

CZU: [616.12-008.46+616.24-008.47]-07

DOI: <https://doi.org/10.52692/1857-0011.2025.1-81.18>

TESTUL DE EFORT CARDIOPULMONAR ÎN ERA MEDICINEI PERSONALIZATE

^{1,4}**Victoria CARAUȘ**, cardiolog, cercet. șt.,^{1,2,4}**Galina SORICI**, cardiolog, cercet.șt., student doctorand USMF N. Testemițanu,^{1,4}**Irina CÎVÎRJIC**, cardiolog, cercet. șt., student doctorand USMF N. Testemițanu,^{1,3,4}**Nadejda DIACONU**, dr. în șt. med., cercet. șt. coord.,^{1,4}**Aurel GROSU**, dr. hab. șt. med., prof. univ.¹Universitatea de Stat de Medicină și Farmacie Nicolae Testemițanu,

bd. Ștefan cel Mare 165, Chișinău, Republica Moldova

²Clinica privată Terramed, str. Cuza-Vodă 44A, Chișinău, Republica Moldova³Clinica privată Excellence, str. Grenoble 23, Chișinău, Republica Moldova⁴Instituția Medico Sanitară Publică Institutul de Cardiologiee-mail: vica.caraus1997@gmail.com

Rezumat.

Acest reviu își propune să valorifice utilitatea și aplicabilitatea testului de efort cardiopulmonar (CPET), oferind o referință științifică destinată informării cardiologilor cu privire la considerentele practice în efectuarea acestuia. CPET este o metodă obiectivă, neinvazivă și cuprinzătoare de evaluare a capacității de efort și a toleranței, facilitând identificarea mecanismelor fiziopatologice și etiologice ale dispneei și ale limitărilor funcționale de cauză cardiovasculară, pulmonară sau idiopatică.

Materiale și metode. A fost realizată o analiză sistematică a aproximativ 50 de surse științifice (articole originale, ghiduri de practică, recenzii), identificate prin interogarea bazei de date PubMed, utilizând cuvintele-cheie „test de efort cardiopulmonar”. Au fost selectate și analizate acele lucrări care abordau aspecte metodologice, clinice și prognostice ale CPET, cu accent pe aplicabilitatea acestuia în practică.

Rezultate. CPET furnizează informații obiective privind capacitatea aerobă, cauzele dispneei și prognosticul în diverse patologii cardiopulmonare. Este aplicabil atât la pacienți cu afecțiuni cardiace și pulmonare, cât și la persoane sănătoase, inclusiv sportivi. Parametrii evaluați includ consumul maxim de oxigen (VO₂max), ventilația minimă, schimbul de gaze, rezerva ventilatorie și răspunsul cardiovascular în repaus, în timpul efortului și în faza de recuperare. Alegerea parametrilor interpretați depinde de indicația clinică specifică.

Concluzii. CPET oferă o evaluare globală și integrativă a răspunsurilor fiziologice la efort ale sistemelor pulmonar, cardiovascular, hematologic, neuropsihologic și muscular. Această metodă sprijină luarea deciziilor clinice printr-o abordare personalizată, fiind utilă atât în medicina preventivă, cât și în reabilitarea medicală.

Cuvinte-cheie: test de efort cardiopulmonar, dispnee, boală cardiopulmonară, evaluare funcțională, VO₂max.

Резюме. Роль кардиопульмонального теста с нагрузкой в персонализированной медицине.

Данный обзор направлен на то, чтобы подчеркнуть полезность и применимость кардиопульмонального нагрузочного теста (CPET), предоставляя научную справку, предназначенную для информирования кардиологов о практических аспектах его проведения. CPET представляет собой объективный, неинвазивный и всесторонний метод оценки физической работоспособности и толерантности к нагрузке, способствующий выявлению патофизиологических и этиологических механизмов одышки и функциональных ограничений, обусловленных сердечно-сосудистыми, легочными или идиопатическими причинами.

Материалы и методы. Была проведена систематическая оценка около 50 научных источников (оригинальные статьи, клинические рекомендации, обзоры), найденных в базе данных PubMed по ключевым словам «кардиопульмональный нагрузочный тест». Были отобраны и проанализированы работы, рассматривающие методологические, клинические и прогностические аспекты CPET, с акцентом на его практическое применение.

Результаты. CPET предоставляет объективную информацию о аэробной способности, причинах одышки и прогнозе при различных кардиопульмональных патологиях. Метод применим как у пациентов с сердечно-легочными заболеваниями, так и у здоровых людей, включая спортсменов. Оцениваемые параметры включают максимальное потребление кислорода (VO₂max), минутную вентиляцию, газообмен, вентиляционный резерв и сердечно-сосудистый ответ в покое, при нагрузке и во время восстановления. Выбор интерпретируемых параметров зависит от конкретного клинического показания.

Выводы. CPET обеспечивает глобальную и интегративную оценку физиологических ответов на физическую нагрузку со стороны дыхательной, сердечно-сосудистой, гематологической, нейropsychологической и мышечной

систем. Этот метод способствует клиническому принятию решений в рамках персонализированного подхода и полезен как в профилактической медицине, так и в медицинской реабилитации.

Ключевые слова: кардиопульмональный нагрузочный тест, одышка, кардиопульмональное заболевание, функциональная оценка, VO₂max.

Abstract. The Role of Cardiopulmonary Exercise Testing in Personalized Medicine.

This review aims to highlight the utility and applicability of cardiopulmonary exercise testing (CPET), providing a scientific reference intended to inform cardiologists about the practical considerations in its implementation. CPET is an objective, non-invasive, and comprehensive method for assessing exercise capacity and tolerance, facilitating the identification of pathophysiological and etiological mechanisms of dyspnea and functional limitations of cardiovascular, pulmonary, or idiopathic origin.

Materials and Methods. A systematic analysis of approximately 50 scientific sources (original articles, practice guidelines, reviews) was performed by querying the PubMed database using the keyword “cardiopulmonary exercise testing.” Selected and analyzed were those papers addressing the methodological, clinical, and prognostic aspects of CPET, with a focus on its applicability in clinical practice.

Results. CPET provides objective data regarding aerobic capacity, causes of dyspnea, and prognosis in various cardiopulmonary diseases. It is applicable to patients with cardiac and pulmonary conditions as well as to healthy individuals, including athletes. Evaluated parameters include maximal oxygen uptake (VO₂max), minute ventilation, gas exchange, ventilatory reserve, and cardiovascular response at rest, during exercise, and in the recovery phase. The choice of parameters for interpretation depends on the specific clinical indication.

Conclusions. CPET offers a global and integrative assessment of the physiological responses to exercise from the pulmonary, cardiovascular, hematologic, neuropsychological, and muscular systems. This method supports clinical decision-making through a personalized approach, being valuable both in preventive medicine and medical rehabilitation.

Keywords: cardiopulmonary exercise testing, dyspnea, cardiopulmonary disease, functional assessment, VO₂max.

Introducere.

Testul de efort cardiopulmonar (CPET) reprezintă un instrument clinic esențial pentru evaluarea capacității de efort și a prognosticului la pacienții cu insuficiență cardiacă, post-tromboembolie pulmonară, dispnee de etiologie neprecizată, afecțiuni pulmonare și alte patologii. CPET oferă date integrate, reflectând implicarea simultană a sistemelor pulmonar, cardiovascular și muscular scheletic în răspunsul la efort fizic – informații care nu pot fi obținute prin evaluarea izolată a fiecărui sistem [2, 12, 40].

La nivel mondial, CPET este utilizat pe scară largă pentru investigarea intoleranței la efort de etiologie necunoscută și pentru determinarea obiectivă a capacității funcționale și a gradului de dizabilitate. Utilitatea sa clinică a crescut în contextul conștientizării faptului că testele funcționale cardiace și pulmonare efectuate în repaus nu oferă întotdeauna informații relevante despre performanța fizică și funcționalitatea globală a pacientului. În schimb, starea generală de sănătate corelează mai bine cu toleranța la efort decât cu măsurătorile obținute în repaus [1, 34, 35].

CPET trebuie luat în considerare atunci când datele clinice de bază – cum ar fi anamneza, examinarea fizică, radiografia toracică, probele funcționale respiratorii și electrocardiograma de repaus – nu permit clarificarea cauzei și etiologiei simptomelor pacientului [1, 14].

Deși este recomandat de multiple societăți științifice pentru diverse indicații, CPET rămâne subutilizat, din cauza unor factori precum complexitatea tehnică, deficitul de personal instruit în interpretarea testului, lipsa de conștientizare a utilității sale în rândul practicienilor, disponibilitatea limitată și costurile asociate [21, 39].

Materiale și metode.

A fost realizată o revizuire sistematică a literaturii de specialitate, cu scopul de a identifica studii clinice randomizate, metaanalize, ghiduri, ș.a. Studiul a fost posibil prin utilizarea bazei de date a bibliotecii PubMed.

După introducerea cuvintelor-cheie „test de efort cardiopulmonar” în bara de căutare a bibliotecii, au fost identificate 138.158 de rezultate, dintre care 51.035 reprezentau articole cu text integral și acces liber. Din această multitudine de articole, au fost selectate aproximativ 50 de surse, care au fost analizate și revizuite. Conținutul acestora a fost studiat în detaliu, iar cele mai relevante elemente au fost extrase în vederea sintetizării datelor științifice identificate.

Aspecte tehnice, metodologice și de siguranță în realizarea testului de efort cardiopulmonar

CPET reprezintă o metodă complexă și standardizată de evaluare integrativă a funcției cardiace, pulmonare și musculare în condiții de stres fiziologic. Utilitatea sa clinică este larg recunoscută

în diagnostic, prognostic și monitorizarea răspunsului la tratament în diverse afecțiuni cardiovasculare și respiratorii. Pentru ca acest test să își atingă potențialul maxim, este esențial ca desfășurarea lui să respecte o serie de principii tehnice, metodologice și de siguranță.

CPET, în special atunci când implică analiza schimbului de gaze prin metoda respirație-cu-respirație, necesită o atenție meticuloasă la procedurile de calibrare pentru a asigura măsurători precise și reproductibile. Se recomandă calibrarea zilnică a sistemului CPET, cu înregistrarea rezultatelor într-un jurnal de calibrare, pentru monitorizarea performanței pe termen lung. De asemenea, se recomandă calibrarea fiziologică zilnică, în cadrul căreia un membru sănătos al echipei de laborator efectuează un test standardizat la rate de lucru predefinite. Valorile obținute pentru ventilația minută (VE), consumul de oxigen (VO_2) și volumul de CO_2 eliminat (VCO_2) sunt comparate cu o bază de date de referință; valorile care depășesc intervalul de încredere de 95% declanșează o reevaluare amănunțită a întregului sistem. În cazul în care valorile se încadrează în limitele de toleranță, pot fi adăugate în baza de date pentru controlul calității [1, 3, 32].

Calibrarea sistemului CPET presupune verificarea volumului de gaze la începutul fiecărei sesiuni și a concentrației acestora înainte de fiecare test. Ulterior, se efectuează spirometria și/sau testul de ventilație maximă voluntară (MVV), esențiale pentru determinarea rezervelor respiratorii (BR) și identificarea potențialelor limitări ventilatorii în repaus

și la efort. În plus, pe lângă monitorizarea schimbului de gaze, se monitorizează electrocardiograma (ECG), tensiunea arterială (TA) și saturația periferică cu oxigen (SpO_2) [1, 3, 5, 26].

Înainte efectuării testului, specialistul trebuie să explice detaliat pacientului procedura, să clarifice eventualele nelămuriri și să obțină consimțământul informat. Este important să se stabilească semnalele utilizate pe parcursul testului și să se accentueze importanța efortului maxim.

Ergometrele sunt echipamente mecanice sau electrice care permit dozarea precisă a lucrului mecanic depus. Cele mai frecvent utilizate sunt cicloergometru și banda de alergare (treadmill), deoarece simulează activități fizice comune. În cazul riscului crescut de cădere, se preferă cicloergometru. Pentru pacienții cu insuficiență cardiacă cronică (ICC) se utilizează protocoale standardizate pentru ambele tipuri de ergometre. Rata de creștere a sarcinii de lucru este relativ arbitrară, dar pentru cicloergometru s-a sugerat o durată optimă a testului între 8 și 17 minute. Sarcina de lucru este exprimată în wați (W) sau kilopond-metri/minut (kpm/min; 1 W $\approx$ 6 kpm/min). Pentru pacienții cu ICC, se începe de regulă cu 20–25 W, crescând progresiv cu 15–25 W la fiecare 2 minute, până la atingerea efortului maxim. O alternativă este protocolul de rampă controlat electronic (ex. 10 W/min) [1, 2].

Pentru testarea pe bandă de alergare, protocolul Naughton modificat este recomandat în ICC. Acesta crește sarcina de lucru cu aproximativ 1 MET (3,5 ml $\text{O}_2/\text{kg}/\text{min}$) la fiecare etapă de 2 minute [2, 31].

Tabel 1

Caracteristici comparative ale echipamentelor utilizate în CPET

Trăsătură	Cicloergometru	Treadmill
Acomodarea pacientului cu tipul de exercițiu	↓	↑
VO_2 prezis ¹	↓	↑
Cuantificarea lucrului extern	Da	Cu careva algoritmi
Calitatea monitorizării ECG ²	Bună	Cu artefacte
Măsurarea TA ³	Mai ușoară	Mai grea
Ușurința de a lua gaze din sângele arterial	Mai ușoară	Mai grea
Gradul de solicitare a musculaturii membrelor inferioare	Dependentă	Mai puțin dependentă
Pacienți cu pacemaker, ECS ⁴ sau CRT ⁵	Mai puțin recomandabil	Mai recomandabil
Siguranță	↑	↓ (risc de cădere)
Dimensiunile echipamentului	↓	↑
Mobilitatea echipamentului	↑	↓
Costuri	↓	↑

Notă: ¹ VO_2 prezis - volumul de oxigen prezis; ² ECG- electrocardiograma; ³TA- tensiune arterială;

⁴ECS - cardiostimulator; ⁵CRT- terapie de resincronizare cardiacă.

Treadmill-ul implică o masă musculară mai mare și un efort sporit împotriva gravitației, rezultând într-un VO_2 maxim cu 5–10% mai mare comparativ cu cicloergometrul. Totuși, sprijinirea de balustradele benzii scade costul metabolic al exercițiului și trebuie evitată. În schimb, cicloergometrul oferă o mai bună cuantificare a costului metabolic, generează mai puține artefacte și este mai economic și compact, *tabelul 1* [1, 8, 30].

Există multiple protocoale CPET, iar alegerea lor depinde de scopul testului și de capacitatea funcțională a pacientului. Protocoalele pot fi clasificate în:

- Progresive (incrementale): fie continue (în rampă sau pe etape), fie intermitente;
 - Cu sarcină constantă: utile în contexte specifice.
- Majoritatea centrelor utilizează protocoale incrementale continue, în rampă sau etape. Testele în rampă permit o creștere liniară și graduală a VO_2 , optimizând determinarea VO_{2max} și a pragurilor ventilatorii (VT), îmbunătățind astfel reproductibilitatea [31]. Protocoalele cu sarcină constantă sunt folosite pentru diagnosticul bronhospasmului indus de efort, evaluarea hiperpneei de efort, determinarea pragului de lactat sau VO_{2max} [6, 7, 13].

Tabel 2

Principalele indicații pentru CPET

Indicații pentru testul de efort cardiopulmonar [4, 1, 10]
Evaluarea toleranței la efort
• Determinarea incapacității sau capacității funcționale (VO_2 de vârf¹); • Determinarea factorilor limitanți ai efortului și mecanismelor patofiziologice.
Evaluarea intoleranței la efort nediagnosticate
• Examinarea contribuției etiologiei cardiace și pulmonare în patologia coexistentă; • Simptomele disproporționale cu testele pulmonare și cardiace în repaus; • Dispnee neexplicată când testarea cardiopulmonară inițială este nediagnostică.
Evaluarea pacienților cu patologii cardiovasculare
• Evaluarea funcțională și a prognosticului pacienților cu insuficiență cardiacă; • Selecție pentru transplant cardiac; • Prescrierea exercițiului și monitorizarea răspunsului la antrenamentul de efort pentru reabilitarea cardiacă (circumstanțe speciale; d.e. pacemakeri).
Evaluarea pacienților cu patologii respiratorii
• Evaluarea dizabilității funcționale; • Bronhopneumopatie cronică obstructivă (BPCO²): stabilirea limitărilor de efort și determinarea altor factori cu potențial contributivi, în special patologia cardiacă ocultă (ischemia); determinarea magnitudinii hipoxemiei și pentru prescrierea $O_2$³; când determinarea obiectivă al intervenției terapeutice este necesară și nu este abordată adecvat de testele funcționale pulmonare standard; • Patologiile pulmonare interstițiale: detectarea precoce a anomaliilor (oculte) de schimb de gaze; evaluarea/monitorizarea generală a schimbului de gaze pulmonare; determinarea magnitudinii hipoxemiei și pentru prescrierea O_2; determinarea potențialilor factori care limitează exercițiul; documentarea răspunsului terapeutic la terapia potențial toxică; • Patologia pulmonară vasculară (necesită o analiză atentă a raportului risc-beneficiu); • Fibroză cistică; • Bronhospasm indus de efort.
Aplicare clinică specifică
• Evaluare preoperativă: operație de rezecție pulmonară; pacienți vârstnici ce vor suporta intervenție chirurgicală abdominală majoră; intervenție chirurgicală de rezecție a volumului pulmonar în emfizem (în prezent în curs de investigare); • Evaluarea exersării și prescrierii reabilitării pulmonare; • Evaluarea incapacității-dizabilității; • Evaluarea pentru transplant de pulmoni, inimă-pulmoni.

Notă: ¹ VO_2 de varf: volumul oxigenului de varf; ²BPOC: bronhopneumopatie cronică obstructivă; ³ O_2 :oxigen;

Indicațiile pentru CPET sunt summarize în *tabelul 2* [1, 12].

Testul de efort cardiopulmonar este considerat relativ sigur, cu o rată estimată de mortalitate între 2 și 5 per 100.000 teste. Siguranța pacientului este prioritară și doar personal instruit, familiarizat cu contraindicațiile și criteriile de întrerupere a testului, poate efectua CPET, *tabel 3* [3, 30, 31].

Criterii de întrerupere a testului (conform ghidului ATS/ACCP):

1. Dureri toracice sugestive pentru ischemie;
2. Modificări ischemice semnificative pe ECG;
3. Aritmii ventriculare complexe;
4. Blocuri atrioventriculare de grad II sau III;
5. Scădere bruscă a TA sistolice cu >20 mmHg față de valoarea maximă;
6. Desaturare severă ($SpO_2 \leq 80\%$) cu semne de hipoxemie severă;
7. Paloare accentuată;
8. Pierderea coordonării;
9. Amețeli sau stare lipotimică;
10. Semne de insuficiență respiratorie;
11. Confuzie mentală.

Analizoarele moderne măsoară schimbul de gaze respirație-cu-respirație, ceea ce introduce o variabilitate crescută a datelor. Astfel, se recomandă utilizarea unor medii mobile pe 20–30 secunde, care asigură un echilibru optim între acuratețe și variabilitate.

Deși CPET furnizează numeroase variabile, doar unele sunt esențiale în practica clinică. O sinteză a valorilor normale (care pot varia în funcție de surse și populația studiată) este prezentată în *tabelul de mai jos*. Anumiți parametri, precum TA, frecvența cardiacă (FC) și modificările ECG, sunt evaluați și în testele convenționale, în timp ce alții, cum ar fi VO_2 , VCO_2 , VE, RER sau VT, sunt specifici CPET. Parametrii de bază sunt summarize în *tabelul 4* [3, 5, 7, 20].

Pentru a facilita interpretarea vizuală și clinică, Wasserman și colaboratorii au propus reprezentarea grafică a celor mai relevante date CPET în formatul „9-panel plot”, utilizat pe scară largă în practica modernă [7, 41].

Tabel 3

Contraindicațiile CPET

Contraindicații absolute	Contraindicații relative
• Infarct miocardic acut (3-5 zile) • Angină instabilă • Aritmii necontrolate simptomatice sau care compromit parametrii hemodinamici • Sincopă, inclusiv și cea indusă de efort • Endocardită activă • Miocardită sau pericardită acută • Stenoză aortală severă simptomatică • Insuficiență cardiacă decompensată • Embolie pulmonară acută sau infarct-pneumonie • Tromboza venoasă profundă • Suspecție la anevrism aortic disecant, anevrism de aortă • Astm bronșic necontrolat, exacerbare a BPOC¹ • Edem pulmonar • Desaturare în repaus, $SpO_2 \leq 85\%$² • Insuficiență respiratorie • Patologie non-cardiopulmonară acută ce poate afecta performanța exercițiului sau poate fi agravată de efort (infecție, insuficiență renală, tireotxicoză) • Tulburări mentale ce duc la incapacitatea de a coopera	• Stenoza arterei coronariene stângi principale (LM)³ sau al echivalentului acesteea • Stenoză valvulară moderată • Hipertensiune arterială severă netratată sau parametrii hemodinamici compromiși ($TAs > 200$ mmHg, $TAd > 120$ mmHg)⁴ • Tahiaritmii sau bradiaritmii simptomatice • Bloc atrioventricular gradul II sau III • Cardiomiopatie hipertrofică • Hipertensiune pulmonară severă • Ultimul trimestru de sarcină sau sarcină complicată • Dereglări electrolitice • Defibrilator cardiac implatat care nu poate fi înlăturat sau resetat din cauza lipsei accesului la dispozitiv • Dizabilități ortopedice ce compromit performanța exercițiului

Notă: ¹BPOC: bronhopneumopatie cronică obstructivă; ²SpO₂: Saturația oxigenului;

³LM: trunchi coronarian (left main); ⁴TA: tensiune arterială

Tabel 4

Parametrii de bază obținuți la CPET

Parametrul	Valori de referință normale/ stratificarea riscului
pVO_2 ¹	Normal: 85–115% din valoarea prezisă Afectare ușoară: 75–84% din valoarea prezisă Afectare moderată: 50–74% din valoarea prezisă Afectare severă: <50% din valoarea prezisă
VO_2 la VT1/ pVO_2 % ² prezis	Normal: 40-80% Afectare: <40%
Puls O_2 ³	Normal: creștere; ≥80% din valoarea prezisă Afectare: platou precoce sau descreștere; <80% din valoarea prezisă
VE/VCO_2 ⁴ pentru evaluarea devierii V/Q ⁵ (doar între VT1 și VT2) ⁶	Normal: <30 Afectare ușoară: 30-35.9 Afectare moderată: 36-45 Afectare severă: ≥45
VE/VCO_2 pentru evaluarea prognos- ticului la pacienții cu IC ⁸ (întregul slot)	Risc nesemnificativ: <30.0 Risc scăzut: 30.0-35.9 Risc moderat: 36-44.9 Risc înalt: ≥45
EOV ⁷	Normal sau afectare ușoară: absent Afectare moderată sau severă: prezent
BR ⁹ la apogeul efortului	>30% din valoarea prezisă Limitare respiratorie <15-20% BR (estimat prin MVV sau FEV1x40) ^{11, 12}
SpO ₂ ¹⁰	Coboară <5%
MHR ¹³ (frecvența maximă a contrac- țiilor cardiace)	Cicloergometru: 220 – vârstă ± 10 bătăi/min Treadmill: - Populație generală: (MHR=208-0.7xvârsta) - Femei: (MHR=206-0.88xvârsta) - Pacienți pe β-blocante sau alte medicamente bradicardice: (164-0.7xvârsta)
Răspunsul FCC ¹⁴	>85% din MHR prezisă (MHR-FCC în repaus)/ (MHR prezisă – FCC în repaus) >80% MHR ≥62% pe β-blocante
Decăderea FCC în prima minută de recuperare	>12 bpm (revenire verticală) >18 bpm (imediată poziție dorsală) >22 bpm (așezat) la 2 minute de recuperare
Creșterea TA ¹⁵	TA _s crește ≥40 mmHg (limita de sus 210 mmHg la bărbați și 190 mmHg la femei) TA _p rămâne aceeași sau ușor coboară
Modificări de repo- larizare ischemice [36]	Subdenivelarea segmentului ST ¹⁶ orizontală sau oblic în jos ≥1 mm, extinzându-se cu 60–80 ms dincolo de punctul J Subdenivelarea segmentului ST oblic-ascendentă ≥1,5 mm, extinzându-se cu 80 ms dincolo de punctul J Elevarea segmentului ST ≥1 mmST/HR ¹⁷ index ≥1,6 V/bpmST/bucăla FCC într-o metodă circulară Elevarea segmentului ST indusă de efort, fie izolată, fie asociată cu subdenivelare segmentului ST într-un teritoriu oglindă non-Q, sugerează stenoză coronariană severă sau un spasm Elevarea segmentului ST în derivațiile undei Q poate reprezenta ischemie reversibilă, diskinezie sau mișcare akinetică a peretelui ventricular stâng la pacienți postinfarct Hemiblocul stâng anterior indus de efort sugerează stenoza fie a LM sau LAD ¹⁹ proximal Hemiblocul stâng posterior indus de efort poate fi un marker al stenozei RCA ²⁰ sau arterei CX ²¹

Notă: ¹pVO₂: consumul de oxigen maxim (peak VO₂); ²VO₂ la VT1/pVO₂% – Consumul de oxigen la primul prag ventilator (VT1) raportat la valoarea maximă (pVO₂) exprimat ca procent; ³Puls O₂ Volumul de oxigen utilizat per bătăie cardiacă; ⁴VE/VCO₂: Raportul dintre ventilația pulmonară (VE) și producția de dioxid de carbon (VCO₂);

⁵V/Q- raportul dintre ventilație și perfuzie; ⁶VT1 și VT2: pragul ventilator 1 și pragul ventilator 2; ⁷EOV: Oscilații ventilatorii periodice (Exercise Oscillatory Ventilation); ⁸IC: insuficiență cardiacă; ⁹BR: Rezerva ventilatorie (Breathing Reserve); ¹⁰SpO₂: Saturația oxigenului în sânge, exprimată ca procent; ¹¹MVV: Ventilația voluntară maximă (Maximum Voluntary Ventilation); ¹²FEV1: Volumul expirator forțat în prima secundă (Forced Expiratory Volume in 1 second);

¹³MHR: Frecvența cardiacă maximă (Maximum Heart Rate); ¹⁴FCC: Frecvența cardiacă curentă; ¹⁵TA: tensiune arterială; ¹⁶ST: Segmentul ST din electrocardiogramă; ¹⁷HR: frecvența cardiacă (heart rate); ¹⁸LM: trunchi coronarian (Left Main Coronary Artery); ¹⁹LAD: Artera descendentă anterioară stângă (Left Anterior Descending); ²⁰RCA: Artera coronariană dreaptă (Right Coronary Artery); ²¹CX: Artera circumflexă (Circumflex Artery).

Evaluarea intoleranței la efort

Testarea funcției pulmonare și cardiace în repaus nu poate prezice în mod fiabil performanța la efort și capacitatea funcțională ($VO_2\text{peak}$) la subiecții cu boală cardiopulmonară [44]. În plus, simptomele din timpul efortului corelează slab cu parametrii cardiopulmonari de repaus. Deși dispneea de efort este un simptom frecvent la pacienții cu boli respiratorii, simptomele care limitează exercițiul includ adesea disconfortul la nivelul membrelor inferioare, durerea retrosternală sau fatigabilitatea, fiind mai frecvente decât dispneea. Relevanța practică a CPET este subliniată de constatarea că măsurile subiective ale calității vieții se corelează mai bine cu toleranța la efort decât cu spirometria sau oxigenarea [45].

Totodată, dovezile sugerează că evaluarea integrativă furnizată de CPET permite o determinare obiectivă a capacității funcționale, cuantificarea factorilor care limitează efortul, identificarea mecanismelor fiziopatologice implicate (de exemplu, contribuția respiratorie vs. cardiacă), detectarea precoce a patologiei oculte, precum boala cardiacă ischemică, precum și evaluarea simptomelor și indicilor de performanță în monitorizarea progresiei bolii și a răspunsului la tratament [1, 21, 36].

Dispneea de etiologie inexplicabilă [1, 3, 11, 21]

La pacienții cu dispnee inexplicabilă, unde testele funcționale anterioare nu au condus la un diagnostic clar, medicina bazată pe dovezi susține că CPET este util în identificarea posibilelor cauze cardiace, pulmonare, miopatii mitocondriale (ex. sindromul McArdle), factori psihologici (hiperventilație, panică, sindroame de anxietate) sau decon condiționare. Rezultatele CPET pot orienta eficient investigațiile ulterioare către sistemul de organe afectat, pot oferi siguranță pacientului și pot reduce numărul investigațiilor inutile. Cu toate acestea, utilitatea CPET în această indicație necesită validare suplimentară.

Evaluarea pacienților cu boli cardiovasculare [9, 10, 16, 17, 21, 22, 27]

CPET este recomandat în evaluarea capacității de efort și a răspunsului la tratament la pacienții cu insuficiență cardiacă severă, în special cei eligibili pentru transplant de cord. Studii recente au demonstrat valoarea sa prognostică în cardiomiopatii ischemice, hipertrofice și dilatative. $VO_2\text{max} < 50\%$ din valoarea prezisă s-a dovedit a fi un predictor semnificativ al mortalității cardiace. Într-un studiu retrospectiv amplu, $VO_2\text{peak}$ a fost cel mai puternic predictor al mortalității, depășind alți parametri clinici și hemodinamici. De asemenea, o ventilație minimă crescută raportată la metabolismul pacientului (panta VE/VCO_2) s-a dovedit a fi un marker prognostic independent.

Deși CPET este valoros în monitorizarea răspunsului la reabilitarea cardiacă, utilizarea sa de rutină în acest context necesită confirmare suplimentară. De asemenea, deși a fost utilizat pentru a demonstra beneficiile antrenamentului precoce post-transplant cardiac asupra calității vieții, rolul său în acest cadru rămâne de clarificat.

Bronhopneumopatia cronică obstructivă (BPCO) [1, 18, 21, 38, 39, 46]

CPET are aplicabilitate clinică semnificativă în evaluarea pacienților cu BPCO, în special pentru determinarea obiectivă a capacității funcționale și a mecanismelor limitatoare ale efortului, în cazurile de simptome disproporționate față de valorile de repaus. De asemenea, poate cuantifica cerințele de oxigen și corela simptomele cu parametrii fiziologici.

CPET permite evaluarea efectului intervențiilor terapeutice (ex. tehnici de respirație) asupra toleranței la efort. S-a observat că instalarea precoce a acidozei metabolice este asociată cu disfuncția musculară, modificări ale metabolismului aminoacizilor și ale capacității oxidative musculare, în special a glutamatului.

Patologia pulmonară interstițială [19, 21, 39]

CPET este eficient în detectarea precoce a anomaliilor schimbului de gaze care nu pot fi evidențiate prin testele convenționale, oferind informații esențiale pentru stabilirea diagnosticului, severității bolii și evaluarea eficienței tratamentului. Totuși, valoarea sa prognostică în această categorie de afecțiuni necesită studii suplimentare.

Boala vasculară pulmonară cronică (post-embolie pulmonară, hipertensiune pulmonară) [21, 23, 25, 39, 42, 43]

În bolile vasculare pulmonare cronice, $VO_2\text{max}$ este un indicator al severității și se corelează cu rezistența vasculară pulmonară și indicele cardiac. La pacienții cu hipertensiune pulmonară, scăderea $VO_2\text{peak}$ reflectă reducerea debitului cardiac și a capacității funcționale. Testul CPET și mersul de 6 minute oferă informații complementare. Prezența unui foramen oval patent sau a unui șunt dreapta-stânga poate fi diagnosticată prin CPET sub respirație cu 100% O_2 .

CPET trebuie efectuat cu prudență la pacienții cu hipertensiune pulmonară primară simptomatică (sincopă, aritmii, insuficiență cardiacă dreaptă acută), fiind contraindicat în aceste cazuri. Totuși, în formele stabile, CPET este sigur și oferă date utile pentru monitorizarea tratamentului.

După tromboembolismul pulmonar acut CPET are rol în identificarea cauzelor limitării efortului.

Conform unei meta-analize, eficiența ventilatorie este redusă mai accentuat la pacienții testați la <6 luni față de cei testați ≥6 luni post-trombembolie pulmonară. VO₂peak s-a dovedit a avea relevanță prognostică la pacienții cu hipertensiune pulmonară cronică trombotică tratați conservator.

Fibroză chistică [1, 21, 29, 39]

Evaluarea peakVO₂ este valoroasă în estimarea prognosticului și managementului pacienților cu fibroză chistică. Studiile recente indică faptul că integrarea CPET cu evaluarea masei musculare ajută la personalizarea regimurilor de exercițiu.

Evaluarea preoperatorie pentru rezecție pulmonară [15, 21, 24, 28, 33, 39]

La pacienții cu risc moderat sau înalt pentru rezecție pulmonară, CPET oferă o estimare mai precisă a capacității funcționale decât testele convenționale (FEV₁, DLCO). Un VO₂peak <50–60% din valoarea prezisă este asociat cu risc crescut de complicații postoperatorii. Rezultatele CPET și ale testelor de funcție pulmonară divizată pot fi combinate pentru o stratificare mai precisă a riscului. CPET este util și în detectarea bolii cardiace subclinice.

Evaluarea pentru transplant pulmonar sau inimă-plămân [1, 21, 39]

CPET este din ce în ce mai utilizat pentru evaluarea pacienților cu boli pulmonare avansate înainte și după transplant. Acesta oferă o evaluare obiectivă a progresiei bolii, identificarea cauzelor limitării efortului și ghidarea exercițiilor în cadrul reabilitării pre- și post-transplant.

Concluzie.

Testul de efort cardiopulmonar reprezintă o metodă integrativă și obiectivă de evaluare a răspunsurilor fiziologice la efort, implicând sistemele pulmonar, cardiovascular, hematologic, neuromuscular și psihologic. Prin capacitatea sa de a furniza date detaliate privind mecanismele care limitează efortul, CPET contribuie esențial la luarea deciziilor clinice și permite o abordare personalizată a pacientului. Fiind un test neinvaziv, CPET are o utilitate demonstrată atât în medicina preventivă, cât și în evaluarea funcțională și reabilitarea pacienților cu boli cronice.

Afilier.

Proiect de cercetare și inovare „Testul cu efort cardiopulmonar la pacienții cu sindrom post embolism pulmonar și decondiționare fizică” cu cifrul **24.80012.8007.03TC**

Bibliografie.

1. American Thoracic Society; American College of Chest Physicians. *ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing*. Am J Respir Crit Care Med. 2003;167(2):211–277. doi:10.1164/rccm.167.2.211.
2. Albouaini K, Egred M, Alahmar A, Wright DJ. *Cardiopulmonary exercise testing and its application*. Postgrad Med J. 2007;83(985):675–682.
3. Dore H, Mendes M, Abreu A, et al. *Cardiopulmonary exercise testing in clinical practice: principles, applications, and basic interpretation*. Rev Port Cardiol. 2024;43(9):477–538.
4. Balady GJ, Arena R, Sietsema K, Myers J, Coke L, Fletcher GF, et al. *Clinician's Guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the American Heart Association*. Circulation. 2010;122(2):191–225. doi:10.1161/CIR.0b013e3181e52e69.
5. Pritchard A, Burns P, Correia J, et al. *ARTP statement on cardiopulmonary exercise testing 2021*. BMJ Open Respir Res. 2021;8:e001121.
6. Kinnear WJM, Hull JH. *A practical guide to the interpretation of cardiopulmonary exercise tests*. 2nd ed. Oxford Respiratory Medicine Library. Oxford: Oxford University Press; 2021. ISBN: 9780198834397.
7. Sietsema KE, Sue DY, Stringer WW, et al. *Wasserman & Whipp's principles of exercise testing and interpretation*. 6th ed. Wolters Kluwer; 2021.
8. Wright DJ, Khan KM, Gossage EM, et al. *Assessment of a low-intensity cardiac rehabilitation programme using the six-minute walk test*. Clin Rehabil. 2001;15:119–124.
9. Malhotra R, Bakken K, D'Elia E, Lewis GD. *Cardiopulmonary exercise testing in heart failure*. JACC Heart Fail. 2016;4(8):607–616.
10. Guazzi M, Bandera F, Ozemek C, et al. *Cardiopulmonary exercise testing: what is its value?* J Am Coll Cardiol. 2017;70(13):1618–1636.
11. Stickland MK, Neder JA, Guenette JA, et al. *Using cardiopulmonary exercise testing to understand dyspnea and exercise intolerance in respiratory disease*. Chest. 2022;161(6):1505–1516.
12. Dore H, Mendes M, Abreu A, et al. *Cardiopulmonary exercise testing in clinical practice: principles, applications, and basic interpretation*. Rev Port Cardiol. 2024;43(9):525–536.
13. Andonian BJ, Hardy N, Bendelac A, et al. *Making cardiopulmonary exercise testing interpretable for clinicians*. Curr Sports Med Rep. 2021;20(10):545–552.
14. Santoro C, Sorrentino R, Esposito R, et al. *Cardiopulmonary exercise testing and echocardiographic exam: a useful interaction*. Cardiovasc Ultrasound. 2019;17(1):29.
15. Levett DZH, Jack S, Swart M, et al. *Perioperative cardiopulmonary exercise testing: consensus guidelines*. Br J Anaesth. 2018;120(3):484–500.

16. Brawner CA, Lazar MH. *Cardiopulmonary exercise testing criteria for advanced therapies in heart failure*. Heart Fail Rev. 2023;28(6):1297–1306.
17. Mikic L, Ristic A, Markovic Nikolic N, et al. *The role of cardiopulmonary exercise testing in hypertrophic cardiomyopathy*. Medicina (Kaunas). 2023;59(7):1296.
18. Behnia M, Sietsema KE. *Utility of cardiopulmonary exercise testing in COPD: a review*. Int J Chron Obstruct Pulmon Dis. 2023;18:2895–2910.
19. Gille T, Laveneziana P. *CPET in interstitial lung diseases and ventilatory efficiency*. Eur Respir Rev. 2021;30(162):200355.
20. Leclerc K. *Cardiopulmonary exercise testing: a versatile clinical tool*. Cleve Clin J Med. 2017;84(2):161–168.
21. Guazzi M, Adams V, Conraads V, et al. *EACPR/AHA statement: CPET in specific patient populations*. Circulation. 2012;126(18):2261–2274.
22. Lewis GD, Zlotoff DA. *CPET-based risk stratification in advanced HF*. JACC Heart Fail. 2021;9(3):237–240.
23. Sabbahi A, Severin R, Ozemek C, et al. *CPET and training in pulmonary hypertension*. Expert Rev Respir Med. 2020;14(3):317–327.
24. Kallianos A, Rapti A, Tsimpoukis S, et al. *CPET as preoperative test before lung resection*. In Vivo. 2014;28(6):1013–1020.
25. Barbagelata L, Masson W, Bluro I, et al. *Prognostic role of CPET in pulmonary hypertension*. Adv Respir Med. 2022;90(2):109–117.
26. DeCato TW, Haverkamp HC, Gooding T, et al. *Variability in CPET biologic controls*. Respir Care. 2023;68(1):38–43.
27. Corrà U. *CPET in systolic heart failure: from basic to advanced practice*. Monaldi Arch Chest Dis. 2016;86(1–2):757.
28. Levett DZ, Grocott MP. *CPET, prehabilitation and ERAS*. Can J Anaesth. 2015;62(2):131–142.
29. Milinic T, Ramos KJ. *CPET in advanced cystic fibrosis lung disease*. Ann Am Thorac Soc. 2024;21(3):380–381.
30. Glaab T, Schmidt O, Fritsch J. *Guidance to the interpretation of CPET*. Pneumologie. 2020;74(2):88–102.
31. Forman DE, Myers J, Lavie CJ, et al. *CPET: relevant but underused*. Postgrad Med. 2010;122(6):68–86.
32. Takken T, Mylius CF, Paap D, et al. *Reference values for CPET in healthy subjects*. Expert Rev Cardiovasc Ther. 2019;17(6):413–426.
33. Stubbs DJ, Grimes LA, Ercole A. *CPET for predicting post-op complications*. PLoS One. 2020;15(2):e0226480.
34. Pritchard A, Burns P, Correia J, et al. *ARTP statement on CPET 2021*. BMJ Open Respir Res. 2021;8(1):e001121.
35. Dolenska S. *Cardiopulmonary exercise testing*. Br J Anaesth. 2013;110(3):485–486.
36. Chaudhry S, Kumar N, Arena R, et al. *CPET in ischemic heart disease*. Curr Opin Cardiol. 2023;38(6):552–572.
37. Smith EJ, Gartman EJ. *Clinical utility of CPET*. R I Med J. 2021;104(7):14–19.
38. Salama S, Mohamed-Hussein AA, Magdy DM, et al. *CPET vs PFT in COPD*. Adv Respir Med. 2022;90(3):202–210.
39. Radtke T, Vogiatzis I, Urquhart DS, et al. *Standardisation of CPET in chronic lung diseases*. Eur Respir J. 2019;54(6):1901441.
40. Taylor C, Nichols S, Ingle L. *Guide to CPET 1: introduction*. Br J Hosp Med. 2015;76(4):192–195.
41. Nichols S, Taylor C, Ingle L. *Guide to CPET 2: test interpretation*. Br J Hosp Med. 2015;76(5):281–289.
42. Farmakis IT, Valerio L, Barco S, et al. *CPET during follow-up after PE*. Eur Respir J. 2023;61(6):2300059.
43. Held M, Grün M, Holl R, et al. *CPET to detect CTEPH with normal echo*. Respiration. 2014;88(3):199–207. doi:10.1159/000358565.
44. Hamilton AL, Killian KJ, Summers E, et al. *Muscle strength and exercise capacity in cardiorespiratory disease*. Am J Respir Crit Care Med. 1995;152:2021–2031.
45. Curtis JR, Deyo RA, Hudson LD. *Health-related quality of life in COPD*. Thorax. 1994;49:162–170.
46. Engelen MP, Wouters EF, Deutz NE, et al. *Effects of exercise on amino acid metabolism in COPD*. Am J Respir Crit Care Med. 2001;163:859–864.