

TESTUL DE EFORT CARDIOPULMONAR - COMPLEXITATE ȘI PERFORMANȚĂ

MINODORA TEODORU¹, ADRIAN TEODORU², IOAN MANIȚIU³

^{1,2,3}Universitatea „Lucian Blaga” din Sibiu

Cuvinte cheie: testul de efort pulmonar, cardiopatie ischemică, insuficiență cardiacă, gaze respiratorii

Rezumat: Testul de efort cardiopulmonar este o investigație avansată, specializată ce caracterizează într-un mod complex capacitatea de efort a persoanei care îl efectuează. Astfel, în momentul efortului se monitorizează electrocardiograma, tensiunea arterială și saturația oxigenului, sunt măsurate rata consumului de oxigen și a consumului de bioxid de carbon, precum și numeroși parametri ventilatori. Informațiile obținute permit o evaluare a tuturor aparatelor și sistemelor implicate în procesul de efort: cardiovascular, respirator, musculoscheletal, hematopoetic și neuropsihic. În acest articol vom prezenta cei mai importanți parametri rezultați în urma efectuării testului de efort cardiopulmonar, precum și interpretarea lor.

Keywords: cardiopulmonary exercise test, ischaemic cardiopathy, heart failure, respiratory gases

Abstract: Cardiopulmonary exercise testing is a specialized advanced investigation characterizing in a complex manner the exercise capacity of the person who undertakes it. Thus, on effort electrocardiogram, blood pressure and oxygen saturation are monitored, oxygen consumption rate and carbon dioxide consumption are measured, as well as other ventilator parameters. The information obtained allows an evaluation of all organs and systems involved in the effort process: cardiovascular, respiratory, musculoskeletal, hematopoietic and mental. In this article, we present the most important parameters resulted from the cardiopulmonary exercise testing and their interpretation.

Testul de efort cardiopulmonar (TECP) reprezintă un test de efort care aduce numeroase informații cu privire la aparatul cardiovascular, respirator, musculoscheletal, hematopoetic și neuropsihic. Pe lângă urmărirea simptomatologiei la efort, monitorizarea ECG și a tensiunii arteriale, acesta beneficiază și de măsurarea ratei consumului de oxigen (VO₂), ratei producției CO₂ (VCO₂), a parametrilor ventilatori și a saturației de O₂. Pacientul va respira într-un sistem închis ce va permite analiza acestor parametri. Datele obținute astfel sunt numeroase și interpretarea acestora este deseori dificilă.

Pentru efectuarea efortului în cadrul TECP se poate utiliza cicloergometrul sau banda rulantă. Avantajele bicicletei ar fi lipsa balansului brațelor în timpul efortului, o măsurare mai acurată a sarcinii de efort, necesitatea unui spațiu mai redus și ușurință în determinarea tensiunii arteriale. În același timp, banda rulantă presupune un efort natural, deseori mai confortabil pacienților. Consumul maxim de oxigen pe cicloergometru este cu 5-11% mai mic decât pe banda rulantă.^(1,2)

Protocoalele utilizate pot cuprinde fie un test de efort incremental maximal cu creșterea ratei efortului cu 5-25 W/min, fie un test cu efort constant de durată de 6-10 minute, util mai ales pentru urmărirea cineticii respiratorii și a schimburilor gazoase.

Înainte începerii efortului se estimează clinic capacitatea de efort a pacientului pentru a se stabili rata de creștere a sarcinii efortului. La începutul efortului este necesară o perioadă de acomodare a respirației în sistemul închis, precum și o acomodare cu efortul minim, după care sarcina va crește progresiv până la epuizare.

Indicațiile TECP sunt multiple (3), cu aplicații mult mai variate decât un test de efort simplu. Testarea de efort este

necesară deoarece evaluarea funcției cardiace și pulmonare în repaus nu pot prezice cu mare acuratețe performanța la efort.

În scop diagnostic, TECP este indicat în caz de dispnee fără o cauză aparentă, capacitate scăzută de efort, hipoxemie la efort sau astm indus de efort.

În caz de insuficiență cardiacă și afectare vasculară pulmonară, TECP are mai ales un scop prognostic. Caracterizarea capacității funcționale poate fi realizată de către TECP în caz de evaluare preoperatorie, evaluarea scăderii toleranței la efort, selectarea pacienților pentru transplant cardiac, evaluarea răspunsului la tratament. O aplicație foarte importantă și o indicație în cadrul managementului modern în prevenția secundară a pacienților cu patologie cardiovasculară, o constituie prescripția tipului de efort pentru recuperare cardiacă și pulmonară.

Contraindicațiile TECP sunt în general comune cu ale testului de efort simplu (4,5) și sunt determinate de modificări ECG ischemice acute, angină instabilă, insuficiență cardiacă congestivă decompensată, aritmii necontrolate, bloc atrioventricular de grad III, hipertensiune arterială necontrolată (TAs>250 mmHg, TAd>120 mmHg), tromboflebită, trombi intracardiaci, miocardită, pericardită acută, stenoză aortică strânsă sau o saturație a oxigenului < 85%.

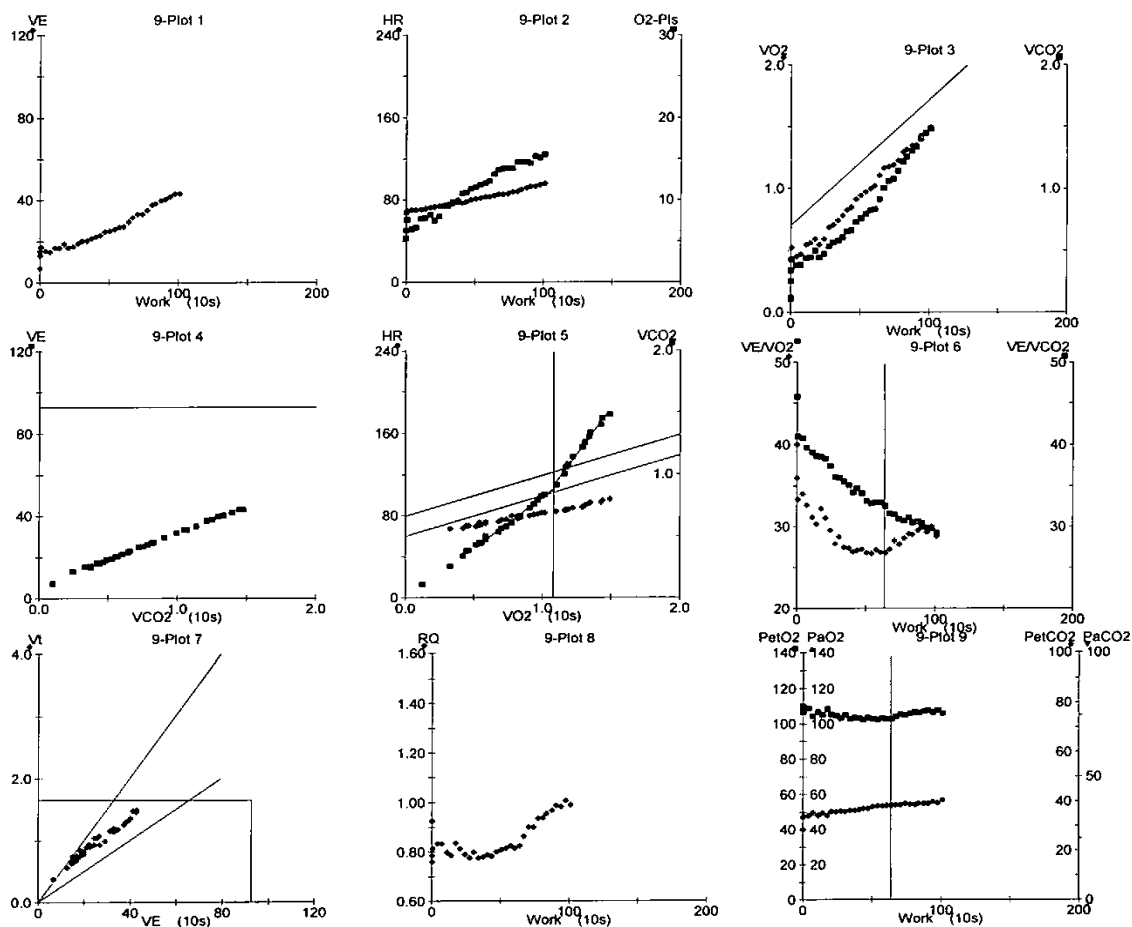
Mecanismele limitării efortului pot fi elucidate în urma TECP în urma studierii comportamentului cardiac și pulmonar la efort, definindu-se conceptul de rezervă cardiacă și pulmonară. Rezerva este calculată ca diferența dintre valoarea maximă prezisă pentru un anumit parametru și valoarea maximă măsurată la efort.

Astfel sunt definite rezerva frecvenței cardiace după formula:⁽⁶⁾

$$RFC = FC \text{ max prezisă} - FC \text{ max măsurată}$$

¹Autor corespondent: Teodora Minodora, B-dul Corneliu Coposu, Nr. 2-4, Sibiu, România, E-mail: dbedreaga@yahoo.com, Tel: +40788 482562
Articol intrat în redacție în 17.01.2013 și acceptat spre publicare în 12.04.2013
ACTA MEDICA TRANSILVANICA Iunie 2013;2(2):129-132

Figura nr. 1. Reprezentarea grafică a rezultatelor testului de efort cardiopulmonar



Rezerva ventilatorie (RV) se poate calcula după aceeași formulă sau prin raportarea celor două valori:(7)

$$RV = MVV - VEmax, \text{ sau } VEmax/MVV$$

Parametrii urmăriți caracterizează performanța cardiacă, pulmonară și metabolică și analiza acestora permite evaluarea performanței la efort.

Metabolismul organismului și eficiența acestuia sunt studiate prin prisma a numeroși parametri:

1. **Consumul de oxigen (VO_2)** reprezintă cantitatea de oxigen consumată de către subiect. În repaus, aceasta este echivalentă cu 3,5ml/min/kg (1 echivalent metabolic- 1 Met). În timpul efortului crește până la 4 l/min.(8)
2. S-au definit diferite valori ale VO_2 în anumite momente ale efortului. VO_2 max reprezintă consumul maxim de O_2 în timpul efortului și este calculat în momentul când VO_2 nu mai crește și atinge un platou, în ciuda continuării efortului. Apare la persoanele sănătoase, însă lipsește la persoane deconționate, cu afecțiuni cardiovasculare sau pulmonare. În acest caz se poate măsura VO_2 la vârf, ca fiind cantitatea de oxigen consumată în timpul efortului maxim, atunci când nu există platou.
3. **Producția de bioxid de carbon (VCO_2)** reprezintă cantitatea produsă de CO_2 de către organism și este expresia statusului metabolic.
4. **Coefficientul respirator (CR)** este raportul VCO_2/VO_2 , ambele măsurate prin gazele respiratorii. Reprezintă o măsură grosieră de caracterizare a tipului de metabolism: atunci când $CR=1$ se utilizează mai ales catabolismul carbohidraților, când este 0,7 carbohidrați și lipide, iar la

valori de 0,8 se utilizează carbohidrați și proteine. În timpul efortului, valori ale $CR \geq 1,1-1,15$ semnifică atingerea unui nivel maximal al efortului.

5. **Pragul anaerob (AT)** estimează apariția acidozei metabolice odată cu ineficiența metabolismului aerob la nivel muscular și trecerea la cel anaerob și acumulare de acid lactic în timpul efortului apropiat maximal. AT este utilizat ca indicator al condiției fizice și poate fi utilizat în diagnosticarea unei limitări la efort.

De obicei AT apare la aproximativ 40-50% VO_2 max (9,10), valori mai scăzute sugerând afectarea eliberării oxigenului sau a preluării acestuia la nivel muscular și reflectând de fapt o stare de hipoxie la nivelul mușchilor în timpul efortului. Apariția AT e mai importantă decât valoarea VO_2 la care acesta apare și indică apropierea de efortul maximal. Pragul anaerob este un parametru ce nu poate fi controlat voluntar și nu poate fi afectat de factori psihologici.

Măsurarea directă necesită determinarea lactatului seric, metodă ce nu are aplicații practice. În schimb, evaluarea noninvasivă se poate efectua prin intermediul TECP, analizând schimburile gazoase, mai precis măsurând consumul de oxigen și producția de CO_2 .

După inițierea metabolismului anaerob este necesară tamponarea acidului lactic rezultat de către bicarbonat, ceea ce produce o creștere disproporționată a VCO_2 față de consumul de oxigen.

Acest moment poate fi identificat prin analiza grafică a celor două gaze prin metoda pantei în V (11), când cele două linii de regresie ce marchează valorile acestora au aceeași pantă, egală cu 1, în timpul metabolismului aerob pentru ca, odată cu trecerea la metabolismul anaerob, producția de CO_2 să își crească panta.

REFERATE

Momentul în care cele două grafice vor deveni divergente marchează pragul anaerob, după cum arată și graficul 5 din figura nr. 1.

Parametrii funcției cardiace sunt parametrii clasici la care se adaugă și indici noi, specifici TECP:

1. **Frecvența cardiacă maximă (FC)**, reprezentând o monitorizare noninvazivă a răspunsului cardiac la efort. Sunt urmărite FC de repaus și creșterea ei în timpul efortului până la FC maximă. Aceasta este calculată ca $220 - \text{vârsta}$ și este atinsă atât de persoane cu o capacitate normală de efort, cât și de cele decondiționate, însă nu și în caz de boli cardiopulmonare ce pot evolua cu incompetență cronotropă.
2. **Tensiunea arterială** de repaus și creșterea acesteia în trepte în timpul efortului, cu valori crescute în hipertensiune arterială. Atunci când TA scade cu $\geq 10\text{mmHg}$ în timpul efortului, există un prognostic negativ.
3. **Monitorizarea ECG** 12 derivații, ce poate evidenția modificări de segment ST, tulburări de ritm și conducere.
4. **Pulsul de O₂** estimează cantitatea de oxigen consumată la fiecare bătaie cardiacă și reflectă volumul bătaie.(12) Se calculează raportând consumul de oxigen la FC:
 $PO = VO_2/FC$

Înregistrarea unei valori scăzute se întâlnește în afectare cardiovasculară, anemie (conținut O₂ scăzut), hipoxemie arterială, miopatii sau decondiționare.

Reprezentarea grafică reflectă o creștere liniară a FC cu VO₂ până la FC max., după care pulsul oxigenului atinge un platou. În afecțiuni cardiovasculare curba FC funcție de VO₂ este deplasată la stânga și pulsul O₂ atinge platoul mai repede, consecință a limitării volumului bătaie și necesității unei FC mai mari pentru orice nivel al efortului.

Parametrii ventilatori mășurați sunt:

1. **Spirometria** efectuată înaintea TECP va oferi detalii asupra performanțelor ventilatorii, măsurându-se în principal capacitatea vitală (CV), volumul curent (VC), volumul expirator maxim în prima secundă (VEMS1). Cu ajutorul acestei spirometrii se poate calcula ventilația maximă prezisă (maximum voluntary ventilation- MVV), după formula: $MVV = 40 \times VEMS1$.(13)
2. **Ventilația-minut (VE)**, măsurată ca litri aer ventilați într-un minut, cuprinzând atât ventilația alveolară, eficientă, cât și pe cea de la nivelul spațiului mort. VE în repaus este de aproximativ 5-10 L/min, pentru ca în timpul efortului să crească de 20-25 de ori.(14)
3. **Rezerva respiratorie**

Diferența dintre ventilația maximă măsurată și cea prezisă reprezintă limitarea respiratorie. Existența unei limitări respiratorii este întotdeauna anormală.

La începutul efortului VE crește prin creșterea VC, iar când acesta atinge 50-60% din CV, ventilația va crește prin creșterea frecvenței respiratorii. Sub pragul anaerob VE crește liniar cu consumul de oxigen (VO₂), cu o pantă $VE/VO_2 = 25-30$, măsurată între 25-50% VO₂ max.; după atingerea pragului anaerob se observă o creștere disproporționată între ventilație și consumul de O₂. Un răspuns ventilator normal la efort o reprezintă atingerea a 75% MVV la VO₂ max. prezis.(7)

Schimburile gazoase sunt studiate prin TECP, principalele variabile măsurate fiind:

1. **Saturația oxigenului (SaO₂)** este o modalitate simplă de măsurare noninvazivă a gradului de oxigenare prin

pulsoximetrie. Desaturarea la efort $>4\%$ este considerată semnificativă și denotă tulburări ale ventilației sau reducerea patului vascular pulmonar.(15)

2. **Presiunea parțială a CO₂ (PetCO₂)** este măsurată la nivelul cavității bucale la sfârșitul respirației. Pentru un subiect normal se poate considera că este echivalentă cu presiunea parțială alveolară medie (PACO₂) și cu presiunea arterială medie a CO₂ (PaCO₂). PetCO₂ este de aproximativ 40 mmHg înainte de atingerea pragului anaerob, valori scăzute indicând hiperventilație, iar valori crescute având semnificație de hipoventilație alveolară.(16)
3. **Presiunea parțială a O₂ (PetO₂)** reprezintă presiunea oxigenului la sfârșitul respirației la nivelul cavității bucale.(16)

Interpretarea TECP trebuie să răspundă câtorva întrebări:

1. Este capacitatea maximă de efort normală? (VO₂ max)
2. Este răspunsul cardiovascular normal? (FC, PO, AT)
3. Este răspunsul ventilator normal? (VE/MVV, FR, PetCO₂)
4. Este schimbul gazos normal? (VE/VCO₂, PaO₂, P(A-a)O₂, SaO₂)

Pentru o corectă interpretare trebuie să fie analizate atât valorile numerice ale parametrilor (valori normale ilustrate în tabelul nr. 1), cât și reprezentarea grafică a lor, așa cum apare în figura nr. 1.

Tabelul nr. 1. Valori normale ale parametrilor testului de efort cardiopulmonar (după 17,18)

Parametrii	Valori normale
VO2 max	> 84% prezis
AT	> 40% VO2 max
FC	> 90% prezis
RFC	< 15 bpm
TA	<220/90 mmHg
PO (VO2/FC)	>80%
RV (VE/MVVx100)	<85%
FR	<60/min
VE/VCO2	<34
PaO2	>80 mmHg

VO₂ max - consumul maxim de oxigen, AT - pragul anaerob, FC - frecvența cardiacă, RFC - rezerva frecvenței cardiace, TA - tensiunea arterială, PO - pulsul oxigenului, RV - rezerva respiratorie, VE - ventilația minut, MVV - ventilația voluntară maximă, FR - frecvența respiratorie, PaO₂ - presiunea parțială a oxigenului

Notă:

Surse de finanțare: Cercetări realizate în cadrul proiectului POSDRU/88/1.5/S/60370 Integrarea cercetării românești în contextul cercetării europene-burse doctorale cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 - 2013.

REFERINȚE

1. Williford HN, Sport K, Wang N, Olson MS, Blessing D. The prediction of fitness levels of United States Air Force officers: validation of cycle ergometry. Mil Med. 1994;159:175-178.
2. Lockwood PA, Yoder JE, Deuster PA. Comparison and cross-validation of cycle ergometry estimates of V' O2max. Med Sci Sports Exerc. 1997;29:1513-1520.
3. Weisman IM, Zeballos RJ. Cardiopulmonary exercise testing. Pulm Crit Care Update 1995;11:1-9.
4. American Association for Respiratory Care. AARC clinical practice guideline: exercise testing for evaluation of

- hypoxemia and/or desaturation. *Respir Care*. 1992;37:907-912.
5. Jones NL. *Clinical exercise testing*, 3rd ed. Philadelphia: W.B. Saunders; 1988. p. X.
 6. American Thoracic Society; American College of Chest Physicians. ATS/ACCP statement on cardiopulmonary exercise testing [published correction appears in *Am J Respir Crit Care Med*. 2003;167:1451-1452]. *Am J Respir Crit Care Med*. 2003;167:211-277.
 7. Wasserman K, et al. *Principles of Exercise Testing and Interpretation*, Lea and Febiger; 1987.
 8. Johnson BD, Saupé KW, Dempsey JA. Mechanical constraints on exercise hyperpnea in endurance athletes. *J Appl Physiol*. 1992;73:874-886.
 9. European Respiratory Society. Clinical exercise testing with reference to lung diseases: indications, standardization and interpretation strategies. ERS Task Force on Standardization of Clinical Exercise Testing. *Eur Respir J*. 1997;10:2662-2689.
 10. Roca J, Whipp BJ, editors. *European Respiratory Society Monograph 6: Clinical Exercise Testing*. Lausanne, Switzerland: European Respiratory Society; 1997. p. 164.
 11. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol*. 1986;60:2020-2027.
 12. *Interpreting Exercise Tests* by Robert Ross, CS Software Houston, Texas: Sponsored by SensorMedics, Yorba Linda. California.
 13. Franciosa JA, Park M, Levine TB. Lack of correlation between exercise capacity and indexes of resting left ventricular performance in heart failure. *Am J Cardiol*. 1981;47:33-39.
 14. Jensen JI, Lyager S, Pedersen OF. The relationship between maximal ventilation, breathing pattern and mechanical limitation of ventilation. *J Physiol*. 1980;309:521-532.
 15. Eschenbacher W, et al. *An Algorithm for the Interpretation of Cardiopulmonary Exercise Tests* by Chest, Feb; 1990.
 16. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Stringer WW, Whipp BJ. *Principles of Exercise Testing and Interpretation: Including Pathophysiology and Clinical Applications*. 4th ed. Philadelphia, Pa: Lippincott Williams & Wilkins; 2004.
 17. Jones NL. *Clinical exercise testing*, 4th ed. Philadelphia: W. B. Saunders; 1997. p. XI.
 18. Hansen JE, Sue DY, Wasserman K. Predicted values for clinical exercise testing. *Am Rev Respir Dis*. 1984;129:S49-S55.