – capacitatea vitală forțată
- DEM 50 % CVF – debitul expirator mediu la 50 % din capacitatea vitală forțată
- DEM_V – debitul expirator maxim instantaneu de vârf (conform terminologiei engleze - PEF_R)
- DEV – debitul expirator de vârf
- DIM 50 % CV – debitul inspirator mediu la 50 % din capacitatea vitală forțată
- DI_{CO} – difuziunea alveolo-capilare a oxidului de carbon
- Dv_{max} – debitul ventilator maxim pe secundă
- FEF – debitul expirator mediu între 25 și 75 % din capacitatea vitală
- O₂ – oxigen
- PaCO₂ - presiunea parțială a bioxidului de carbon în sângele arterial
- PaO₂ – presiunea parțială a oxigenului în sângele arterial
- pH – logaritmul zecimal negativ al concentrației molare a ionilor de hidrogen
- Raw – rezistența la fluxul de aer
- SB - bicarbonatul standard
- TCO₂ – conținutul total al CO₂ în sânge
- V Emx 50 – debitul expirator maxim instantaneu la 50 % CV
- VC – volumul curent;
- VE repaus – ventilația de repaus/minut
- VEM₂₅₋₇₅ – debitul expirator mediu între 25 și 75 % CV
- VEMS – volumul expirator maxim pe secundă
- VER – volumul expirator de rezervă;

VIR – volumul inspirator de rezervă;
Vmax – ventilația maximă pe secundă
VR – volumul rezidual

VENTILAȚIA PULMONARĂ

Volumele și capacitățile pulmonare

Volumele și capacitățile pulmonare reprezintă valori anatomice respiratorii. Ele sunt de două feluri: volume pulmonare simple sau unități volumetrice primare și capacități pulmonare sau unități compuse. Capacitățile pulmonare se obțin prin sumarea diferitelor volume simple (fig. 1).

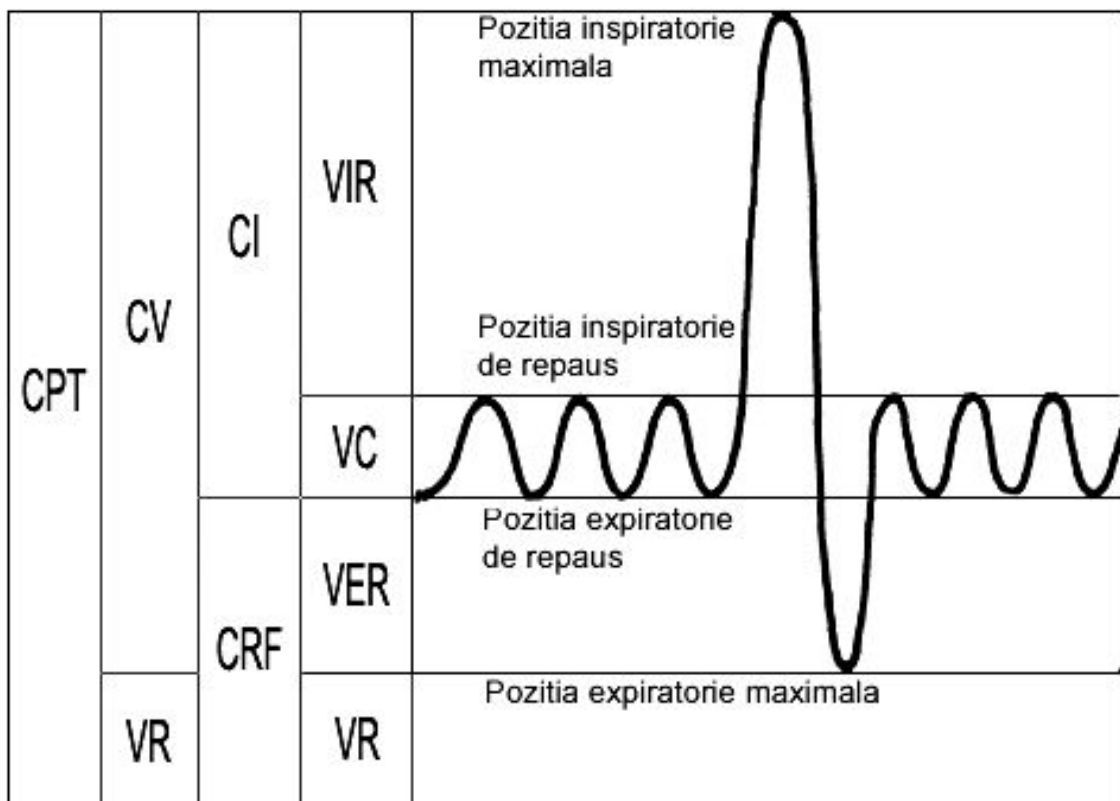


Fig. 1. Volumele și capacitățile pulmonare reprezentate în formă de diagramă.

Legendă: CPT - capacitatea pulmonară totală; CV - capacitatea vitală; VR - volumul rezidual; CI - capacitatea inspiratorie; CRF - capacitatea reziduală funcțională; VIR - volumul inspirator de rezervă; VC - volumul curent; VER - volumul expirator de rezervă; VR - volumul rezidual.

Volumul curent (VC) este volumul de gaz mobilizat cu fiecare inspirație ori expirație în stare de repaus.

Valoarea normală = 500 ml (300 - 900 ml). Scade în respirația superficială (tahipnee). Crește în efort fizic (de 4-5 ori), respirațiile Kussmaul și Cheyne-Stokes, insuficiența respiratorie ușoară.

Volumul inspirator de rezervă (VIR) este volumul maxim de gaz care poate fi inspirat plecând de la sfârșitul unei inspirații de repaus.

Valoarea normală = 1 500 - 2 000 ml (variații mari individuale). Scade în sarcină, efort fizic, emfizem pulmonar, plămân de stază, tumori pulmonare (benigne, maligne, chistice).

Volumul expirator de rezervă (VER) este volumul maxim de gaz care poate fi expirat plecând de la sfârșitul unei expirații de repaus.

Valoarea normală = 1 000 – 1 500 ml. Scade în emfizemul pulmonar, staza pulmonară. Crește la efort fizic.

Valorile normale ale VC, VIR și VER variază în dependență de tipul ventilației pulmonare, de mărimea ventilației/minut, de vârstă, de sex și de înălțime. Semnificația acestor indice e greu de stabilit.

Volumul rezidual (VR) este volumul de gaz care rămâne în plămâni la sfârșitul unei expirații maxime. $VR = CPT - CV$.

Valoarea normală = 1 500 - 2 000 ml la bărbați și 1 000 – 1 500 ml la femei. VR este format din două componente: volumul aerului rezidual alveolar și volumul aerului aflat în spațiul mort.

Spațiul mort este volumul de aer rămas în canalele aeriene la sfârșitul inspirației.

Valoarea normală = 300 ml. Scade în obstrucții bronșice, atelectazii. Crește în emfizem pulmonar, chisturi aeriene deschise, caverne TBC voluminoase etc.

Capacitatea reziduală funcțională (CRF) este volumul de gaz conținut în plămâni la sfârșitul unei expirații de repaus. $CRF = VR + VER$.

Valorile normale variază cu sexul, vârsta și înălțimea. $CRF = 3 000 - 3 500$ ml. Scade în obstrucții bronșice complete, plămân de stază. Crește în emfizem pulmonar, stenoze bronșice, cifoscolioze.

VR și CRF cresc în hiperinflație pulmonară prin: diminuarea reculului elastic pulmonar (emfizem); obstrucție a căilor aeriene, mai ales a celor mici (BPCO), criza de astm bronșic (reversibil); hiperinflație compensatoare după exereză pulmonară, în procese fibrotice localizate, deformări toracice; asocieri ale factorilor de mai sus. Scad în plămânul de stază.

Capacitatea vitală (CV) este volumul de gaz eliminat din plămâni într-o expirație maximă neforțată care urmează unei inspirații maxime, pacientul nefiind limitat în timp. $CV = VC + VIR + VER$.

Valorile normale variază cu sexul, vârsta și înălțimea. În mod normal CV actuală (CVa) = ± 20% CV teoretică (CVt). Scade fiziologic în sarcină, efort fizic, decubit lateral. Scade patologic în: a) limitarea expansiunii plămânilor prin procese pulmonare (pneumonii, tuberculoză, tumori, stază cardiacă, edem pulmonar etc.), procese pleurale (pleurezii, atelectazii, simfize), procese cardio-pericardice (pericardite), creșterea reculului elastic (fibroze), suprimare de parenchim (tuberculoză sau ocluzii bronșice); b) limitarea expansiunii toracelui prin tulburări neuromusculare (poliomelită, pareze de frenic, miastenie, miozite etc.), alterarea mecanicii toracale (cifoscolioză, fracturi costale), procese intraabdominale (ascită, tumori abdominale voluminoase).

Capacitatea pulmonară totală (CPT) este volumul de gaz conținut în plămâni la sfârșitul unei inspirații maxime. $CPT = CV + VR$

Valoarea normală = 4 500 - 6 500 ml. Modificările CPT depind de variațiile componentelor sale, în special de cele ale CV.

Capacitatea inspiratorie (CI) este volumul maxim de gaz care poate fi inspirat plecând de la sfârșitul unei expirații de repaus.

Debitele sau constantele dinamice pulmonare

Capacitatea vitală forțată (CVF) este volumul de gaz eliminat din plămâni într-o expirație completă și forțată care urmează unei inspirații maxime.

Valorile normale variază cu sexul, vârsta și înălțimea. CVF poate fi egală cu CV sau poate fi considerabil mai mică decât CV la pacienții cu obstrucție bronșică.

Volumul expirator maxim pe secundă (VEMS) este volumul de aer eliminat din plămâni în prima secundă a unei expirații complete și forțate.

Valorile normale variază cu sexul, vârsta și înălțimea. Diminuarea VEMS poate fi cauzată de: obstrucție a căilor aeriene și/sau micșorarea reculului elastic pulmonar; scăderea CV; asocierea precedentelor.

Debitul expirator mediu între 25 și 75 % CV (VEM₂₅₋₇₅) este volumul de gaz expirat în jumătatea mijlocie a CV în cursul unei expirații maxime și forțate, raportat la timp.

Partea inițială a curbei ce reprezintă VEMS-ul depinde mai mult de efortul muscular al subiectului examinat și de gradul de dezvoltare a

musculaturii sale, decât de rezistența bronșică. Indicele VEM_{25-75} permite excluderea acestei componente a expirației forțate. Valorile normale variază cu CV. Scăderea VEM_{25-75} indică obstrucția bronșică.

Debitul expirator maxim instantaneu la 50 % CV (V Emx 50) este fluxul de aer maxim ($l.s^{-1}$) atins în cursul unei expirații complete și forțate în momentul în care s-a eliminat 50 % din CV.

Valorile normale variază cu sexul și vârsta. Scăderea $V_{Emax 50}$ poate fi determinată de: creșterea rezistenței la flux în căile aerifere periferice; micșorarea reculului elastic pulmonar; diminuarea volumului pulmonar.

Indicele Tiffeneau (de permeabilitate bronșică) reprezintă raportul dintre VEMS și CV, și se calculează după formula: Indicele Tiffeneau = $VEMS/CV \times 100$.

La subiecții sănătoși scade odată cu vârsta. Scade patologic în obstrucției bronșice.

Curbele de flux-volum (pentru evaluare necesită o tehnologie specifică) evaluează simultan fluxurile respiratorii maxime instantanee la fiecare dintre volumele pulmonare cuprinse în capacitatea vitală.

În baza caracteristicilor curbelor flux-volum poate fi făcută o analiză cantitativă complexă, sintetică, a sindroamelor ventilatorii restrictiv, obstructiv și mixt.

Debitul expirator maxim instantaneu de vârf (DEMV; conform terminologiei engleze - PEFr) este fluxul de aer maxim ($l.s^{-1}$) realizat în cursul unei expirații complete și forțate.

Valorile normale variază cu sexul și vârsta. Micșorarea DEMV poate fi cauzată de: diminuarea forței de contracție a mușchilor ventilatori; diminuarea volumului pulmonar; stenoze ale căilor aeriene; micșorarea reculului elastic pulmonar.

Frecvența respirației pe minut (f) reprezintă numărul de respirații în 1 minut.

Valoarea normală = 12 cicluri/minut.

Ventilația de repaus/minut (VE repaus) reprezintă cantitatea totală de aer inspirat sau volumul total de aer expirat în decurs de un minut, în condiții de ventilație spontană și repaus muscular. $VE \text{ repaus} = VC \times f$.

Valoarea normală = $6 l.min^{-1}$. Mărimea ventilației/minut este definită de nivelul actual al proceselor metabolice, crește cu metabolismul celular, iar în efortul muscular cu puterea acestuia.

Ventilația maximă (Vmax) sau debitul ventilator maxim pe secundă (**DVmax**) sau capacitatea respiratorie maximă (CRM) este volumul maxim de aer ($\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$) care poate fi mobilizat într-un minut, când subiectul examinat ventilează cât poate de adânc și de rapid.

Valoarea normală = 80 - 160 l pentru bărbați și 60 - 120 l pentru femei și variază cu sexul, vârsta și înălțimea. Scăderea Vmax poate fi determinată de: reducerea CV și a complianței pulmonare sau/și de creșterea rezistenței la flux. Scăderea Vmax cu peste 20% față de valoarea teoretică denotă o disfuncție ventilatorie.

Distribuția ventilației

Distribuția ventilației este un fenomen dinamic important ce reprezintă diluarea aerului inspirat în aerul alveolar (CRF) și poate fi studiată prin înregistrarea dinamicii concentrației de N_2 expirat după o singură inspirație maximă de 100 % O_2 .

Utilizarea de tehnici cu ^{133}Xe radioactiv permit studiul distribuției regionale și evaluarea dereglărilor regionale a ventilației.

Mecanica pulmonară

Rezistența la fluxul de aer (Raw)

Raw crește proporțional cu gradul de dereglare a permeabilității căilor aeriene.

Complianța pulmonară (C) este modificarea volumului raportată la o unitate de presiune. $C = dV/dP$ (dV - volumul de aer mobilizat în l; dP - presiunea intratoracică în $\text{cm H}_2\text{O}$).

Valoarea normală = 0,2 l/cm H_2O . C reflectă elasticitatea pulmonară, scade în pneumonie, fibroze pulmonare, edem și congestie pulmonară, atelectazie și crește în emfizemul pulmonar difuz (Dar, în bronhopneumopatiile obstructive poate fi scăzută).

Metode de explorare și interpretarea rezultatelor

Explorarea funcțională respiratorie are ca scop evaluarea capacității funcției respiratorii sau a gradului alterării ei, precum și precizarea mecanismului de producere a tulburărilor ce apar în diverse afecțiuni respiratorii.

Setul "complet" de teste funcționale pulmonare include aprecierea tuturor volumelor și capacităților, debitelor pulmonare, indicilor ventilației, mecanicii, distribuției ventilației, pulmonare și difuziunii

alveolo-capilare. Recurgerea la el cere mult timp și aparataj special, este costisitoare, obositoare pentru pacient, în practica medicală cotidiană nefiind necesară pentru diagnosticul clinic corect.

Spirografia

Spirografia reprezintă o metodă de înregistrare grafică a modificării volumului pulmonar în timpul respirației (Fig. 2.). Ea permite aprecierea (înregistrarea sau calcularea) următorilor indici: VC, VIR, VER, CV, CI, CVF, VEMS, VEM_{25-75} , VE_{max} 50, indicelui Tiffeneau, frecvenței respirației în 1 minut, VE_{repaus} , V_{max} etc. Utilizarea spirometrului concomitent cu un analizator de gaze dă posibilitatea de a aprecia și VR, CRF, CPT, difuziunea alveolo-capilară a O_2 .

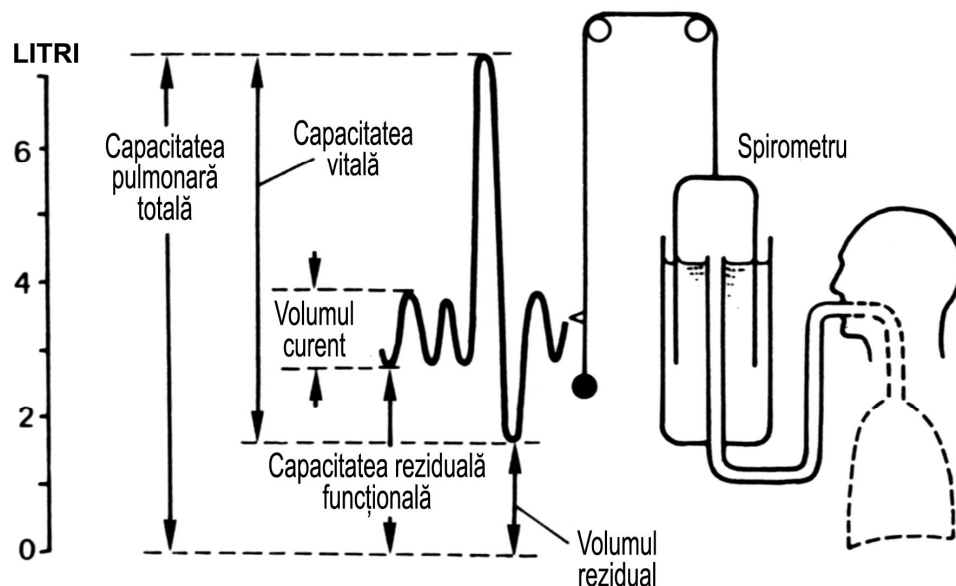


Fig. 2. Înregistrare grafică a modificării volumului pulmonar în timpul respirației.

În figura 3 este prezentată imaginea unei spirograme cu indicarea indicilor esențiali ai ventilației pulmonare.

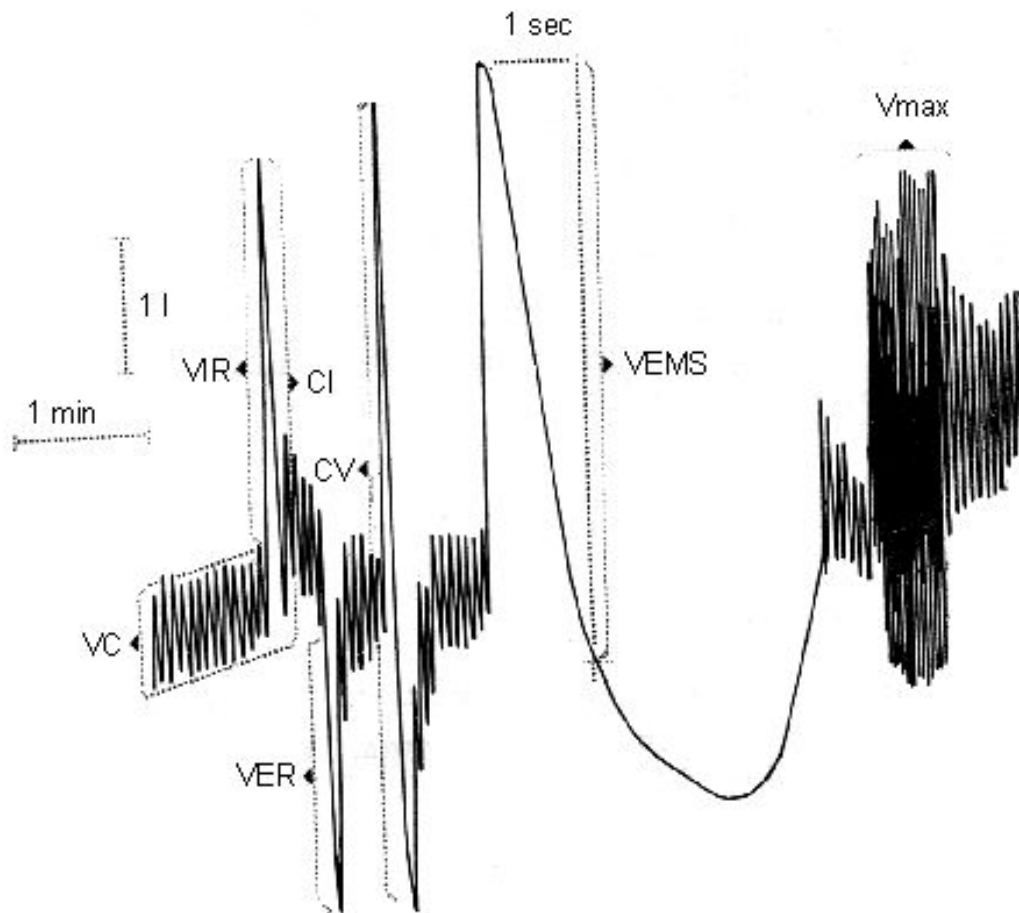


Fig. 3. Spirogramă.

În majoritatea cazurilor utilizarea spiografiei cu determinarea indicilor esențiali (CV, VEMS și indicele Tiffeneau) este suficientă pentru aprecierea tipului (obstructiv, restrictiv sau mixt) și gradului (moderat, important, sever) disfuncției ventilației externe .

Se recurge la metode mai complicate și mai informative în cazurile când rezultatele spiografiei nu coincid cu tabloul clinic, când este necesară o caracteristică mai amplă a disfuncției ventilației externe (de exemplu înainte de toracotomie, intervenție chirurgicală abdominală complicată la pacienți cu patologie pulmonară, pentru aprecierea disfuncțiilor în patologii interstițiale etc.).

Majoritatea valorilor normale a indicilor funcționali pulmonari variază cu sexul, vârsta și înălțimea. De aceea, în practica medicală cotidiană, ei se exprimă în % din valoarea teoretică.

Valoarea indicelui în % din valoarea teoretică = (Valoarea actuală a indicelui x 100)/valoarea teoretică a indicelui.

Capacitatea vitală actuală sau reală (CVa) este CV determinată efectiv cu ajutorul spirometruului, iar capacitatea vitală teoretică (CVt) este o valoare ideală pentru subiecți, în funcție de sex, vârstă, greutate și care poate fi găsită în tabele speciale sau calculată după formulele:

- Bărbați: $CVt = \text{înălțimea (cm)} \times 0,052 - \text{vârsta (ani)} \times 0,028 - 3,2$
- Femei: $CVt = \text{înălțimea (cm)} \times 0,049 - \text{vârsta (ani)} \times 0,019 - 3,76$

VEMS teoretic poate fi calculat după formulele:

- Bărbați: $VEMS (l) = \text{înălțimea (cm)} \times 0,036 - \text{vârsta (ani)} \times 0,031 - 1,41$
- Femei: $VEMS (l) = \text{înălțimea (cm)} \times 0,026 - \text{vârsta (ani)} \times 0,028 - 0,36$

Disfuncțiile ventilatorii externe se clasifică în:

1. Disfuncție ventilatorie externă **obstructivă**, caracterizată prin:

- VEMS scăzut;
- indice Tiffeneau redus;
- CV normal.

2. Disfuncție ventilatorie externă **restrictivă**, caracterizată prin::

- CV diminuată;
- VEMS normal;
- indice Tiffeneau normal sau mărit.

3. Disfuncția ventilatorie externă **mixtă**, caracterizată prin:

- CV redusă;
- VEMS scăzut;
- indice Tiffeneau practic nemodificat.

În figurile 4 - 6 sunt prezentate (schematic) imaginile spiogramelor: normale (fig. 4), în disfuncția ventilației externe restrictive (fig. 5) și în disfuncția ventilației externe obstructive (fig. 6).

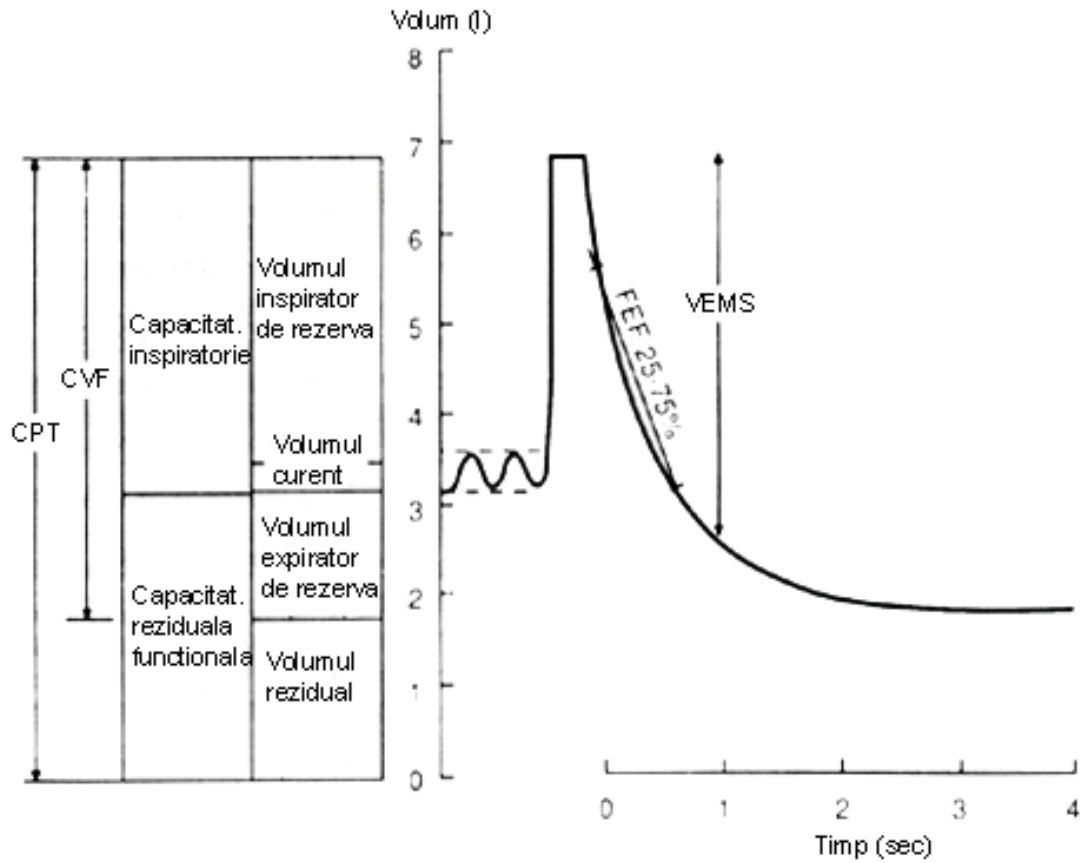


Fig. 4. Spirogramă normala.

Legendă: CPT - capacitatea pulmonară totală; CVF - capacitatea vitală forțată; VEMS - volumul expirator maxim în 1 sec.; FEF - debitul expirator mediu între 25 și 75 % din capacitatea vitală.

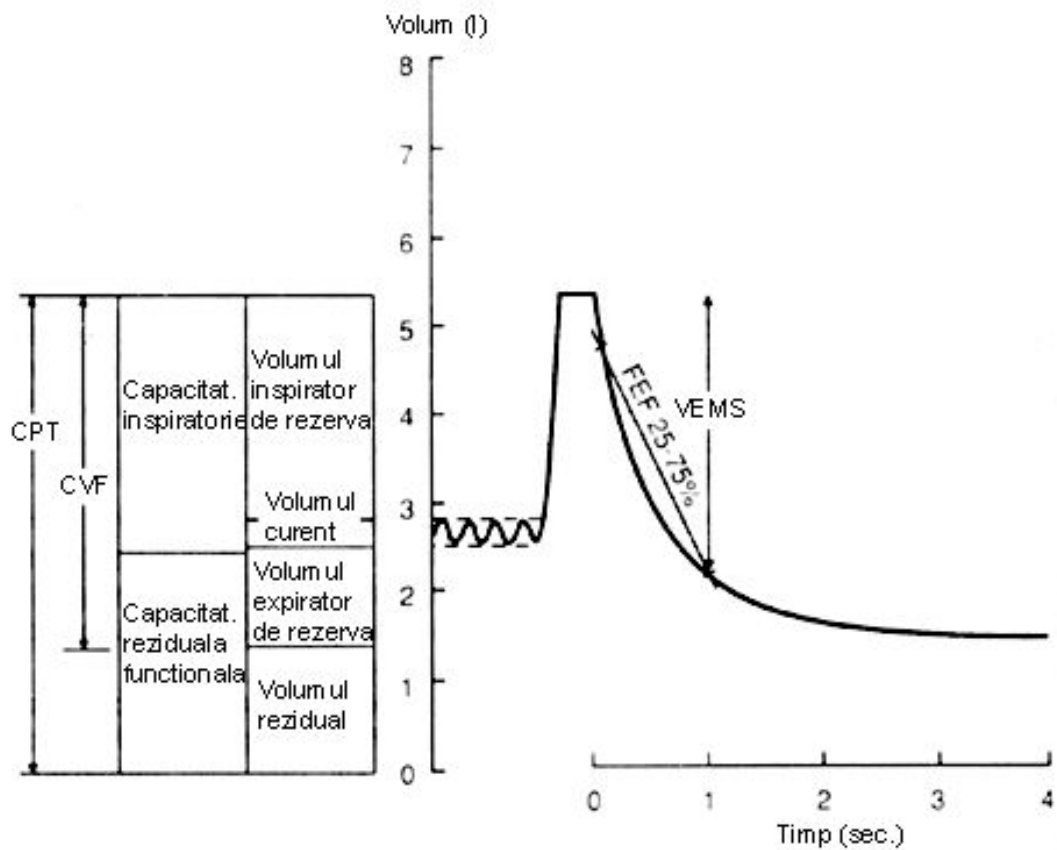


Fig. 5. Spirogramă în disfuncția ventilației externe restrictive.

Legendă: CPT - capacitatea pulmonară totală; CVF - capacitatea vitală forțată; VEMS - volumul expirator maxim în 1 sec.; FEF - debitul expirator mediu între 25 și 75 % din capacitatea vitală.

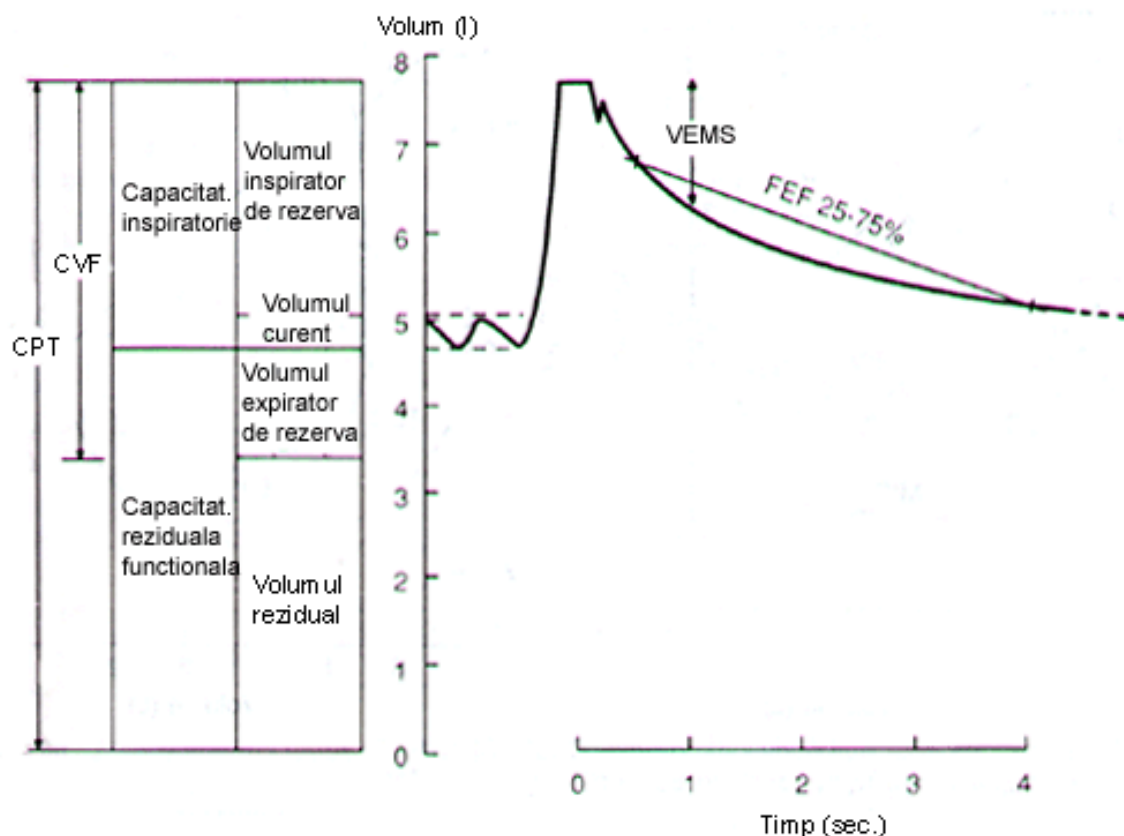


Fig. 6. Spirogramă în disfuncție ventilației externe obstructivă.

Legendă: CPT - capacitatea pulmonară totală; CVF - capacitatea vitală forțată; VEMS - volumul expirator maxim în 1 sec.; FEF - debitul expirator mediu între 25 și 75 % din capacitatea vitală.

Valorile normale și gradul de deviere de la normal ale indicilor ventilației pulmonare sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1. Valorile normale și patologice ale indicilor ventilației pulmonare.

Indicele	Norma	Norma convențională	Gradul de dereglare:		
			moderat	important	sever
CV, % din valoarea teoretică	> 90	90 - 85	84 - 70	69 - 50	< 50
VEMS, % din valoarea teoretică	> 85	85 - 75	74 - 55	54 - 35	< 35
Indicele Tiffeneau (VEMS/CV x 100)	> 65	65 - 60	59 - 50	49 - 40	< 40
CPT, % din valoarea teoretică	91 - 109	110 - 115	116 - 125	126 - 140	> 140
		90 - 95	84 - 75	74 - 60	< 60
VR, % din valoarea teoretică	< 125	125 - 140	141 - 175	176 - 225	> 225
VR/CPT, %	< 5	5 - 8	9 - 15	16 - 25	> 25
Raw, kPa.l ⁻¹ .s	< 2,50	2,51 - 3,00	3,01 - 5,00	5,01 - 7,00	7,01 - 10,0
Vmax, % din valoarea teoretică	> 85	95 - 75	74 - 55	54 - 35	< 35

Legendă: CV - capacitatea vitală; VEMS - volumul expirator maxim in 1 sec.; CPT - capacitatea pulmonară totală; VR - volumul rezidual; Raw - rezistența la fluxul de aer; Vmax - ventilația maximă sau capacitatea respiratorie maximă.

Bucă flux-volum

O altă metodă de apreciere a ventilației pulmonare este analiza buclei flux-volum. Avantajul acestui examen constă în posibilitatea de studiu complex a interrelațiilor fluxului și volumului. Măsurarea acestor indici în timpul manevrei de expirație și inspirație forțată este mai fiziologică și mai relevantă. Bucă flux-volum este generată de un spirometru electronic prin înregistrarea fluxului și volumului în timpul inspirației și expirației forțate. Imaginea buclei flux-volum normale și celei caracteristice pentru dereglările de tip restrictiv și obstructiv a ventilației pulmonare sunt prezentate respectiv în figurile 7 - 9.

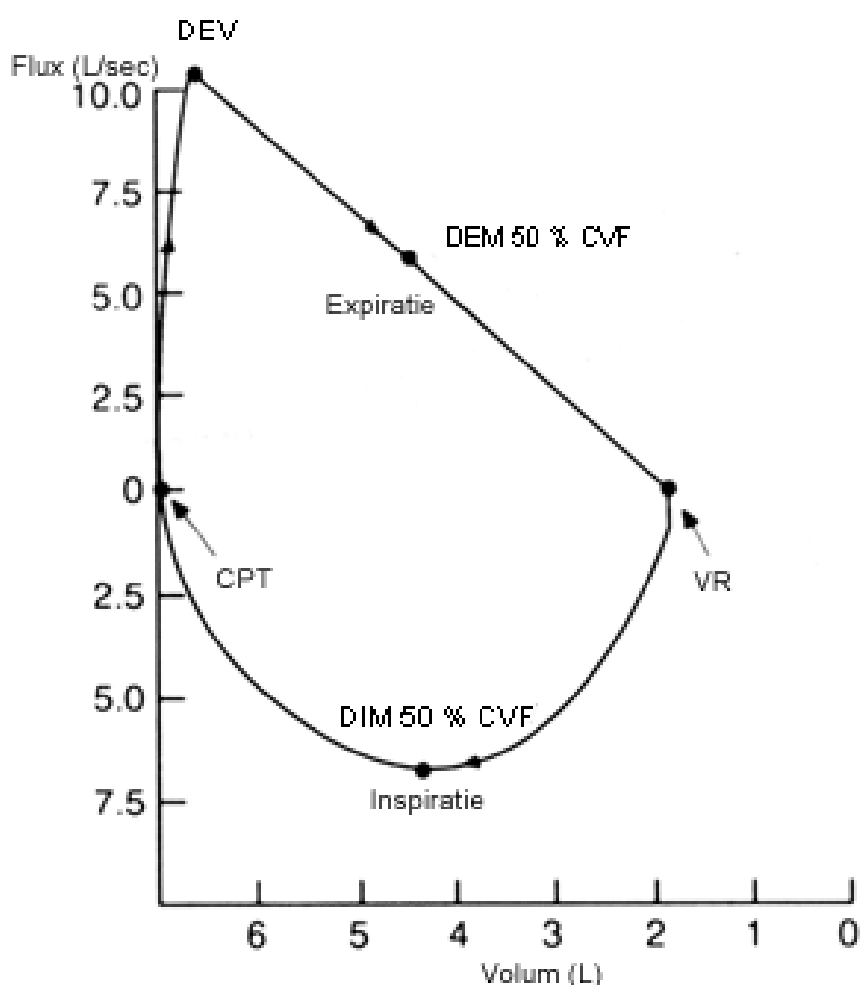


Fig. 7. Bucă flux-volum normală.

Legendă: CPT - capacitatea pulmonară totală; DEV - debitul expirator de vârf; DEM 50 % CVF - debitul expirator mediu la 50 % din capacitatea vitală forțată; DIM 50 % CVF - debitul inspirator mediu la 50 % din capacitatea vitală forțată; VR - volumul rezidual.

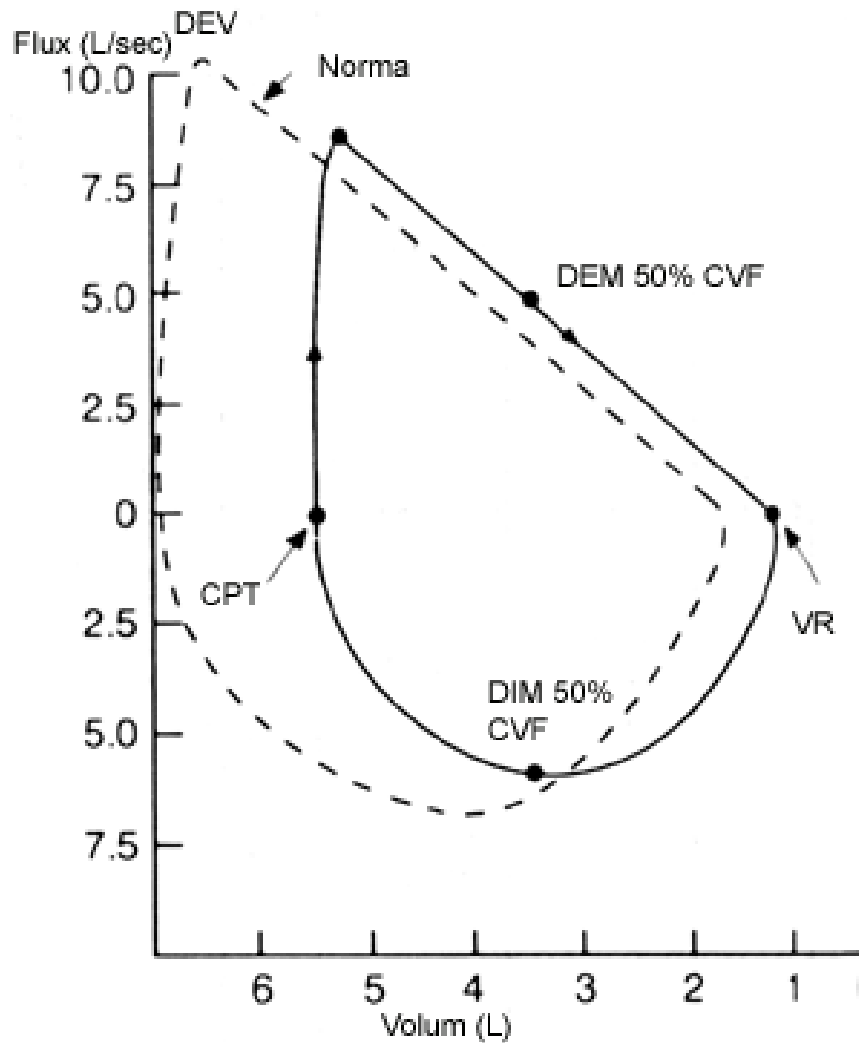


Fig. 8. Buclă flux-volum în disfuncție ventilatorie externă restrictivă.

Legendă: CPT - capacitatea pulmonară totală; DEV - debitul expirator de vârf; DEM 50 % CVF - debitul expirator mediu la 50 % din capacitatea vitală forțată; DIM 50 % CVF - debitul inspirator mediu la 50 % din capacitatea vitală forțată; VR - volumul rezidual.

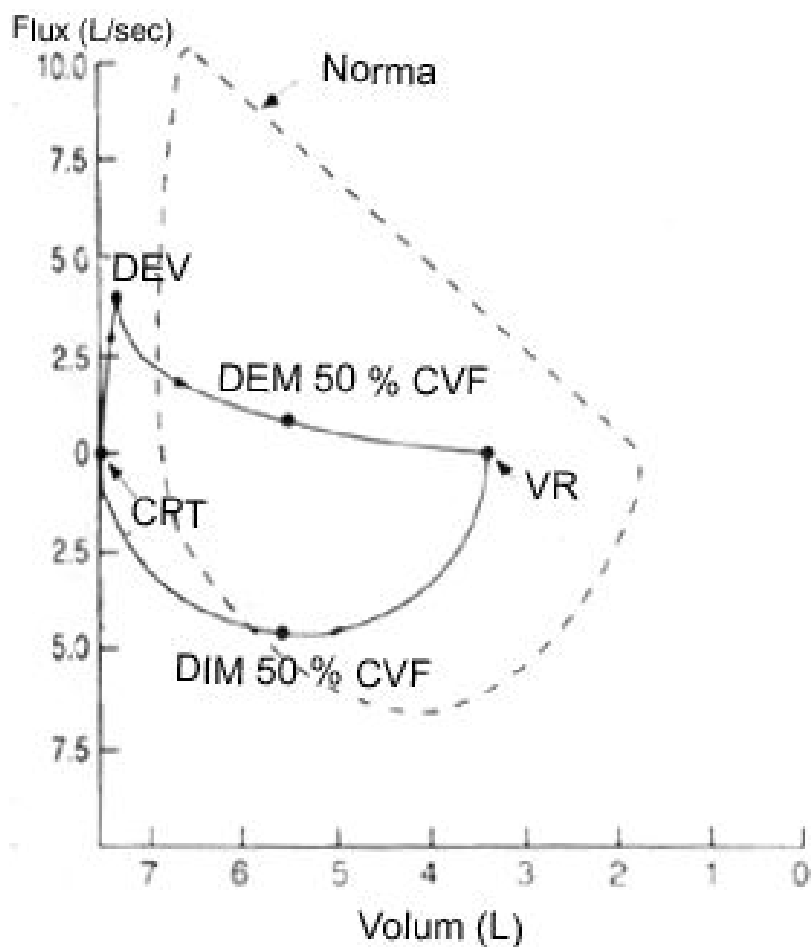


Fig. 9. Buclă flux-volum în disfuncție ventilatorie externă obstructivă.

Legendă: CPT - capacitatea pulmonară totală; DEV - debitul expirator de vârf; DEM 50 % CVF - debitul expirator mediu la 50 % din capacitatea vitală forțată; DIM 50 % CV - debitul inspirator mediu la 50 % din capacitatea vitală forțată; VR - volumul rezidual.

Pneumotahometria și pneumotahografia

Pneumotahometria și pneumotahografia permit măsurarea și, respectiv, înregistrarea volumelor și a fluxului de aer expirat sau inspirat. Există o varietate de pneumotahometre, dar ele toate sunt bazate pe un principiu comun. Cu ajutorul pneumotahometrului (pneumotahografului) pot fi apreciate: CV, CVF, VEMS, raportul VEMS/CV, raportul flux-volum în timpul unei expirații forțate (bucla flux-volum) și alți indici. Pentru supravegherea ambulatorie a bolnavilor cu sindrom bronhoobstructiv, în special a celor cu astm bronșic, se folosesc aparate portative speciale ce permit aprecierea DEMV - Peak flow-metru.

Pletismografia barometrică

Pletismograful barometric reprezintă o cabină etanșă, în care se creează o "microatmosferă" în jurul subiectului care este plasat în ea, și un dispozitiv de înregistrare a modificărilor presiunii din această atmosferă, cauzate de mișcările respiratorii. Pletismografia, în asociere cu pneumotahografia sau spirografia, permite aprecierea volumelor pulmonare (inclusiv volumul gazelor intratoracice), complianței pulmonare și rezistenței căilor aeriene.

Scintigrafia pulmonară

Scintigrafia permite explorarea ventilației, circulației sangvine pulmonare și a raportului ventilație/perfuzie.

Ventilația pulmonară

Utilizarea xenonului radioactiv (^{133}Xe) este o metodă ideală pentru studiul distribuției regionale a gazelor în plămâni și evaluarea dereglărilor regionale a ventilației. Cantitatea de ^{133}Xe în fiecare zonă a plămânilor se apreciază cu detectoare plasate în exteriorul cutiei toracice. În fig. 10 este prezentată o scintigramă pulmonară de ventilație (vizualizarea plămânilor prin inhalarea de ^{133}Xe).

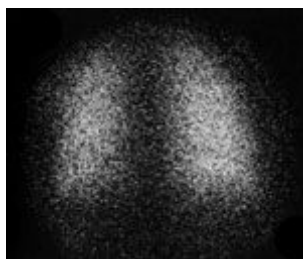


Fig. 10. Scintigramă pulmonară de ventilație (^{133}Xe).

Circulația sangvină

Același principiu poate fi folosit pentru examinarea perfuziei pulmonare (fig. 11) generale și regionale (se recurge la $^{99\text{m}}\text{Tc}$ sau I radioactiv introdus intravenos). Absența totală a radioactivității într-un teritoriu pulmonar este un indice diagnostic al emboliei pulmonare. Reducerea parțială a radioactivității poate avea loc în diverse boli cronice, precum bronhopneumopatia cronică obstructivă.

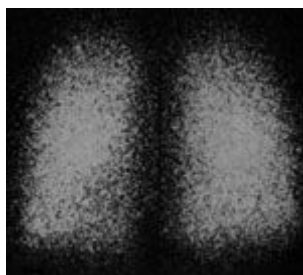


Fig. 11. Scintigramă pulmonară de perfuzie (^{131}I).

Raportul ventilație/perfuzie

Rezultatele studiului ventilației și perfuziei pot fi aplicate pentru calculul raportului ventilație/perfuzie pulmonară generală și regională.

Valoarea normală a raportului ventilație/perfuzie = 0,8.

Probele farmacodinamice respiratorii

1. **Testele de provocare bronșică** se practică în scopul depistării unei hiperreactivități bronșice.

Inhalarea de acetilcolină, sub formă de aerosoli 1%, va produce la persoanele sănătoase o scădere a VEMS-ului cu 10%, iar la cei hiperreactivi - cu 20%, sau mai mult. Se utilizează practic numai în caz de astm bronșic pentru confirmarea diagnosticului. Propranololul este un bronho-constrictor mai moderat, cu risc redus de declanșare a unei crize de bronho-spasm. Se administrează 5-8 mg intravenos.

2. **Testele de bronhodilatație** se execută la persoane cu bronhospasm manifest, în vederea investigării componentei reversibile a fenomenului sau pentru testarea eficacității diferitelor substanțe dilatatoare, în vederea unui tratament cu eficiența maximă.

Inhalarea de Salbutamol, Clenbuterol, Fenoterol, Hexoprenalină determină o creștere a VEMS-ului cu 10% la normal și cu 20% la astmatici.

Interpretarea rezultatelor testelor farmacodinamice este prezentat în tabelul 2.

Tabelul 2. Teste farmacodinamice respiratorii

Preparatul utilizat	Efectul	Interpretare
Acetilcolină (test de provocare)	Lipsa schimbărilor permeabilității bronhiilor	Maladia, dacă și există, nu a modificat sensibilitatea bronhiilor
	Micșorarea VEMS-ului > 20 % sau creșterea importantă a Raw	Bronhospasm important compatibil cu astmul bronșic
	Micșorarea VEMS-ului cu 10 - 20 % sau creșterea moderată a Raw	Bronhospasm moderat compatibil cu bronșita acută, cu bronhopneumopatia cronică obstructivă sau unele cardiopatii
Salbutamol sau Clenbuterol sau Fenoterol sau Hexoprenalină (test de reversibilitate a obstrucției bronșice)	Normalizarea permeabilității bronhiilor	Bronhospasm compatibil cu astmul bronșic
	Ameliorarea Raw și a VEMS-ului > 10 %, dar fără normalizarea permeabilității bronhiilor	Existența bronhospasmului, care este responsabil doar parțial de deteriorarea permeabilității bronhiilor
	Lipsa schimbărilor permeabilității bronhiilor	Lipsa bronhospasmului în mecanismul de deteriorare a permeabilității bronhiilor

SCHIMBUL DE GAZE

Obiectivul major al respirației este aprovizionarea țesuturilor organismului cu oxigen și eliminarea bioxidului de carbon. Principalele etape de pătrundere a oxigenării în țesuturi și de eliminare a bioxidului de carbon sunt prezentate în figura 12.

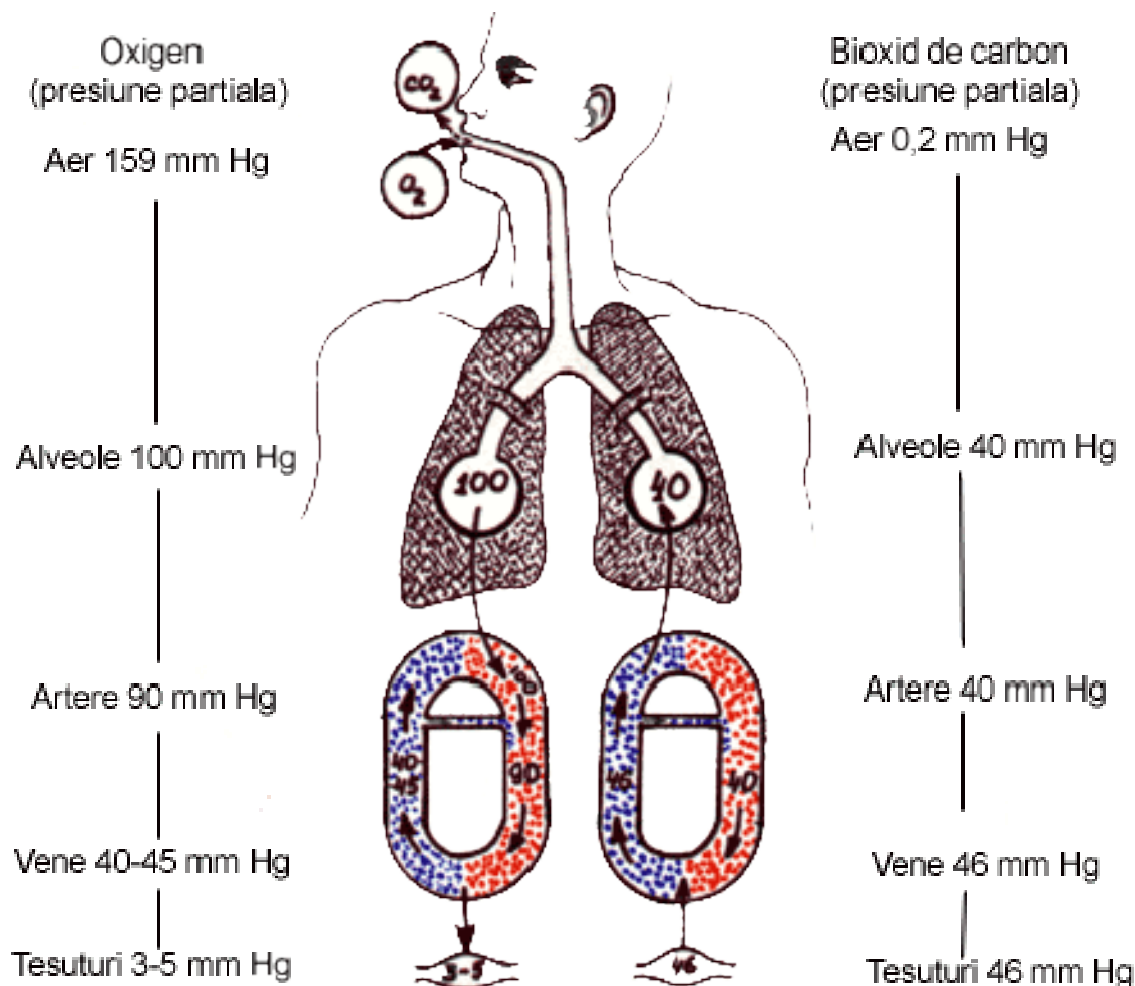


Fig. 12. Metabolismul oxigenului și bioxidului de carbon

Factorii fiziologici de transport a oxigenului din din aerul ambiant în sânge și a bioxidului de carbon din sânge în aerul ambiant sunt prezentați în figura 13.

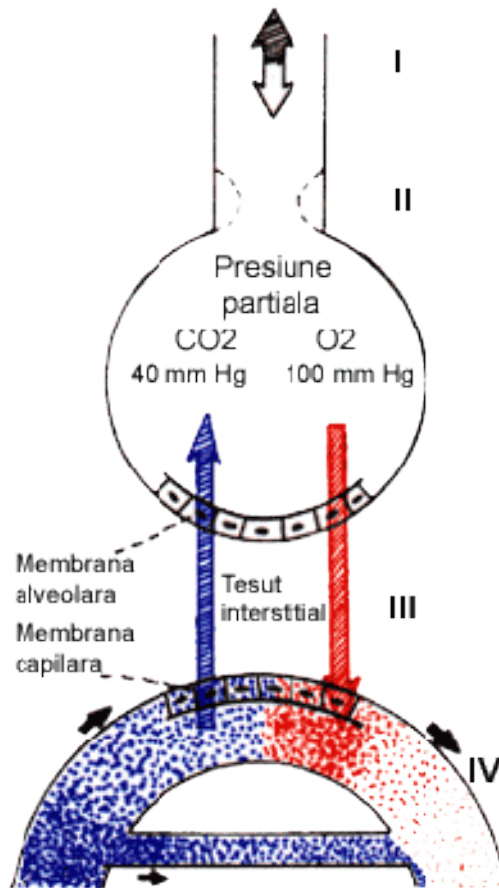


Fig. 13. Factorii de transport a oxigenului din aerul ambient în sânge și a bioxidului de carbon din sânge în aerul ambient.

- I - ventilația pulmonară;
- II - distribuția aerului în bronhiile de calibru mic și alveole;
- III - difuzia O_2 din alveole în sângele capilar și a CO_2 din sângele capilar în alveole;
- IV - perfuzia capilară adecvată.

Difuziunea alveolo-capilară a gazelor

Difuziunea alveolo-capilară a oxigenului poate fi determinată indirect, prin estimarea difuziunii alveolo-capilare a oxidului de carbon (CO) (DI_{CO}), care are o solubilitate în țesuturi compatibilă cu cea a O_2 .

DI_{CO} este dependentă de grosimea și suprafața membranei alveolo-capilare, relația ventilație/perfuzie și alți factori. DI_{CO} scade în afecțiuni pulmonare interstițiale, fibroze pulmonare, emfizem, dar și în anemii, dereglarea raportului ventilație/perfuzie etc. Determinarea DI_{CO} este deosebit de utilă în fibrozele pulmonare (de exemplu: boala Hamman-Rich), sarcoidoză, emfizem pulmonar.

Gazele sangvine

Deoarece obiectivul major al funcției plămânilor este oxigenarea sângelui și eliberarea lui de surplusul de bioxid de carbon, conținutul gazelor sangvine caracterizează integral activitatea sistemului bronhopulmonar.

Oxigenul (O₂) se dizolvă foarte greu în sânge (aproximativ 3 ml O₂/1000 ml plasmă), cantitatea lui esențială fiind transportată sub formă de oxihemoglobină. 1 g de hemoglobină poate lega circa 1,4 ml O₂, ceea ce înseamnă că 1 l sânge cu hemoglobinemia de 150 g/l va transporta 208 ml O₂. Conținutul acestui gaz în sânge mai depinde și de presiunea lui parțială (PaO₂), mărindu-se odată cu creșterea PaO₂ și viceversa. PaO₂ este indicele cel mai informativ.

Pentru interpretarea oxigenării sângelui trebuie de ținut cont de faptul, că valorile normale ale PaO₂ scad cu vârsta (tab. 3).

Tabelul 3. Valorile normale ale presiunii parțiale a oxigenului din sângele arterial (PaO₂) în funcție de vârstă.

Vârsta (ani)	Valoarea medie a PaO ₂ (mm Hg)	Variații
20-29	95	80-110
30-39	90	78-108
40-49	86	75-104
50-59	82	71-100
60-69	78	67-95

Valoarea teoretică normală a PaO₂ în dependență de vârstă poate fi calculată după formula propusă de Nunn (1977): PaO₂ = 102 - (0,33 x vârsta în ani) [J.Chretien, J.Marsac. Pneumologie. Ed. Masson, Paris, 1990, 533 p.].

Mecanismele instalării hipoxemiei sunt prezentate în figurile 14 și 15.

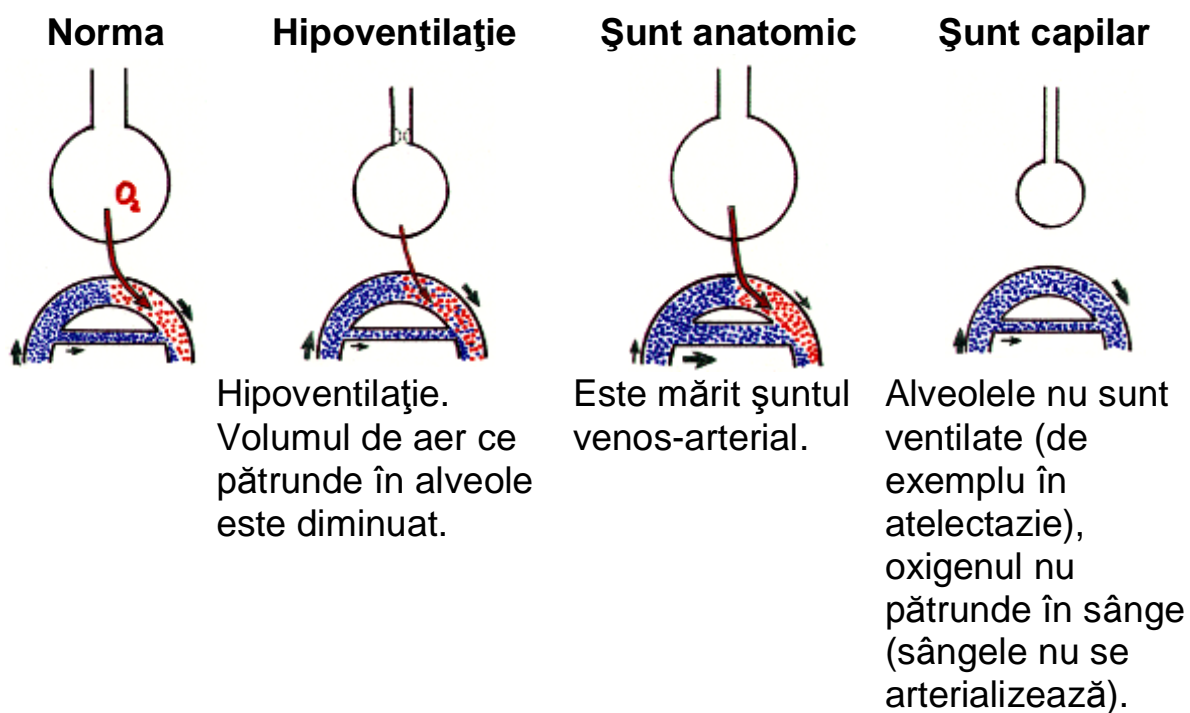


Fig. 14. Mecanismul hipoxemiei.

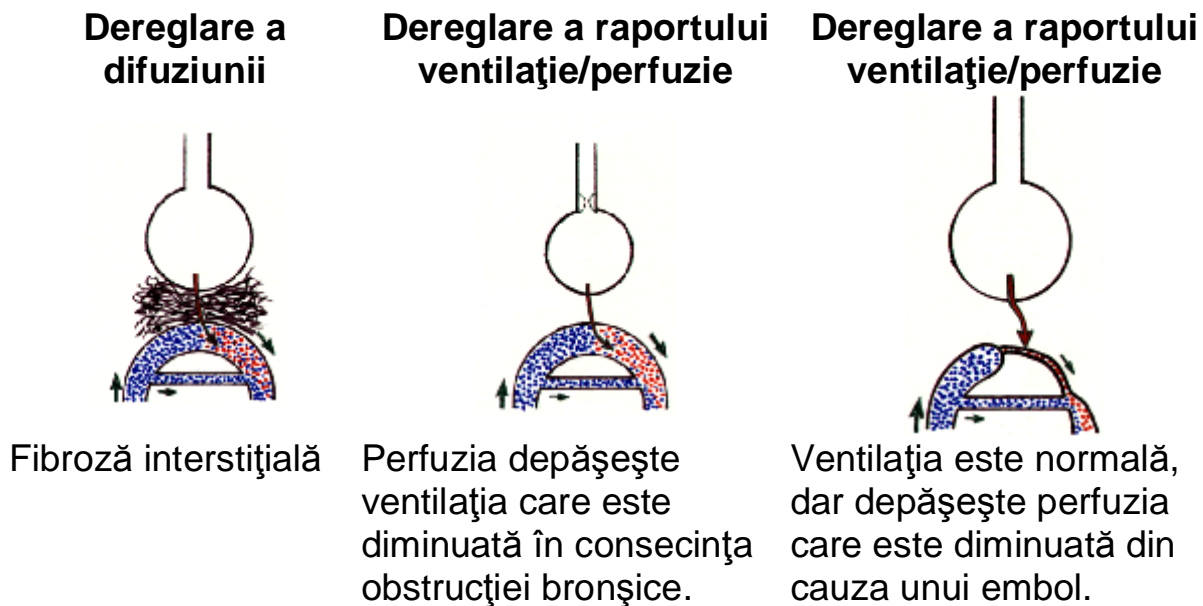


Fig. 15. Mecanismul hipoxemiei (continuare).

Bioxidul de carbon (CO_2) este produsul final al metabolismului. Ca și O_2 , CO_2 în sânge se află în stare dizolvată în plasmă și fixată. Deși coeficientul de solubilitate al CO_2 este de 20 ori mai mare ca cel al O_2

(valoarea normală = 24 ml/l de plasmă sangvină), cantitatea esențială a acestui gaz e transportată în formă de bicarbonat (HCO_3^-). Conținutul total de CO_2 în sânge constituie 520 ml/l de sânge. Valoarea normală a presiunii parțiale a bioxidului de carbon în sângele arterial (PaCO_2) variază de la 35 până la 45 mm Hg (4,7 - 6,0 kPa), în medie - 40 mm Hg (5,3 kPa). PaCO_2 este unicul indice respirator al balanței acido-bazice.

BALANȚA ACIDO-BAZICĂ A SÂNGELUI

Balanța acido-bazică este o constantă fiziologică, menținerea căreia are importanță majoră pentru activitatea vitală a organismului și se caracterizează prin următorii indici: pH, PaCO_2 , bicarbonatul actual și cel standard, bazele tampon, excesul de baze tampon și conținutul total de CO_2 .

Prin indicele **pH** se înseamnă logaritmul zecimal negativ al concentrației molare a ionilor de hidrogen: $\text{pH} = -\lg [\text{H}^+]$. pH-ul caracterizează mărimea reacției active a sângelui.

Bicarbonatul actual (AB), sau concentrația ionilor de acid carbonic (HCO_3^-), depinde de conținutul CO_2 și în dereglările respirației poate varia.

Bicarbonatul standard (SB), este concentrația HCO_3^- determinată în condiții standard: $\text{PaCO}_2 = 40$ mm Hg (5,3 kPa), temperatura corpului 37°C și saturația completă a hemoglobinei cu oxigen. Acest indice are o însemnătate diagnostică mai mare, decât AB, deoarece el oglindește dereglările metabolice ale balanței acido-bazice a sângelui.

Bazele tampon (BB) exprimă concentrația totală a ionilor tampon, în special ai bicarbonaților și proteinelor, în sânge complet oxigenat. Importanța lor diagnostică este minoră, deoarece acest indice este o funcție a PaCO_2 .

Excesul de baze tampon (BE) este indicele cel mai important al balanței acido-bazice sangvine. El caracterizează în ansamblu devierea ionilor sistemelor tampon și indică originea deteriorării balanței acido-bazice.

Conținutul total al CO_2 în sânge (TCO_2) este suma $\text{AB} + (\text{PaCO}_2 \times 0,03)$ și are o importanță diagnostică minoră.

Valorile normale ale indicilor balanței acido-bazice sunt prezentate în tabelul 4. Cei mai importanți indici pentru diagnostic sunt: pH, PaCO_2 , SB, BE și BB.

Tabelul 4. Valorile normale ale indicilor balanței acido-bazice.

Indicii	Valorile normale
pH	7,35 - 7,45
PaCO ₂	35 - 45 mm Hg
AB (bicarbonat actual)	18,3 - 23,4 mmol/l
SB (bicarbonat standard)	21 -25 mmol/l
BB (baze tampon)	46 - 52 mmol/l
BE (exces de baze tampon)	(- 2,3) - (+ 2,3) mmol/l

Dereglările balanței acido-bazice sunt acidoza sau alcaloza, care în dependență de cauză pot fi respiratorii sau metabolice, iar conform gradului de expresie - compensate, subcompensate sau decompensate. Uzual sunt evidențiate: acidoza respiratorie, alcaloza respiratorie, acidoza metabolică, alcaloza metabolică.

Pentru aprecierea caracterului și gradului de deteriorare a balanței acido-bazice poate fi folosită clasificarea (Thiele, 1967).

Dereglări simple ale balanței acido-bazice

Acidoză metabolică

- compensată: pH = N; BE < N; PaCO₂ < N.
- subcompensată: pH < N; BE < N; PaCO₂ < N.
- decompensată: pH < N; BE < N; PaCO₂ = N.

Acidoză respiratorie

- compensată: pH = N; BE > N; PaCO₂ > N.
- subcompensată: pH < N; BE > N; PaCO₂ > N.
- decompensată: pH < N; BE = N; PaCO₂ > N.

Alcaloză metabolică

- compensată: pH = N; BE > N; PaCO₂ > N.
- subcompensată: pH > N; BE > N; PaCO₂ > N.
- decompensată: pH > N; BE > N; PaCO₂ = N.

Alcaloză respiratorie

- compensată: pH = N; BE < N; PaCO₂ < N.
- subcompensată: pH > N; BE < N; PaCO₂ < N.
- decompensată: pH > N; BE = N; PaCO₂ < N.

Dereglări combinate ale balanței acido-bazice

- acidoza metabolică și respiratorie ($\text{pH} < \text{N}$; $\text{BE} < \text{N}$; $\text{PaCO}_2 > \text{N}$);
- alcaloza metabolică și respiratorie ($\text{pH} > \text{N}$; $\text{BE} > \text{N}$; $\text{PaCO}_2 < \text{N}$);
- acidoza metabolică și alcaloza respiratorie (pH de mărime diversă; $\text{BE} > \text{N}$; $\text{PaCO}_2 < \text{N}$);
- alcaloza metabolică și acidoza respiratorie (pH de mărime diversă; $\text{BE} > \text{N}$; $\text{PaCO}_2 > \text{N}$).

Notă: N = valoare normală.

ANEXĂ

Disfuncții ventilatorii → maladii

Disfuncție obstructiva

- Astm bronșic
- Bronhopneumopatie cronică obstructivă (bronșită cronică obstructivă, emfizem pulmonar)
- Bronșită acută obstructivă
- Bronșiolită
- Bronșiectazie
- Mucoviscidoză (Fibroză chistică)

Disfuncție restrictivă

Boli pleuro-pulmonare

- Sarcoidoză
- Fibroză pulmonară
- Pneumonie
- Tuberculoză
- Pneumoconioză
- Pleurezie
- Pneumotorax

- Tumori pleurale
- Stare după lobectomie, pulmonectomie

Boli extrapulmonare

- Afecțiuni neuromusculare
- Paralizie neuromusculară
- Miastenie
- Distrofie musculară
- Leziuni ale coloanei cervicale
- Afectarea cutiei toracice
- Cifoscolioză
- Obezitate
- Spondilită anchilopoietică

Disfuncție mixtă (obstructivă și restrictivă)

Poate fi întâlnită în diverse asocieri de maladii (de exemplu: bronșită cronică obstructivă + fibroză pulmonară; silicoză + bronșită cronică obstructivă etc.).

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. Botnaru V. Bolile aparatului respirator. Chișinău, 2001.
2. The Merck Manual of Diagnosis and Therapy - 16th Ed., Division of MERCK & CO., INC., Rahway, N.J., 1992.
3. Chretien J., Marsac J. Pneumologie. 3^e Edition, Ed. Masson, Paris, 1990.
4. Ruppel G. Manual of pulmonary function testing. Second Edition, The C.V. Mosby Company, St. Louis, 1979.
5. Forster R.E., Dubois A.B., Briscoe W.A., Fisher A.B. The Lung. Physiologic Basis of Pulmonary Function Tests. Third Edition. Year Book Medical Publishers inc., Chicago – London, 1986.
6. Руководство по пульмонологии. Под ред. Н.В.Путова, Г.Б.Федосеева. Москва, “Медицина”, 1978.