- Copyright - Il Pensiero Scientifico Editore downloaded by IP 216.73.216.252 Tue, 15 Jul 2025, 21:21:23

Metodologia della prova da sforzo nel paziente con scompenso. Il test cardiopolmonare: modalità di esecuzione, strumentazione, protocolli, riproducibilità

Ugo Corrà

Divisione di Cardiologia, Fondazione Salvatore Maugeri, Clinica del Lavoro e della Riabilitazione, IRCCS, Istituto Scientifico, Veruno (NO)

(Ital Heart J Suppl 2000; 1 (3): 320-325)

Ricevuto il 30 novembre 1999; accettato il 30 gennaio 2000.

Per la corrispondenza:

Dr. Ugo Corrà

Divisione di Cardiologia Fondazione Salvatore Maugeri, IRCCS Via per Revislate, 13 28010 Veruno (NO)

Il test cardiopolmonare è un metodo valutativo non invasivo che permette di indagare i meccanismi coinvolti nella comparsa della dispnea da sforzo, di quantificare il grado di intolleranza all'esercizio, la progressione della malattia che la determina, la prognosi e l'efficacia di trattamenti terapeutici. L'applicazione del test cardiopolmonare nell'ambito della valu-tazione funzionale e prognostica dello scompenso cardiaco cronico (SCC) è aumentata negli ultimi anni anche per l'efficienza e la flessibilità della tecnologia in uso. La validità e l'efficacia diagnostica e prognostica del test cardiopolmonare dipendono dalla precisione con cui vengono espletate le manovre di calibrazione della strumentazione, dall'accuratezza del campionamento e dell'analisi dei gas espirati, e dalla corretta impostazione del protocollo di esercizio. Di conseguenza, la conoscenza dell'equipaggiamento, delle tecnologie in uso e dei protocolli di esercizio è indispensabile.

Laboratorio di ergometria clinica

Condizioni ambientali. La stanza in cui il test ergometrico viene eseguito deve essere sufficientemente ampia da poter accogliere tutte le attrezzature necessarie, permettendo un agevole accesso al paziente in caso di emergenza. Il laboratorio deve essere ben illuminato, a temperatura ed umidità controllate: una stazione barometrica con termometro ed igrometro sono necessari per la calibrazione dell'analizzatore degli scambi gassosi e per il controllo delle condizioni ambientali. In genere, si considera adeguata all'esercizio una temperatura di 22°C anche se, per brevi sforzi, valori sino a 26°C possono essere accettabili in presenza di un efficiente ricambio di aria.

Una tabella per la valutazione dello sforzo percepito dovrebbe essere ben visibile allo scopo di definire al meglio l'intensità dell'esercizio effettuato. Analoghi tipi di tabella possono essere utilizzati per la valutazione dell'entità dei sintomi quali fatica, dispnea e dolore agli arti inferiori.

Il numero di persone presenti nel laboratorio dovrebbe essere determinato dalle necessità operative di misurazione (valutazione di parametri invasivi in esercizio, ad esempio lattacidemia o emogasanalisi) e dalle condizioni cliniche del paziente. Lo staff può comprendere, oltre ai medici, infermieri, terapisti della riabilitazione e tecnici specialisti per la manutenzione dell'analizzatore degli scambi gassosi.

Equipaggiamento per le misurazioni metaboliche e cardiopolmonari. Un laboratorio adeguatamente equipaggiato dovrebbe essere fornito, oltre all'analizzatore degli scambi gassosi, di un cicloergometro o un tappeto rotante (treadmill), un elettrocardiografo, uno sfigmomanometro e di tutti gli strumenti o presidi terapeutici necessari alla gestione delle emergenze per garantire la sicurezza del paziente[1].

I parametri metabolici e cardiopolmonari sono ottenuti e derivati da quattro fondamentali variabili: la ventilazione (VE), l'ossigeno (O_2), l'anidride carbonica (CO_2) e l'elettrocardiogramma. I quattro segnali,

- Copyright - Il Pensiero Scientifico Editore downloaded by IP 216.73.216.252 Tue, 15 Jul 2025, 21:21:23

indipendentemente dal metodo di analisi (camera di miscelazione o respiro per respiro) sono automaticamente allineati secondo tempi di risposta e fasi di latenza, in modo da calcolare le variabili cardiopolmonari. Il campionamento dei dati può avvenire utilizzando la camera di miscelazione, sacco di Douglas, oppure mediante l'analisi respiro per respiro (*breath by breath*): la prima modalità, attualmente obsoleta, presenta l'inconveniente di poter campionare solo ogni 20 s, e non permette l'analisi delle pressioni di ossigeno e anidride carbonica a fine espirazione ($PETO_2$ e $PETCO_2$) né di misurare la cinetica dei gas durante un esercizio sottomassimale. L'analisi respiro per respiro consente la misurazione del consumo di ossigeno (VO_2) e la produzione di anidride carbonica (VCO_2) ad ogni atto respiratorio. L'elevata frequenza di campionamento e la caratteristica variabilità degli atti respiratori producono un'apprezzabile interferenza del segnale che deve essere processato mediante calcoli complessi (media mobile di X atti o media mobile di sette atti, ecc.). I dati ottenuti possono essere espressi in valori medi ogni 20, 30 o 60 s: il tempo dell'intervallo è importante in quanto può essere responsabile di risultati sostanzialmente diversi. In genere, la variabilità delle misurazioni, che può raggiungere il 15%, aumenta in seguito alla riduzione dell'intervallo di campionamento[2].

Per la misurazione della VE vengono utilizzati diversi flussimetri: il pneumotacografo è il più utilizzato ed attualmente disponibile anche in monouso, l'anemometro è equivalente al pneumotacografo per validità, ma meno utilizzato, mentre la turbina è ancora poco in uso. Il pneumotacografo è composto da uno schermo "a maglia" che determina una modesta resistenza al flusso (circa 0.2-0.6 cm H_2O/l/s). Il flusso, quando laminare, è, secondo la legge di Poiseuille, direttamente proporzionale alla variazione di pressione misurata ai lati del pneumotacografo. Quando il flusso diventa turbolento, la relazione flusso-pressione non è lineare ed è necessario applicare dei modelli matematici compensatori. Il pneumotacografo di Fleish n. 3 è generalmente appropriato per gli adulti e mantiene una risposta lineare per flussi di 5-10 l/s. Il pneumotacografo deve essere riscaldato per evitare che si ostruisca per fenomeni di condensazione in seguito al contatto con l'aria espirata, calda e ricca di vapore acqueo: in genere una temperatura di 0.5°C superiore a quella dell'aria espirata è sufficiente[3].

L'anemometro consiste in un tubo al cui interno si trova un filo metallico riscaldato: l'aria espirata raffredda il filamento e l'elettricità necessaria per riportarlo alla temperatura iniziale è proporzionale al flusso. Questa metodica è stata ampiamente validata[2].

Per quanto concerne gli analizzatori dei gas, lo spettrometro di massa è sicuramente il più affidabile e permette la lettura contemporanea di O_2, CO_2 e azoto, tuttavia il suo prezzo è elevato. Al contrario, la cella elettrochimica al zirconio per l'analisi di O_2 è relativamente poco costosa, affidabile ed accurata, analogamente agli analizzatori paramagnetici, che presentano tuttavia un tempo di lettura elevato e quindi sono poco utilizzati. Gli analizzatori all'infrarosso vengono utilizzati per la determinazione della CO_2[2].

Calibrazione. Gli analizzatori dei gas ed i flussimetri devono essere calibrati immediatamente prima e dopo l'esecuzione della prova. Copie del report della calibrazione devono essere stampate prima e dopo ogni test ed allegate al referto conclusivo della prova, poiché un'interpretazione valida del test è possibile solo in presenza di dati di calibrazione accurati e corretti. La calibrazione degli analizzatori dei gas richiede un appropriato intervallo di tempo di riscaldamento al fine di ottenere una stabilità degli impulsi elettrici. Due punti di calibrazione sono sufficienti: in genere, il primo punto di calibrazione è fornito dal campionamento della situazione ambientale del laboratorio, assumendo che la concentrazione di O_2 sia 20.93% e di CO_2 0.04%. Il secondo punto utilizza concentrazioni di gas note, approssimativamente 15% di O_2 e 5% di CO_2.

La calibrazione dei flussimetri avviene utilizzando siringhe di taratura da 1 a 4 litri. Previa procedura di pulizia del flussimetro, l'esecuzione di ripetute insufflazioni (almeno quattro) permette la taratura dello strumento, mediante l'integrazione di fattori di correzione rispetto ai valori di riferimento. La calibrazione del pneumotacografo richiede particolari considerazioni relative alle problematiche di temperatura, vapore acqueo, viscosità e geometria del flusso di taratura erogato.

Preparazione ed informazione del paziente. Per ottimizzare il valore diagnostico e clinico del test cardiopolmonare è essenziale la collaborazione del paziente. Nella maggior parte dei casi un paziente adeguatamente informato ed istruito compirà il massimo dello sforzo possibile in relazione alle sue condizioni, fornendo così informazioni adeguate e permettendo un'interpretazione attendibile dell'esame. Per questo motivo, una prova cardiopolmonare deve essere preceduta da un'accurata preparazione del paziente. Al fine di ottenere informazioni omogenee dal test e ridurre al minimo l'ansia del paziente si raccomanda di fornire a quest'ultimo informazioni sia scritte (prima della prova) sia verbali (durante il test). Nella fase preliminare è opportuno stabilire una modalità di comunicazione semplice ed efficace, essendo il paziente nell'impossibilità di esprimersi, per l'uso di maschera o boccaglio: è opportuno sollecitare l'attenzione sulle tabelle per la valutazione dell'entità dei sintomi e l'intensità dell'esercizio effettuato. È necessario, inoltre, sottoporre il paziente ad una sessione di familiarizzazione con la strumentazione.

Infine, la conoscenza di alcuni dati clinico-strumentali è essenziale per l'interpretazione della prova: una valutazione spirometrica completa con determinazione della massima VE volontaria (MVV), un quadro emogasanalitico a riposo, in caso di sospetta ipossiemia, un profilo emocromocitometrico, un'accurata anamnesi e l'esame obiettivo cardiopolmonare, la conoscenza della

- Copyright - Il Pensiero Scientifico Editore downloaded by IP 216.73.216.252 Tue, 15 Jul 2025, 21:21:23

terapia farmacologica in atto. Informazioni sull'abituale livello di attività fisica praticata aiuteranno a selezionare il protocollo di esercizio più appropriato. Il paziente dovrebbe astenersi dal fumo almeno 8 ore prima del test.

Modalità di esecuzione

Esistono due modalità di esercizio per l'esecuzione del test cardiopolmonare: mediante il tappeto rotante (treadmill) o il cicloergometro. Entrambe presentano vantaggi e limiti.

In generale, il treadmill permette l'esecuzione di un esercizio più naturale e di raggiungere un VO_2 massimo superiore per la maggiore influenza del peso corporeo ed il contemporaneo impegno degli arti superiori: anche il tipo di camminata può alterare il VO_2 massimo. Gli svantaggi sono un aumentato rischio di incidenti e la possibilità, per paura, che la prova sia sottomassimale. Inoltre il monitoraggio della pressione arteriosa, dell'ECG, la cinetica di VO_2 e VCO_2, ed il campionamento di eventuali parametri invasivi mediante prelievi di sangue, appaiono difficoltosi.

Esistono numerosi protocolli di esercizio al treadmill. Il protocollo di Bruce[4] è universalmente applicato, tuttavia gli incrementi lavorativi appaiano eccessivi per i pazienti con SCC in classe funzionale NYHA avanzata e la cinetica dei gas è disturbata dalla disomogeneità dei carichi lavorativi. Il protocollo di Balke[5], a velocità costante, è stato ripetutamente modificato e prevede incrementi lavorativi minori ugualmente a quello di Naughton[6] la cui durata di esercizio media appare eccessiva in considerazione di quanto suggerito in letteratura[7].

Il test cardiopolmonare incrementale al cicloergometro può essere condotto con carichi lavorativi variabili di 5 o 25 W ogni 1 o 2 min, a seconda dell'autonomia funzionale del paziente affetto da SCC: la modalità di esecuzione a rampa si ottiene mediante un incremento continuativo del carico di lavoro nel tempo, ogni secondo, e si esegue al cicloergometro a freno elettronico mediante un programma di controllo computerizzato. Il protocollo rampa, idoneamente impostato, permette di mantenere i tempi di esercizio fra 6 e 12 min. Sia i protocolli con il treadmill sia quelli al cicloergometro dovrebbero essere preceduti da una fase iniziale di riscaldamento a 0 W per 1 o 3 min e prevedere un'adeguata fase di recupero, di almeno 5 min a carico lavorativo ridotto.

Nel dettaglio, nell'ambito dello SCC, il test al treadmill permette di raggiungere valori di VO_2 al picco dello sforzo (VO_2 picco) circa 10-25% superiori, indipendentemente dal tipo di protocollo di esercizio utilizzato[8-10]. Meyers et al.[8] hanno dimostrato in 41 pazienti cardiopatici, di cui 10 affetti da SCC, che il VO_2 picco misurato al treadmill, eseguito con differenti protocolli di esercizio (Bruce, Balke o rampa), era significativamente superiore a quello ottenuto al cicloergometro con incrementi di 25 o 50 W ogni 2 min o con la modalità rampa. Page et al.[9] hanno confermato il conseguimento di valori di VO_2 maggiori al treadmill (protocollo Naughton) rispetto al cicloergometro (10 W/min), a parità di frequenza cardiaca, pressione arteriosa sistolica sistemica, lattacidemia e percezione dello sforzo misurati al picco dell'esercizio, in 40 pazienti con SCC.

Il raggiungimento di valori di VO_2 picco più elevati al treadmill è conseguenza del maggior impegno muscolare. I pazienti con SCC presentano importanti alterazioni muscolari, morfologiche e metaboliche, che correlano con la prestazione aerobica[11-18]: tanto maggiori sono le ripercussioni muscolari dello SCC tanto minore è il VO_2 picco[11]. Jondeau et al.[19] hanno evidenziato che il VO_2 picco era significativamente maggiore se si eseguivano sforzi che coinvolgevano contemporaneamente gli arti superiori ed inferiori, confermando il ruolo della massa muscolare nel determinare la capacità aerobica in pazienti con SCC.

Per quanto concerne le controindicazioni al test cardiopolmonare ed i criteri di interruzione della prova si rimanda alle linee guida generali per l'ergometria clinica[1].

Protocolli di esercizio

Il protocollo di esercizio incrementale può influenzare in modo sostanziale l'adattamento cardiorespiratorio e la comparsa dei sintomi, indipendentemente della modalità di esecuzione del test (treadmill o cicloergometro). Lipkin et al.[20] hanno dimostrato in 25 pazienti con SCC in II e III classe funzionale NYHA che un protocollo di esercizio con incrementi lavorativi brevi, condotto al treadmill, determinava l'interruzione dello sforzo per comparsa di dispnea (100% dei casi), ed il conseguimento di valori di VO_2 picco (+11%), VE (+15%), lattacidemia (+40%) più elevati rispetto ad una prova condotta con incrementi graduali e prolungati. La risposta sintomatologica non era in relazione al comportamento emodinamico in esercizio, ma alle conseguenze periferiche (ad esempio acidosi metabolica) che mediante la stimolazione di chemo ed ergoriflessi predispongono all'iperventilazione che induce alla percezione della dispnea[20]. Al contrario, il test al cicloergometro è generalmente limitato dalla comparsa di fatica muscolare anche in pazienti sintomatici per dispnea durante la vita quotidiana.

Il protocollo di esercizio a rampa è una modalità di valutazione funzionale che, se correttamente impostato, permette di contenere i tempi dello sforzo entro 6-12 min, sia utilizzando il treadmill sia il cicloergometro. Il protocollo rampa al cicloergometro equivale per la risposta cardiopolmonare e metabolica e per la durata media totale di esercizio a quello a gradino con piccoli incrementi di carico (10 W/min). La selezione dei carichi lavorativi del protocollo di esercizio a rampa

- Copyright - Il Pensiero Scientifico Editore downloaded by IP 216.73.216.252 Tue, 15 Jul 2025, 21:21:23

può essere definita mediante l'uso di formule[3], che prevedono la determinazione del VO_2 a carico zero integrata da parametri antropometrici (età, sesso, peso). L'applicazione di un approccio individualizzato è limitata nella pratica clinica. Corrà et al.[21], ai margini di uno studio sulla determinazione della soglia anaerobica ventilatoria nello SCC, hanno valutato i tempi di esercizio durante test cardiopolmonare incrementale al cicloergometro con modalità rampa (10 W/min) in 520 pazienti in I-III classe funzionale NYHA. Sono state considerate prove interrotte per fatica e/o dispnea in presenza di un quoziente respiratorio > 1.05: il 78% dei pazienti interrompeva lo sforzo entro 6-12 min, mentre il 5% aveva una tolleranza allo sforzo > 12 min e il rimanente 17% si fermava precocemente.

In definitiva, anche nello SCC, il disegno del protocollo incrementale è rilevante in quanto può modificare i sintomi in esercizio ed alterare in modo sostanziale la valutazione della capacità aerobica. Di conseguenza, la modalità di impostazione della prova deve essere adeguatamente tenuta in considerazione nell'interpretazione del test cardiopolmonare.

Infine, un'altra modalità di valutazione funzionale è il test cardiopolmonare al cicloergometro o al treadmill, sottomassimale, a carico costante. Questa modalità valutativa è poco utilizzata nella pratica clinica: può essere suggerita per verificare la cinetica dei gas, VO_2 e VCO_2 nel tempo, per validare l'identificazione della soglia anaerobica e per determinare il rapporto spazio morto/volume corrente, la differenza di pressione parziale di O_2 alveolare ed arteriosa e quella di CO_2 arteriosa e di fine espirazione che necessitano condizioni di *steady-state* metabolico.

Riproducibilità

Il controllo della qualità della metodologia e delle misurazioni, in termini di accuratezza e riproducibilità, è requisito fondamentale di ogni laboratorio clinico. In particolare, l'applicazione clinica del test cardiopolmonare per la definizione della severità, della progressione dello SCC e dell'efficacia di trattamenti farmacologici è subordinata alla conoscenza della riproducibilità delle misurazioni. In letteratura, la variabilità delle misurazioni cardiopolmonari è stata indagata in duplicato, triplicato o talora in più di cinque test, in singoli laboratori o in analisi multicentriche, nel breve periodo (settimane) o a medio termine (mesi)[22-30]. In aggiunta, l'analisi della riproducibilità è stata eseguita applicando diversi parametri: coefficiente di correlazione, deviazione percentuale del valore medio, errore standard, coefficiente di variazione, ecc. È opportuno infine ricordare che esistono ulteriori elementi che possono condizionare la riproducibilità dei parametri cardiorespiratori in esercizio, quali le abitudini di vita del paziente tra le prove (alimentazione, dieta, fumo, stato emozionale, attività fisica svolta o riposo).

Consumo di ossigeno al picco dello sforzo. Un test cardiopolmonare incrementale si considera riproducibile se il VO_2 picco presenta una variabilità inferiore al 10%.

Elborn et al.[22] hanno sottoposto 30 pazienti con SCC a tre test incrementali al treadmill con intervallo di almeno 2 settimane fra le prove, documentando che il test iniziale determinava una significativa sottovalutazione del tempo di esercizio (-20%) e del VO_2 picco. L'errore era presente in pazienti con severa limitazione funzionale ($VO_2 \leq 13$ ml/kg/min) ed in quelli meno compromessi. Al contrario, il coefficiente di variazione del VO_2 picco tra la seconda e la terza prova era del 6%. Pinsky et al.[23] hanno ripetuto le valutazioni al treadmill in 30 pazienti con SCC sino ad ottenere una variabilità di durata di esercizio < 60 s: nel 30% dei casi erano necessarie tre prove, nel 43% quattro test e nel 23% più di sei prove. Altre esperienze hanno ribadito la buona riproducibilità dei parametri cardiorespiratori al treadmill[24,25] senza tuttavia specificare se era stato eseguito un test di familiarizzazione. Più recentemente, Meyer et al.[26] hanno documentato che il coefficiente di variabilità dei principali parametri ergospirometrici differiva dall'1.2 al 4.4% alla soglia anaerobica ventilatoria e dal 2.4 al 7.1% al picco dello sforzo, in due test incrementali a cicloergometro (rampa) eseguiti a distanza di circa 1 settimana, ma preceduti da ripetute sedute di familiarizzazione. Janicki et al.[27] hanno verificato la variabilità dei parametri cardiorespiratori del test incrementale al treadmill nel lungo termine: 16 pazienti con SCC sono stati sottoposti a cinque prove in un intervallo di 3-22 mesi, in condizioni di stabilità clinica e farmacologica. Il coefficiente di variabilità del VO_2 picco era < 9%, mentre era > 30% per il VO_2 misurato al primo carico lavorativo sottomassimale, verosimilmente per l'apprensione e l'iperventilazione presenti prima di iniziare il test o per il maggior controllo volontario del respiro. Infine, Marburger et al.[28] hanno confermato una buona riproducibilità del VO_2 picco ($r = 0.92$) in pazienti anziani (≥ 65 anni) con SCC nei quali l'età avanzata e la comorbidità avrebbero potuto favorire una maggiore variabilità della risposta cardiorespiratoria all'esercizio.

In definitiva, indipendentemente dalle differenze metodologiche, emerge l'esigenza di eseguire un test di familiarizzazione per evitare di sottovalutare la capacità aerobica del paziente con SCC. Qualora non fosse possibile effettuare un test di apprendimento, si suggerisce di interpretare con cautela l'eventuale incremento del VO_2 picco successivo, in genere determinato da un migliore adattamento psicologico ed emotivo al test, piuttosto che da fattori esterni (terapia o training).

Soglia anaerobica ventilatoria. Ad essa corrisponde il momento in cui, durante sforzo, il metabolismo anaerobico si aggiunge a quello aerobico causando un significativo incremento della lattacidemia. La soglia anaerobica ventilatoria presenta implicazioni cliniche e

- Copyright - Il Pensiero Scientifico Editore downloaded by IP 216.73.216.252 Tue, 15 Jul 2025, 21:21:23

diagnostiche e viene utilizzata come indice al di sotto del quale l'esercizio è tollerabile per tempi prolungati. La soglia anaerobica fornisce, inoltre, una guida affidabile nell'impostazione di programmi di riabilitazione e training fisico. I determinanti fisiologici che sottendono la comparsa della soglia anaerobica sono controversi analogamente ai meccanismi dell'incremento della lattacidemia in esercizio[31,32] e non saranno discussi in questa sede. La soglia anaerobica può essere identificata in modo invasivo, mediante il monitoraggio dell'acido lattico e/o dei bicarbonati standard su sangue arterioso, venoso o venoso misto. La determinazione non invasiva della soglia anaerobica si basa sulla misurazione dell'incremento di VCO_2 non metabolica, cioè la CO_2 prodotta in seguito all'azione tampone dei bicarbonati conseguente all'incremento della lattacidemia, e degli effetti derivanti sulla VE.

Il metodo convenzionale per l'identificazione della soglia anaerobica ventilatoria si avvale dell'analisi simultanea degli equivalenti ventilatori per l'ossigeno (VE/VO_2) e l'anidride carbonica (VE/VCO_2), del quoziente respiratorio (VCO_2/VO_2), e di $PETO_2$ e $PETCO_2$ durante esercizio[33,34]. La comparsa della soglia anaerobica ventilatoria si definisce quando la risposta iperventilatoria conseguente all'incremento di VCO_2 si accompagna ad un aumento di VE/VO_2 e $PETO_2$ in assenza di variazioni di VE/VCO_2 e $PETCO_2$, in quanto l'andamento della VE è consensuale a quello di VCO_2: questa è la fase isocapnica dell'esercizio, in cui l'acidosi metabolica non si è ancora sviluppata. Successivamente, la prosecuzione dell'esercizio e il derivante incremento della lattacidemia determinano un ulteriore aumento della VE, sproporzionato alla VCO_2, che caratterizza un incremento di VE/VCO_2 e un calo di $PETCO_2$: a ciò corrisponde una VCO_2 in eccesso rispetto al VO_2, ed il conseguimento di un quoziente respiratorio, VCO_2/VO_2, > 1. Dal punto di vista pratico l'identificazione della soglia anaerobica ventilatoria corrisponde al nadir di VE/VO_2 e $PETO_2$, prima che incrementino consensualmente, in presenza di VE/VCO_2 e $PETCO_2$ stabili e VO_2/VCO_2 intorno ad 1.

Il metodo descritto si basa sulla risposta ventilatoria conseguente all'incremento di VCO_2 che può essere alterata in presenza di disturbi del controllo del respiro[35] e/o di patologie meccaniche polmonari. Per ovviare a ciò è stato proposto il metodo V-slope, che valuta l'andamento di VCO_2 e la sua relazione con VO_2[36]. Al di sotto della soglia anaerobica esiste una relazione lineare fra VCO_2 e VO_2 mentre, superata la soglia anaerobica, l'incremento della lattacidemia produce un'addizionale VCO_2 con conseguente variazione della pendenza della relazione VCO_2/VO_2. Il metodo V-slope esige il campionamento *breath by breath*, la trasfomazione dei dati (*filtering*) e la loro rielaborazione mediante calcoli matematici. Il metodo V-slope modificato[37] rappresenta la semplificazione del metodo descritto che permette di identificare manualmente la soglia anaerobica ventilatoria. La pendenza della relazione VCO_2/VO_2, prima della soglia anaerobica, è uguale a 1 e corrisponde ad una retta, linea di identità, parallela all'ipotenusa di un triangolo isoscele, che ha come lati il VO_2, asse X, e la parallela dell'asse di VCO_2, come Y: raggiunta la soglia anaerobica, la relazione VCO_2/VO_2 si discosta dalla linea di identità ed il VO_2 corrispondente al punto di flesso rappresenta il valore alla soglia anaerobica ventilatoria.

Nei soggetti sani la variabilità della soglia anaerobica ventilatoria è < 16%[7,38-40].

Indipendentemente dalla modalità di identificazione e dal protocollo di esercizio utilizzato, una buona riproducibilità della soglia anaerobica ventilatoria è stata documentata anche nello SCC, ma leggermente inferiore a quella del VO_2 picco[26-28,40-42]. Una variabilità < 10% è stata descritta per il metodo convenzionale ed il V-slope[41,42]. Cohen-Solal et al.[42] hanno confrontato cinque metodi di identificazione della soglia anaerobica ventilatoria, in termini di capacità di determinazione e riproducibilità, in pazienti con SCC lieve-moderato: 1) "crossing" mediante VO_2 e VCO_2 (intersezione delle curve nel tempo, in presenza di VCO_2/VO_2 uguale a 1), 2) "ventilazione" (incremento eccessivo di VE rispetto a VO_2), 3) "quoziente respiratorio" (variazione della pendenza della relazione VCO_2/VO_2 vs tempo), 4) "equivalenti ventilatori" (VE/VO_2 e VE/VCO_2 nel tempo), 5) V-slope. La variabilità dei metodi "crossing" e "ventilazione" era rispettivamente del 5.5 e del 7.3%.

Conclusioni

L'esecuzione del test cardiopolmonare è una tappa fondamentale nel processo valutativo funzionale e prognostico nello SCC. La prova è vincolata da numerosi aspetti metodologici che possono modificare, in modo sostanziale, l'informazione funzionale, determinando importanti conseguenze cliniche e terapeutiche. Un'adeguata conoscenza della modalità di esecuzione del test, della metodologia di campionamento, di analisi dei parametri cardiorespiratori e della riproducibilità dei dati è un requisito indispensabile per coloro che utilizzano il test cardiopolmonare nell'esperienza clinica.

Bibliografia

1. Pina IL, Balady GJ, Hanson P, Labovitz AJ, Madonna DW, Myers J. Guidelines for clinical exercise testing laboratories. A statement for healthcare professionals from the Committee on Exercise and Cardiac Rehabilitation, American Heart Association. Circulation 1995; 91: 912-21.
2. Zeballos RJ, Weisman IM. Behind the scenes of cardiopulmonary exercise testing. Clin Chest Med 1994; 15: 193-213.
3. Clinical exercise testing. In: Wasserman K, Hansen LE, Sue DY, et al, eds. Principles of exercise testing and interpretation. Philadelphia, PA: Lea & Febiger, 1999: 115-38.
4. Bruce PA, McDonough IR. Stress testing in screening for

- Copyright - Il Pensiero Scientifico Editore downloaded by IP 216.73.216.252 Tue, 15 Jul 2025, 21:21:23

cardiovascular disease. Bull NY Acad Med 1969; 45: 1288-305.
5. Balke B, Ware R. An experimental study of physical fitness of air force personnel. US Armed Forces Med J 1959; 10: 675-88.
6. Pollock ML, Bohannon RL, Coper KH, et al. A comparative analysis of four protocols for maximal exercise stress testing. Am Heart J 1976; 92: 39-46.
7. Buchfuher MI, Hansen LE, Robinson TE, et al. Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. J Appl Physiol 1983; 55: 1858-64.
8. Meyers J, Buchanan N, Walsh D, et al. Comparison of the ramp versus standard exercise protocols. J Am Coll Cardiol 1991; 17: 1334-42.
9. Page E, Cohen-Solal A, Jondeau G, et al. Comparison of treadmill and bicycle exercise in patients with chronic heart failure. Chest 1994; 106: 1002-6.
10. Meyer K, Stengele E, Westbrook S, et al. Influence of different exercise protocols on functional capacity and symptoms in patients with chronic heart failure. Med Sci Sports Exerc 1996; 28: 1081-9.
11. Zannad F, Chati Z. Skeletal muscle metabolic morpho-histological and biochemical abnormalities in congestive heart failure. Heart Failure 1994; 10: 58-66.
12. Minotti JR, Cristoph I, Massie BM. Skeletal muscle function, morphology and metabolism in patients with congestive heart failure. Chest 1992; 101 (Suppl 5): 333S-339S.
13. Wilson JR, Mancini DM, Dunkaman B. Exertional fatigue due to skeletal muscle dysfunction in patients with heart failure. Circulation 1993; 87: 470-5.
14. Wilson JR, Mancini DM. Skeletal muscle metabolic dysfunction. Implication for exercise intolerance in heart failure. Circulation 1993; 87 (Suppl VII): VII104-VII109.
15. Coats AJS, Clark AL, Piepoli M, Volterrani M, Poole-Wilson PA. Symptoms and quality of life in heart failure: the muscle hypothesis. Br Heart J 1994; 72: S36-S39.
16. Mancini DM, Walter G, Reichek N, et al. Contribution of skeletal muscle atrophy to exercise intolerance and altered muscle metabolism in heart failure. Circulation 1992; 85: 1364-73.
17. Drexler H, Hiroi M, Riede U, et al. Skeletal muscle blood flow, metabolism and morphology in chronic congestive heart failure and effects of short- and long-term angiotensin-converting enzyme inhibition. Am J Cardiol 1988; 62: 82E-85E.
18. Clark AL, Poole-Wilson PA, Coats AJ. Exercise limitation in chronic heart failure: central role of the periphery. J Am Coll Cardiol 1996; 28: 1092-102.
19. Jondeau G, Katz SD, Zohman L, et al. Active skeletal muscle mass and cardiopulmonary reserve. Failure to attain peak aerobic capacity during maximal bicycle exercise testing in patients with severe congestive heart failure. Circulation 1992; 86: 1351-6.
20. Lipkin DP, Canepa-Anson R, Stephens MR, Poole-Wilson PA. Factors determining symptoms in heart failure: comparison of fast and slow exercise tests. Br Heart J 1986; 55: 439-45.
21. Corrà U, Bosimini E, Giannuzzi P. Undetermined anaerobic threshold in chronic heart failure. Incidence and clinical implications. (abstr) Eur Heart J 1999; 20 (Suppl): 692.
22. Elborn JS, Stanford CF, Nichols DP. Reproducibility of cardiopulmonary parameters during exercise in patients with chronic heart failure. The need for a preliminary test. Eur Heart J 1990; 11: 74-81.
23. Pinsky DJ, Ahern D, Wilson PB, Kubin ML, Packer M. How many exercise tests are needed to minimize the placebo effect of serial exercise testing in patients with chronic heart failure? (abstr) Circulation 1989; 80 (Suppl II): II-426.
24. Weber KT, Kinasewitz GT, Janicki JS, Fishman AP. Oxygen utilization and ventilation during exercise in patients with chronic heart failure. Circulation 1982; 65: 1213-23.
25. Lipkin DP, Perrins J, Poole-Wilson PA. Respiratory gas exchange in the assessment of patients with impaired ventricular function. Br Heart J 1985; 54: 321-8.
26. Meyer K, Westbrook S, Schwaibold M, Hajric R, Peters K, Roskamm H. Short-term reproducibility of cardiopulmonary measurements during exercise testing in patients with severe chronic heart failure. Am Heart J 1997; 134: 20-6.
27. Janicki JS, Gupta S, Ferris ST, McElroy PA. Long-term reproducibility of respiratory gas exchange measurements during exercise in patients with stable cardiac failure. Chest 1990; 97: 12-7.
28. Marburger CT, Brubaker PH, Pollock WE, Morgan TM, Kitzman DW. Reproducibility of cardiopulmonary exercise testing in elderly patients with congestive heart failure. Am J Cardiol 1998; 82: 905-9.
29. Dickstein K, Barvik S, Aarsland T, Snapinn S. Reproducibility of cardiopulmonary exercise testing in men following myocardial infarction. Eur Heart J 1988; 9: 948-54.
30. Froelicher VF, Brammel H, Davis G, et al. Comparison of reproducibility and physiologic response to three maximal treadmill exercise protocols. Chest 1974; 65: 512-7.
31. Brooks GA. Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. Med Sci Sports Exerc 1985; 17: 22-31.
32. Normal values. In: Wasserman K, Hansen LE, Sue DY, et al, eds. Principles of exercise testing and interpretation. Philadelphia, PA: Lea & Febiger, 1999: 143-65.
33. Wasserman K, Beaver WL, Whipp BJ. Gas exchange theory and lactic acidosis (anaerobic) threshold. Circulation 1990; 81 (Suppl II): II14-II30.
34. Weisman IM, Zeballos J. An integrated approach to the interpretation of cardiopulmonary exercise testing. Clin Chest Med 1994; 15: 421-45.
35. Corrà U, Bosimini E, Baroffio C, Mezzani A, Giannuzzi P. Exertional periodic breathing in chronic heart failure: a marker of advanced clinical status and functional impairment. (abstr) Eur Heart J 1998; 19 (Suppl): 636.
36. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting the anaerobic threshold by gas exchange. J Appl Physiol 1986; 60: 2020-7.
37. Sue DY, Wassermann K, Moricca RB, et al. Metabolic acidosis during exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease. Use of V-slope method for anaerobic threshold determination. Chest 1988; 94: 931-8.
38. Yeh MP, Gardenr RM, Adams TD, Yanowitz FG, Crapo RO. “Anaerobic threshold”. Problems of determination and validation. J Appl Physiol 1983; 55: 1178-86.
39. Davis JA, Frank MH, Whipp BJ, Wassermann K. Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged men. J Appl Physiol 1979; 46: 1039-46.
40. Simonton CA, Higginbotham MB, Cobb FR. The ventilatory threshold: quantitative analysis of reproducibility and relation to arterial lactate concentration in normal subjects and in patients with chronic congestive heart failure. Am J Cardiol 1988; 62: 100-7.
41. Sullivan M, Cobb FR. The anaerobic threshold in chronic heart failure. Relation to blood lactate, ventilatory basis, reproducibility, and response to exercise training. Circulation 1990; 81 (Suppl II): II47-II58.
42. Cohen-Solal A, Zannad F, Kayanakis JG, Guéret P, Aupetit JF, Kolsky H, for the VO_2 French Study Group. Multicenter determination of the oxygen uptake and ventilatory threshold. Eur Heart J 1991; 12: 1055-63.