

## Il test da sforzo cardiopolmonare

di Giuseppe Fiorenzano,  
Carlo Santoriello e Mario Polverino

**S**in dai tempi più antichi, il concetto di salute è stato associato alla capacità di compiere esercizio fisico [1]. Al contrario, la maggior parte degli stati patologici, in particolare quelli di tipo cronico, si accompagna ad una limitazione dell'attività fisica, che condiziona significativamente la qualità della vita dei soggetti colpiti. Con la disponibilità di apparecchiature che consentono di effettuare test da sforzo con la valutazione di numerosi parametri funzionali e metabolici è possibile valutare l'adattamento dell'organismo all'esercizio, l'eventuale limitazione allo sforzo, ed i possibili meccanismi implicati. Scopo del presente articolo è di esaminare i principi essenziali dell'adattamento fisiologico allo sforzo, delle modalità di esecuzione del test da sforzo cardiopolmonare (TCP) e delle sue indicazioni, con particolare riguardo alla patologia respiratoria, rinviano a test specifici per una trattazione più approfondita [2-6].

### Adattamenti fisiologici all'esercizio fisico

Il lavoro muscolare richiede la continua formazione dell'ATP necessario per sostenere la contrazione, utilizzando prevalentemente l'ossidazione dei carboidrati e dei grassi [1,7-8]. La ventilazione polmonare, gli scambi gassosi e la circolazione subiscono una serie di modificazioni necessarie per fornire l'ossigeno ed eliminare l'anidride carbonica, prodotta al termine dei processi metabolici nei tessuti. La cessione di ossigeno al muscolo è stata considerata

il principale fattore limitante l'esercizio, poiché l'ipossia determina incremento della produzione di lattati. Attualmente, l'accumulo di acido lattico nei tessuti è considerato comunque importante, anche se è noto che la produzione di acido lattico dipende da complesse interrelazioni metaboliche, che non sono soltanto funzione della disponibilità di ossigeno [7]. In corso di esercizio fisico, la portata e la frequenza cardiaca tendono ad incrementarsi in modo lineare con il consumo di ossigeno; la pressione arteriosa sistemica aumenta parallelamente ad una riduzione delle resistenze vascolari nei muscoli attivi, incrementando il flusso sanguigno ai muscoli stessi. L'attività muscolare determina un incremento del ritorno venoso, che a sua volta provoca l'aumento della portata cardiaca [7]. I valori di frequenza e portata cardiaca raggiunti all'apice dell'esercizio sono considerati generalmente i fattori limitanti lo sforzo nel soggetto normale. La ventilazione cresce parallelamente all'incremento del consumo di ossigeno ( $\dot{V}O_2$ ) e della produzione di anidride carbonica ( $\dot{V}CO_2$ ). Se si effettua uno sforzo di tipo incrementale, all'accumulo dei lattati corrisponde un aumento del  $\dot{V}CO_2$  (per il tamponamento dell'acido lattico da parte del bicarbonato), che costituisce un ulteriore stimolo alla ventilazione. Il valore di  $\dot{V}O_2$  al quale l'incremento di  $\dot{V}CO_2$  e di ventilazione diviene sproporzionato rispetto al  $\dot{V}O_2$  stesso è definito soglia anaerobica (AT) (Fig. 1). La ventilazione continua comunque a crescere fino al termine dell'esercizio: infatti, nel soggetto normale, la ventilazione all'apice dell'esercizio è inferiore alla massima ventilazione volontaria (MVV) misurata o calcolata prima dell'esercizio; tale differenza costituisce la riserva respiratoria. Per quanto riguarda gli

scambi gassosi, nel soggetto normale non si ha ipossiemia durante l'esercizio, in quanto gli alti livelli di ventilazione e di portata cardiaca determinano una maggiore uniformità del rapporto ventilazione/perfusione [7-8]. Solo in atleti di altissimo livello, durante uno sforzo sovramassimale, è stata segnalata la comparsa di ipossiemia, dovuta verosimilmente al raggiungimento dei limiti fisiologici della capacità di diffusione [9]. Pertanto, nel soggetto normale l'apparato respiratorio non è considerato un fattore limitante l'esercizio, anche se, in condizioni particolari (ipossia ipobarica), è possibile che la fatica del diaframma possa costituire un fattore limitante [10-11].

In definitiva, l'interruzione dell'esercizio in un soggetto normale è da attribuirsi al raggiungimento dei limiti dell'apparato cardiocircolatorio e muscolare del soggetto, in relazione all'allenamento specifico praticato.

## Modalità di esecuzione del TCP

Il TCP viene generalmente eseguito utilizzando il cicloergometro o il tappeto rotante (treadmill). Esistono anche ergometri per gli arti superiori, che vengono utilizzati in casi particolari, in atleti che svolgono attività sportive con uso prevalente degli arti superiori [12], oppure per valutazioni a scopo riabilitativo [13]. Nella valutazione dei risultati del test è necessario tener conto del tipo di apparecchio utilizzato (cicloergometro o treadmill), poiché sono state riscontrate delle differenze anche nella valutazione dei medesimi soggetti [14]. Inoltre, la scelta dell'apparecchio dipende dalle finalità dell'esame (ad esempio il cicloergometro consente una miglior valutazione della traccia ecg-grafica, il treadmill è più adatto per soggetti la cui attività fisica riguarda prevalentemente il cammino o la corsa).

I test più impiegati nella pratica clinica sono di tipo incrementale (o triangolari) e a carico costante (o rettangolari) [5]. Il

carico di lavoro, espresso in Watt, può essere incrementato con l'aumento della velocità e della pendenza, nel caso del treadmill, oppure aumentando la resistenza dei pedali, nel caso del cicloergometro.

L'incremento del carico può essere continuo (a rampa) o ad intervalli regolari (generalmente 1 o 2 min). Di solito, si effettuano le misurazioni dei parametri in condizioni basali, poi durante un periodo di 3 min senza carico, poi si esegue il test incrementale, infine un periodo di almeno 2 min di recupero. L'incremento può variare dai 10 Watt al minuto nei pazienti, a 20 Watt al minuto: anche più in soggetti normali o atleti, a volte meno (5 Watt) in pazienti compromessi. È preferibile scegliere un protocollo che consenta di concludere il test incrementale in circa 10 min. [5], per valutare meglio i fenomeni sopra descritti. L'esame standard prevede l'utilizzo di una maschera facciale per la misurazione dei gas espirati, monitoraggio dell'ecg, della PA, della saturazione di ossigeno mediante pulsossimetro (nei pazienti può essere necessaria l'esecuzione dell'emogasanalisi arteriosa). Nei test clinici è opportuno aggiungere anche una valuta-

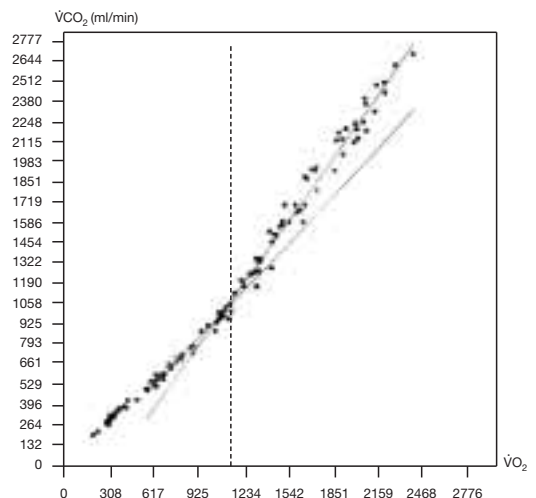


FIGURA 1.

LA SOGLIA ANAEROBICA (AT)

zione soggettiva della dispnea, mediante scala di Borg o scala analogo-visiva (VAS). L'utilità del test incrementale è quella di poter valutare in modo attendibile la massima capacità di lavoro, di consentire una buona valutazione della soglia anaerobica, ed è il più utilizzato a scopo diagnostico. Il test a carico costante (di tipo rettangolare) può essere utile nel valutare l'*endurance* di un soggetto, valutando i vari parametri in condizioni di steady state. Ciò lo rende utile in campo riabilitativo o a fini di allenamento. Infatti, l'imposizione di un carico costante determina un adeguamento del  $\dot{V}O_2$  e degli altri parametri secondo una cinetica che è tipica di ciascun soggetto (ad esempio nel BPCO la cinetica è più lenta che nel soggetto normale); un programma di allenamento o di riabilitazione può modificare tale cinetica, consentendo di valutare i risultati del programma stesso [5].

## Parametri di valutazione

I principali parametri da valutare nel corso di un TCP sono i seguenti [15]: lavoro meccanico (W), scambi gassosi ( $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$ , RER, AT), ventilazione ( $\dot{V}E$ ,  $\dot{V}t$ , FR), gas respiratori ed ematici ( $PaO_2$ ,  $PaCO_2$ , A-aDO<sub>2</sub>, Vd/ $\dot{V}t$ , SaO<sub>2</sub>), cardiovascolari (FC, HR, PA, ECG, polso di O<sub>2</sub>), stato acido-base (pH, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), sintomi (dispnea, dolore/fatica arti inferiori, dolore toracico), valutando in particolare i sintomi che hanno provocato l'interruzione del test; come si è detto, è importante che anche i sintomi soggettivi, in particolare la dispnea, siano quantificati mediante apposite scale (Borg, VAS, ecc.); molto importanti anche alcuni parametri derivati, come gli equivalenti respiratori ( $\dot{V}E/\dot{V}O_2$  e  $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ ).

Il massimo consumo di ossigeno ( $\dot{V}O_{2max}$ ), più facilmente misurato come  $\dot{V}O_2$  peak, è espressione della massima capacità aerobica del soggetto e consente di evidenziare una eventuale limitazione all'esercizio. Raffrontato con il massimo carico

di lavoro, fornisce una stima dell'efficienza dell'esercizio stesso: l'incremento normale di  $\dot{V}O_2$  è generalmente di 10 ml/min/watt. La soglia anaerobica (AT) (Fig. 1) può essere misurata in modo non invasivo, determinando il valore di  $\dot{V}O_2$  al cui livello il  $\dot{V}CO_2$  e la ventilazione si incrementano in modo sproporzionato rispetto al  $\dot{V}O_2$ , oppure in modo invasivo, effettuando prelievi per la determinazione dei lattati. La scelta del metodo dipende sostanzialmente dalla disponibilità di attrezzature e dalla finalità dello studio. Un'analisi dettagliata dei parametri considerati, utilizzando appropriati grafici di comparazione delle diverse variabili, consente di evidenziare le cause più verosimili della limitazione all'esercizio, in particolare se di tipo respiratorio o cardiovascolare [2-5]: sono stati proposti diversi metodi di valutazione, basati sull'impiego di flow-charts o di schemi standard di interpretazione.

## Indicazioni all'esecuzione di un TCP

Il test cardiopolmonare può trovare indicazione in diverse tipologie di soggetti e con differenti finalità: nel soggetto normale o nell'atleta, in soggetti con patologia da accertare, in soggetti con patologia già nota. Nel normale e nell'atleta il TCP ha la finalità di definire l'idoneità all'attività sportiva, di valutare il carico di lavoro eseguibile e verificare gli effetti dell'allenamento. Infatti, l'allenamento può determinare un incremento del  $\dot{V}O_2$  e del carico di lavoro, uno spostamento dell'AT (che viene raggiunta a carichi di lavoro e  $\dot{V}O_2$  più elevati); in sostanza, dopo l'allenamento è possibile sostenere i medesimi carichi di lavoro con una minore produzione di acido lattico, minori livelli di ventilazione e per una durata maggiore [4]. Un'altra caratteristica dell'allenamento è la sua specificità, per cui il test deve riprodurre preferibilmente il tipo di attività coinvolta: in campo medico-sportivo esistono ergometri appositamente disegnati per riprodurre le

condizioni dell'attività agonistica (es. remoergometro per il canottaggio, ecc.) [12]. In campo diagnostico il TCP, pur non essendo generalmente in grado di giungere ad una specifica diagnosi, consente di orientare correttamente l'iter diagnostico, ad esempio permettendo di distinguere nell'ambito delle dispnee quelle cardiogene da quelle di origine respiratoria (presenza ed entità di una riserva respiratoria, valutazione degli equivalenti respiratori e del pattern del respiro, andamento di HR e polso di O<sub>2</sub>, ecc.). Il TCP può essere anche utile nell'individuare dispnee di altra natura: obesità, decondizionamento fisico, dispnee psicogene, disturbi di tipo vascolare, ecc. [2].

In soggetti con pluripatologie, il TCP consente di evidenziare i meccanismi prevalenti della limitazione all'esercizio, con risvolti sul piano terapeutico e riabilitativo (es. soggetti con BPCO e cardiopatie valvolari). In ambito cardiologico il TCP trova numerose applicazioni: diagnosi dell'ischemia miocardica, valutazione prognostica nello scompenso cardiaco, nel post-infarto, valutazione dell'efficacia delle terapie, valutazione della tolleranza allo sforzo in varie cardiopatie (es. valvulopatie), nell'impostazione e nella valutazione dei risultati di programmi riabilitativi, nella selezione dei candidati al trapianto cardiaco [4, 6].

In ambito pneumologico, il TCP presenta diverse indicazioni: a scopo diagnostico, di quantificazione del danno funzionale, di valutazione dell'efficacia di misure terapeutiche e riabilitative.

Nell'asma da sforzo il TCP può essere complementare al test diagnostico (che si basa sulla dimostrazione di una broncoostruzione indotta dell'esercizio), anche nella valutazione dell'efficacia di misure di terapia e prevenzione [4,16-19].

Oltre all'impiego nella pratica clinica, può essere di grande utilità in ambito medico-sportivo, vista la frequenza dell'asma bronchiale anche in atleti di alto livello agonistico [20-21].

Sempre nell'ambito della diagnostica delle

pneumopatie, il TCP può essere utile nell'indirizzare correttamente la diagnosi, consentendo di inquadrare il pattern della risposta allo sforzo nell'ambito di alcune grandi categorie: le patologie ostruttive, le patologie interstiziali, le malattie vascolari del polmone [6].

In pazienti con pneumopatie note può essere di grande utilità nel quantificare la limitazione all'esercizio fisico, i suoi meccanismi patogenetici e nel monitoraggio della stessa. Ad esempio, nelle pneumopatie interstiziali la capacità di diffusione e il TCP sono tra i parametri più sensibili nella valutazione della progressione della malattia [22]. Nei pazienti con BPCO, è usuale classificare la gravità della malattia in base all'entità della riduzione del FEV<sub>1</sub> rispetto al valore teorico [23-25], soprattutto per il valore prognostico che questo dato possiede [23-25]. D'altra parte è nota la scarsa predittività degli indici funzionali respiratori a riposo rispetto alla limitazione all'esercizio fisico [26]: poiché la dispnea e la limitazione allo sforzo sono tra i principali fattori che condizionano la qualità della vita nei pazienti con BPCO, è evidente il ruolo significativo del TCP nell'inquadramento del singolo paziente, anche a fini riabilitativi. Per le ragioni sovraesposte, il TCP è di grande importanza nel quantificare l'entità della limitazione funzionale nei pazienti pneumopatici in genere, anche a fini medico-legali [4].

In ambito riabilitativo il TCP ha grande importanza nella valutazione iniziale, per stabilire il programma di riabilitazione e nella valutazione finale [4,27]. Per motivi di semplicità ed economia, è possibile utilizzare il test del cammino, dei 12 o 6 minuti [27,28,29]. Alcuni Autori ritengono che tale test fornisca indicazioni attendibili in pazienti con compromissione di grado severo, ma non in pazienti di moderata gravità [28,30]. In ogni caso, quando è possibile eseguire un TCP, le informazioni che si ottengono sono di gran lunga più complete ed accurate.

Inoltre, il TCP può essere utile in campo

chirurgico, nella valutazione di pazienti da sottoporre a resezione polmonare [4], a chirurgia riduttiva (LVRS) [31], a trapianto polmonare [4,31].

## Conclusioni

Il TCP è di grande utilità nella valutazione funzionale di soggetti normali, atleti, pazienti con patologie da diagnosticare, oppure con patologie già note (in particolare cardiopatie e pneumopatie). In particolare, in campo pneumologico esso può essere impiegato a fini diagnostici, di valutazione del danno funzionale, anche per scopi medico-legali, e per l'impostazione e la valutazione dei risultati di programmi di riabilitazione. A nostro parere, al giorno d'oggi un Centro di Fisiopatologia Respiratoria per fornire una valutazione funzionale respiratoria completa ed accurata dovrebbe dotarsi dell'attrezzatura e delle competenze professionali necessarie per effettuare un TCP.

10

## BIBLIOGRAFIA

- [1] McArdle WD, Katch FI, Katch VL. Fisiologia applicata allo sport. Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 1998
- [2] Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Casaburi R, Whipp BJ. Principles of Exercise Testing and Interpretation. Lippincott Williams and Wilkins, Philadelphia, 1999
- [3] Jones NL. Clinical Exercise Testing. WB Saunders Company, Philadelphia, 1997
- [4] Weisman IM, Zeballos RJ (Eds.). Clinical Exercise Testing. Clin. Chest Med. 1994; 15: 173-451
- [5] Roca J, Whipp BJ (Eds.). Clinical Exercise Testing. Eur. Respir. Mon. 1997; 6: 1-164
- [6] Palange P, Schena F (Eds.). Il test da sforzo cardiopolmonare. Edizioni COSMED, 2001
- [7] Jones NL, Killian KJ. Exercise Limitation in Health and Disease. N. Engl. J. Med. 2000; 343: 632-41
- [8] Cerretelli P. Fisiologia dell'esercizio. Società Editrice Universo, Roma, 2001
- [9] Dempsey JA, Hanson PG, Henderson KS. Exercise-induced arterial hypoxaemia in healthy human subjects at sea level. J. Physiol. 1984; 355: 161-75
- [10] Cibella F, Cuttitta G, Kayser B, Narici M, Romano S, Saibene F. Respiratory mechanics during exhaustive submaximal exercise at high altitude in healthy humans. J. Physiol. 1996; 495: 881-90
- [11] Gudjonsdottir M, Appendini L, Baderna P, Purro A, Patessio A, Vilianis G, Pastorelli M, Sigurdsson SB, Donner CF. Diaphragm fatigue during exercise at high altitude: the role of hypoxia and workload. Eur. Respir. J. 2001; 17: 674-80
- [12] Dal Monte A, Faina M. Valutazione dell'atleta. UTET, Torino, 1999
- [13] Fiorenzano G. Ergometria e arti superiori. AIPO, 4° Corso Nazionale Post-Universitario in Pneumologia, Chia Laguna, 2000, Volume riassunti
- [14] Palange P, Forte S, Onorati P, Manfredi F, Serra P, Carlone S. Ventilatory and metabolic adaptations to walking and cycling in patients with COPD. J. Appl. Physiol. 2000; 88: 1715-1720
- [15] Santoriello C, De Sio V, Polverino M. Principi di interpretazione: flow-charts. AIPO, 4° Corso Nazionale Post-Universitario in Pneumologia, Chia Laguna, 2000, Volume riassunti
- [16] Weiler JM (Ed.). Allergic and Respiratory Disease in Sports Medicine. Marcel Dekker Inc., New York, 1997
- [17] N.H.L.B.I. Global Initiative for Asthma. NIH Publication N. 95-3659, 1995
- [18] Rossi A (Ed.). Patologia broncostruttiva e attività sportiva. Editeam, 1999
- [19] Todaro A, Faina M (Ed.). L'attività sportiva nei soggetti asmatici. MGA, Roma, 1998
- [20] Weiler JM, Layton T, Hunt M. Asthma in United States Olympic athletes who participated in the 1996 Summer Games. J. Allergy Clin. Immunol. 1998; 102: 722-6
- [21] Weiler JM, Ryan EJ. Asthma in United States Olympic athletes who participated in the 1998 Olympic Winter Games. J. Allergy Clin. Immunol. 2000; 106: 267-71