

Università degli Studi di Verona

Corso di Laurea in Scienze delle Attività Motorie e Sportive

Tesi di Laurea

Cinetiche d'adattamento cardiorespiratorio all'esercizio fisico, con le gambe e con le braccia, in soggetti anziani

Relatore
Prof. **Antonio Cevese**

Correlatore
Dott. **Paolo Terziotti**

Laureando
Gabriele Tampellini

Anno accademico 2001-2002

INDICE

1. INTRODUZIONE	4
1. SCOPO DELLA TESI	6
2. METABOLISMO ANAEROBICO	7
2.1 IL DEBITO D'OSSIGENO ALATTICO	7
2.2 DEBITO D'OSSIGENO LATTICO	8
2.3 ACIDO LATTICO E SOGLIA ANAEROBICA	9
2.4 DETERMINAZIONE DELLA SOGLIA ANAEROBICA	11
2.5 INTENSITA' DELL'ESERCIZIO	14
3. METABOLISMO AEROBICO	15
3.1 CONCETTO DI VO_2 MAX	15
3.2 FATTORI LIMITANTI LA VO_2 MAX	15
4. CINETICA DEL CONSUMO D'OSSIGENO	17
4.1 FASE I DEL VO_2	18
4.2 FASE II DEL VO_2	18
4.3 FASE III DEL VO_2	19
4.4 CINETICA DEL CONSUMO D'OSSIGENO: MECCANISMI CENTRALI E PERIFERICI	21
4.5 CINETICA DEL CONSUMO D'OSSIGENO IN ESERCIZI ESEGUITI CON GLI ARTI SUPERIORI ED INFERIORI	22
4.6 ANZIANO E CINETICA DEL VO_2	22
5. ANZIANO ED ATTIVITÀ MOTORIA	24
5.1 MODIFICAZIONI FUNZIONALI	24
5.2 ATTIVITÀ MOTORIA ED INVECCHIAMENTO	25
5.3 EFFETTI DELL' ATTIVITA' MOTORIA	26
6. MATERIALI E METODI	28
6.1 IL CICLOERGOMETRO	28
6.2 L'ARMOERGOMETRO	29
6.3 IL CARDIOFREQUENZIMETRO POLAR VANTAGE NV	31
6.5 TECHNOGYM SYSTEM CON SOFTWARE WELLNESS TRAINER 4.0	33
7. PROTOCOLLO SPERIMENTALE	34
7.1 SOGGETTI	34
7.2 MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DEI TEST	35
7.2.1 Test cardiologico e familiarizzazione	35
7.2.2 Test incrementali	35
7.2.3 Test ad onda quadra	36

<i>7.3 MISURE EFFETTUATE</i>	37
<i>7.4 TECNICHE DI CALCOLO DELLE CINETICHE</i>	38
8. RISULTATI	45
9. DISCUSSIONE	50
10. RINGRAZIAMENTI	54
11. BIBLIOGRAFIA	55

1. INTRODUZIONE

“Spesso si sente parlare indifferentemente, facendo riferimento all’evoluzione delle Scienze Motorie, di Educazione Fisica e di Ginnastica.

In realtà l’educazione motoria è arte complessa, che non è limitata alla semplice esteriorità della forma, ma comprende l’insieme di molteplici specialità ginniche: artistica e attrezzoistico-acrobatica, educativa e metodica, medica, militare, naturale, ritmica o coreografica, sportivo-agonistica.

In senso moderno, la Disciplina ha per oggetto l’apprendimento dell’atto motorio in funzione della formazione intellettuale e morale della personalità, il proporzionato sviluppo organico, la conservazione ed il recupero della salute (in rapporto alla costituzione individuale, al sesso, alle varie età), l’avviamento alle pratiche sportive, la socializzazione“ [3].

E’ ormai cosa assodata che la popolazione anziana sia una componente della nostra società sempre più rappresentativa.

Inoltre, non è un mistero che l’anzianità sia un periodo della vita caratterizzato da un progressivo decadimento dell’efficienza fisica, associato all’insorgere di patologie più o meno gravi a carico dei diversi apparati e spesso accompagnato da uno stato di malinconia, dovuto alla solitudine o alla sensazione di essersi ormai lasciati alle spalle gli anni più belli.

Questo ovviamente in linea generale.

Tuttavia, è stato dimostrato come un’attività motoria guidata e controllata possa essere uno strumento molto utile per prolungare il benessere psicofisico della persona.

E’ quindi anche per questa ragione che l’Educazione Fisica deve poter avere la dignità di Scienza e poter così ottenere spazi ben più cospicui nella formazione degli individui,

Con questo lavoro si è inteso fornire, nella sua parte introduttiva, un quadro esauriente delle modificazioni fisiologiche e funzionali associate all’invecchiamento e dei benefici che la pratica motoria può apportare a questo inevitabile processo.

Il fulcro di questo studio verte sul confronto fra esercizi svolti con le braccia e con le gambe da soggetti anziani a diversi livelli di intensità, ottenendo così un

efficace mezzo di confronto fra alcuni parametri cardiorespiratori registrati nell'uno o nell'altro caso.

Il protocollo adottato mira a verificare gli adattamenti del metabolismo ossidativo nel corso dell'attività motoria, ossia il grado di efficienza del sistema cardiorespiratorio nel modificare la sua funzione, velocizzando l'aumento del consumo di ossigeno in base all'accresciuto fabbisogno dell'organismo.

La velocità e l'entità di tale adattamento, come sarà dimostrato nel contesto della tesi, varia in funzione sia dell'intensità dell'esercizio, sia della massa dei gruppi muscolari coinvolti nell'esecuzione dell'esercizio stesso.

Da qui la necessità di effettuare un confronto fra gruppi muscolari di dimensioni tanto differenti come le braccia e le gambe.

1. SCOPO DELLA TESI

Il presente lavoro è un'evoluzione di studi precedenti, che avevano come oggetto le cinetiche del consumo d'ossigeno.

E' noto che, quando s'inizia un esercizio, si ha un aumento del fabbisogno energetico e si ha un concomitante bisogno d'ossigeno per utilizzare i substrati energetici a disposizione.

Tuttavia, l'adeguamento del consumo d'ossigeno si presenta sempre con un certo "ritardo" rispetto all'esecuzione del lavoro.

Non è ancora stato chiarito se la causa di ciò sia da imputare ad un ritardo dovuto a meccanismi centrali, come il trasporto di ossigeno e la sua diffusione ai tessuti, o se sia invece attribuibile ad un'inerzia del metabolismo ossidativo muscolare, che necessita di un certo tempo per poter utilizzare una quantità maggiore di ossigeno in risposta ad un aumentato della richiesta.

L'aspetto innovativo di questa tesi è legato all'aver verificato gli adattamenti cardiorespiratori durante l'esercizio fisico, legati all'aumento del consumo d'ossigeno, nel soggetto anziano.

Come, infatti, è facile intuire il soggetto anziano presenta delle peculiarità fisiologiche dovute al processo di invecchiamento che possono condizionare l'assestamento all'esercizio. Lo scopo principale di questo lavoro è stato di verificare le differenze di adattamento cardiorespiratorio nei lavori svolti con le gambe e con le braccia a diversi livelli d'intensità. E' d'immediata intuizione che trattandosi di gruppi muscolari così diversi, per funzione e grandezza, daranno luogo ad altrettanto diverse risposte fisiologiche all'esercizio.

In particolar modo si è studiato il tempo di accomodamento del consumo d'ossigeno in esercizi svolti con le gambe e con le braccia a diversi livelli di intensità e il ritardo con cui ciò si verifica dopo l'inizio del lavoro, la diversa entità di ossigeno consumato utilizzando le braccia piuttosto che le gambe ed il livello di consumo di ossigeno basale, cioè a riposo.

2. METABOLISMO ANAEROBICO

L'espressione "debito d'ossigeno", è d'uso comune in laboratorio: si riferisce al ritardo con cui il consumo d'ossigeno segue gli eventi meccanici della contrazione muscolare.

Di conseguenza l'energia necessaria alla resintesi d'ATP deve essere presa a "debito" da meccanismi non ossidativi e cioè dalla scissione della fosfocreatina (debito alattico) e dalla glicolisi anaerobica, con conseguente accumulo di acido lattico (debito lattico).

2.1 IL DEBITO D'OSSIGENO ALATTICO

Nel corso di un qualsivoglia esercizio sottomassimale del tipo ad onda quadra (transizione istantanea dallo stato di riposo alla fase di lavoro), la curva del consumo di ossigeno (VO_2 on) è in ritardo rispetto al tracciato della potenza meccanica, il cui incremento può essere invece istantaneo. Il tempo di semi-reazione del VO_2 ($t_{1/2} VO_2$ on) varia nell'uomo dai 20 agli 80 secondi in funzione dell'intensità del lavoro, dei muscoli coinvolti nell'esercizio, della condizione atletica del soggetto e del tipo d'allenamento praticato ^[5].

L'entità del debito d' O_2 contratto corrisponde graficamente dalla superficie compresa fra l'ordinata e la curva del VO_2 . La maggior parte del deficit d' O_2 vivi, in massima parte dalla scissione della fosfocreatina.

Il debito alattico varia in funzione dell'intensità dell'esercizio e non della durata; il suo valore massimo oscilla tra 1.5 e 2.5 litri d' O_2 .

Il tempo di semireazione del VO_2 recuperato ($t_{1/2} VO_2$ off) è di circa 25-30 secondi nell'uomo e non ha alcun rapporto con la $t_{1/2} VO_2$ on. Il volume d' O_2 di recupero può essere maggiore, uguale o minore del debito contratto.

Il significato fisiologico del debito alattico è connesso ad altre due caratteristiche, utili ai fini della funzione muscolare:

- l'elevata cinetica della resintesi dell'ATP a partire dalla fosfocreatina permette modificazioni brusche del dispendio energetico muscolare; queste non sarebbero altrimenti possibili, a causa dell'inerzia nell'adeguamento delle reazioni ossidative;

- si possono raggiungere picchi di potenza di entità superiore (3-4 volte) rispetto a quelli esercitabili tramite la sola via ossidativa.

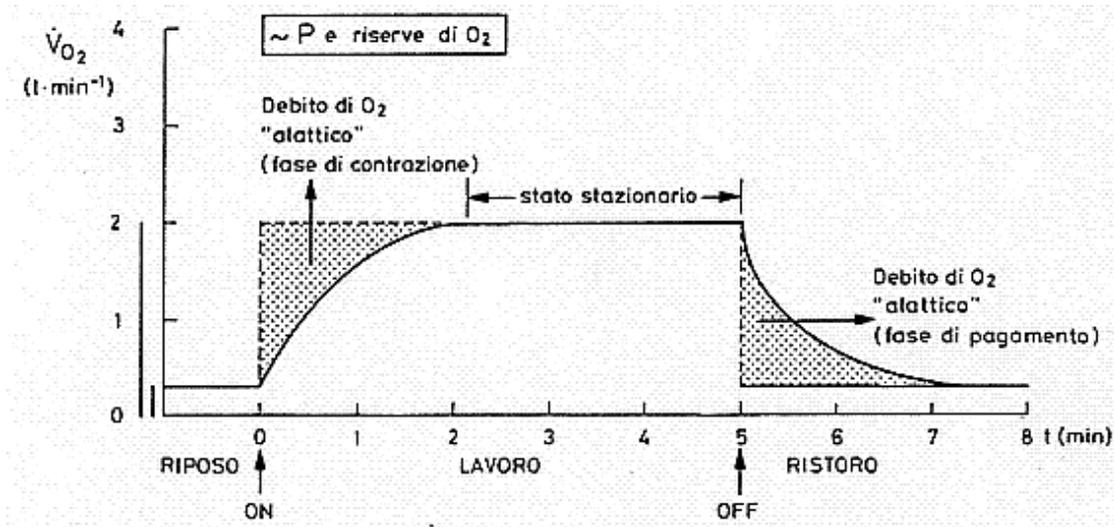


Fig. 1: dal testo di Paolo Cerretelli "Manuale di fisiologia dello Sport e del lavoro muscolare". Un'immagine esplicativa della dinamica di contrazione e di pagamento del debito di ossigeno lattico.

2.2 DEBITO D'OSSIGENO LATTICO

Un esercizio, che comporti lo sviluppo di una potenza superiore a quella sostenuta dalla massima sintesi d'ATP per via ossidativa, può essere definito soprammassimale.

Nella fase di ristoro che segue un esercizio di questo tipo della durata di qualche minuto, il $\dot{V}O_2$ di recupero eccede costantemente il volume del deficit. In tali condizioni una parte dell'energia necessaria alla contrazione muscolare proviene da reazioni ossidative ed una parte dall'idrolisi della fosfocreatina; una parte più o meno rilevante della resintesi d'ATP proviene però dalla glicolisi anaerobica, che provoca accumulo di acido lattico.

L'approccio sperimentale classico per valutare l'entità del debito lattico si basa sulla misura dell'acido lattico ematico e tissutale al termine dell'esercizio. Questa si presenta però alquanto difficoltosa, a causa dell'impossibilità di co-

noscere l'esatta ripartizione del lattato fra i vari tessuti ed in particolare fra il liquido intra e quello extra cellulare ^[9].

Tuttavia, più recentemente, la valutazione del debito lattacido contratto è stata eseguita basandosi sull'accumulo di lattato nel sangue e sull'energia ossidativa risparmiata, prescindendo così dalla ripartizione dell'acido lattico nei vari compartimenti organici. Tale analisi dimostra che l'aumento di 1 mM di acido lattico nel sangue (La) corrisponde ad un risparmio di 3.3 ml di O₂ per Kg di peso corporeo del soggetto considerato ^[21].

Sulla base dei massimi valori di La registrati nel corso di esercizi sopramassimali, corrispondenti a 15-20 mM, si può stimare che il massimo livello di debito di ossigeno lattico oscilla fra i 3,5 e i 4,5 litri di O₂.

Il massimo debito lattico di O₂ subisce una grande diminuzione in alta quota, a causa della riduzione del potere tampone dell'organismo.

2.3 ACIDO LATTICO E SOGLIA ANAEROBICA

Un aumento d'acido lattico, nell'organismo, esprime l'impossibilità di far fronte alla richiesta di resintesi d'ATP mediante le reazioni che si svolgono all'interno del ciclo di Krebs. Pertanto, è necessario utilizzare una via alternativa, la glicolisi anaerobica per l'appunto, con la trasformazione di una quota di acido piruvico in lattato.

La lattacidemia può essere determinata in relazione al carico lavorativo ed alla sua ripartizione tra i vari muscoli:

- **Gruppi muscolari limitati:** questi gruppi muscolari (10% della massa muscolare totale) sono attivati ad un livello superiore al loro massimo potenziale ossidativo. Dovranno ricorrere parzialmente alla glicolisi anaerobica con produzione di acido lattico. Quest'ultimo potrà essere utilizzato in altri distretti al posto del glucosio, essendo più che sufficiente il flusso d'O₂ per il fabbisogno metabolico dell'organismo. Il livello di La nel sangue si stabilizzerà ad un livello uguale, o leggermente superiore, a quello basale. La prestazione sarà assimilata ad un'attività aerobica il cui costo è desumibile unicamente dalla misura di VO₂ ^[9].

- **Gruppi muscolari importanti:** questi lavorano in prossimità del massimo potenziale ossidativo, mentre una piccola parte della massa muscolare dell'individuo supera questo limite producendo acido lattico. Del lattato prodotto, una quota è ossidata come combustibile, mentre un'altra parte non può essere ossidata, per ragioni connesse con l'apporto regionale di O_2 da parte della circolazione periferica o per ragioni metaboliche inerenti al muscolo. Col passare del tempo si verifica un accumulo del lattato ematico, associato ad una diminuzione del pH organico. A questo punto si verifica una flessione nella curva che descrive la concentrazione del lattato durante un'esercitazione.

Tale flessione, interpretata come il passaggio fra il metabolismo aerobico e quello anaerobico, è definita SOGLIA ANAEROBICA.

Nel grafico sottostante sono rappresentate quattro soglie anaerobiche, registrate in esercizi eseguiti con le sole braccia e con le sole gambe da due atleti e da due soggetti sedentari.

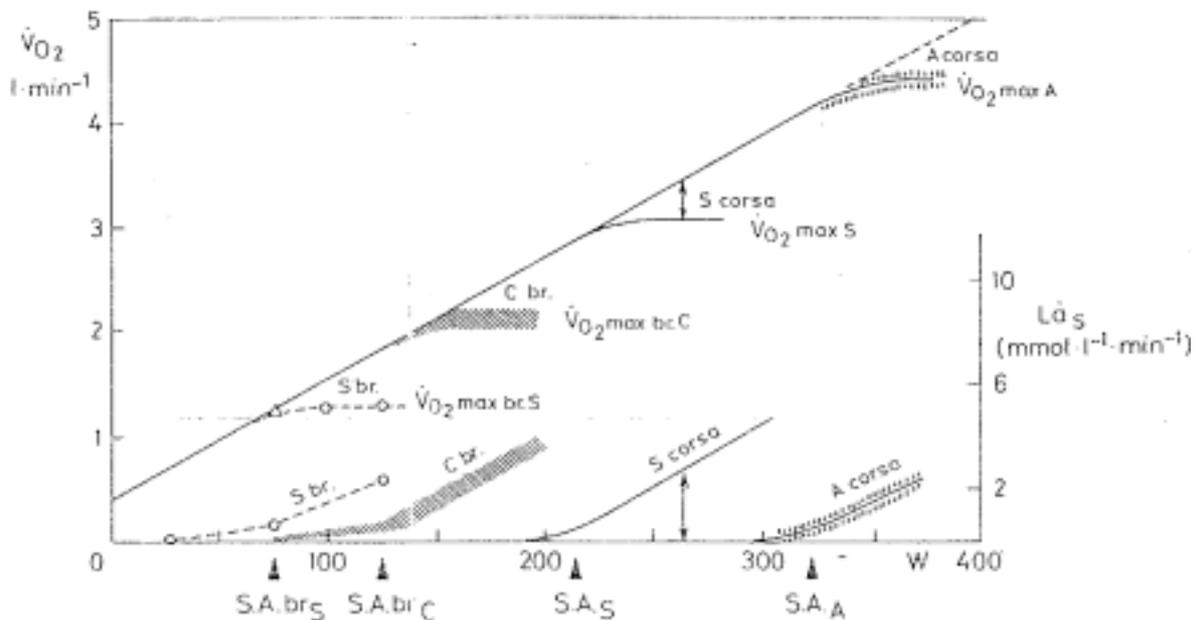


Fig. 2: dal testo di Paolo Cerretelli "Manuale di Fisiologia dello Sport e del lavoro muscolare". Immagine indicante: consumo di O_2 allo stato stazionario (ord. a sin.) e tasso di incremento dell'acido lattico nel sangue (La) (ord. a des.) in funzione del carico lavorativo (W) in un esercizio compiuto con le sole gambe o con le sole braccia da un soggetto sedentario (S) o da due atleti (rispettivamente un canoista C ed un fondista (A).

Oltre alle quattro soglie anaerobiche (di cui 2 per le braccia S.A.brS e S.A.brC e due per l'organismo in toto S.A.g e S.A.g) sono riportati i livelli di $\dot{V}O_2$ max per il sedentario, il canoista e l'atleta fondista.

L'importanza della soglia anaerobica è universalmente riconosciuta nell'ambito degli sport di resistenza di lunga durata, dove la capacità di prestazione non è correlata al massimo consumo d'ossigeno (VO_2 max), bensì alla più alta percentuale del consumo d'ossigeno che si è in grado di utilizzare senza avvalersi di meccanismi rigenerativi di tipo lattico.

Il carico lavorativo da utilizzarsi nel corso del training facendo capo esclusivamente a meccanismi ossidativi è determinabile analizzando la frequenza cardiaca in prossimità della soglia: nel corso degli allenamenti, s'impone poi all'atleta, munito di cardiofrequenzimetro, di non eccedere la frequenza rilevata. Infatti, quando, nel corso della competizione o dell'allenamento si supera tale livello d'intensità, si ha un accumulo di acido lattico a livello muscolare, determinato da uno squilibrio fra produzione e metabolizzazione: ciò comporta una diminuzione della performance.

2.4 DETERMINAZIONE DELLA SOGLIA ANAEROBICA

Partendo dal presupposto che la media delle persone è in grado di sostenere esercizi d'intensità pari alla propria massima capacità aerobica per non oltre 10-12 min, è bene che i test per la determinazione della VO_2 max abbiano una durata non superiore a tale limite, ma al contempo non inferiore agli otto minuti, per non richiedere eccessivi incrementi di carico, che comporterebbero l'attivazione di meccanismi anaerobici nel transiente.

Un test per la determinazione della soglia anaerobica (AT: anaerobic threshold) consiste in un test a carico incrementale durante il quale sono misurati, respiro per respiro, diversi parametri ventilatori e metabolici.

L'analisi grafica dell'andamento di questi parametri permette la determinazione di due momenti significativi per l'esercizio; il primo corrisponde alla soglia anaerobica o ventilatoria: è stata proposta una tecnica per la determinazione di tale soglia, chiamata "V-Slope", che individua AT nel punto in cui la relazione tra VO_2 (l/min), sull'asse delle ascisse, e VCO_2 (l/min), sull'asse delle ordinate, mostra un brusco incremento dell'inclinazione.

Sopra l'AT, l'incremento della VO_2 rimane relativamente lineare mentre l'incremento della VCO_2 subisce un'accelerazione, in conseguenza del tamponamento dell'acido lattico da parte del bicarbonato. Questo incremento del-

la VCO_2 è accompagnato da un parallelo aumento della ventilazione (V_e), che mantiene la CO_2 arteriosa ($PaCO_2$) e alveolare ($PetCO_2$) relativamente costanti.

L'equivalente ventilatorio dell' O_2 (V_e/VO_2), che è diminuito o rimasto invariato sotto l'AT, comincia a crescere sopra la soglia stessa senza un incremento dell' equivalente ventilatorio della CO_2 (V_e/VCO_2). Pertanto, l' O_2 alveolare ($PetO_2$) aumenta anch'esso in corrispondenza dell'AT, mentre la CO_2 alveolare ($PetCO_2$) non varia sopra l'AT, in quanto l'aumento della ventilazione riesce a smaltire la CO_2 prodotta in eccesso dal bicarbonato (tamponamento isocapnico).

L'aumento della V_e/VO_2 , senza un contemporaneo aumento della V_e/VCO_2 , e l'incremento di $PetO_2$, senza un contemporaneo calo di $PetCO_2$, sono gli specifici indicatori del superamento dell'AT.

Il quoziente respiratorio QR (calcolato come VCO_2/VO_2), che normalmente sale lentamente durante i test incrementali, a partire dall'AT sale più velocemente.

La fase di tamponamento isocapnico termina con la **seconda soglia ventilatoria**: dopo tale soglia interviene la compensazione respiratoria all'acidosi metabolica, individuabile da un incremento del rapporto V_e/VCO_2 e un calo della $PetCO_2$. Infatti, la V_e viene fortemente incrementata dall'azione degli idrogenioni, ormai abbondanti, sui chemocettori, la cui stimolazione aumenta la ventilazione.

Durante l'analisi sperimentale condotta in questo lavoro si farà riferimento alla **prima soglia ventilatoria individuata, ogniqualvolta sarà menzionato il concetto di soglia anaerobica.**

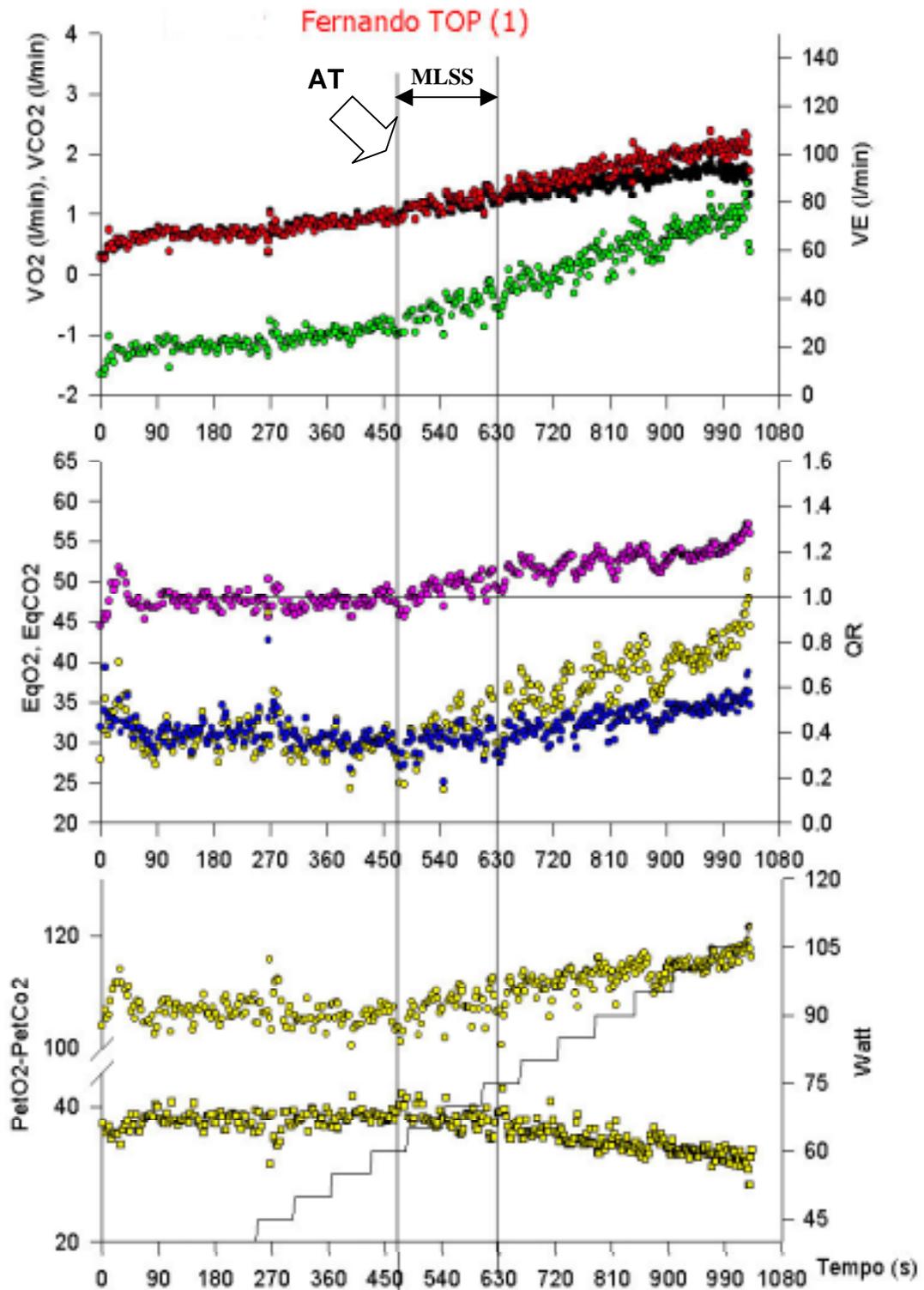


Fig. 3: i grafici mostrano rispettivamente: l'andamento del consumo di ossigeno e di anidride carbonica (VO_2, CO_2); i rispettivi equivalenti ventilatori ($EqO_2, EqCO_2$); e la pressione parziale dei gas ($PetO_2, PetCO_2$) a fine respiro. La prima soglia ventilatoria (AT) corrisponde al punto in cui vi è contemporaneamente aumento dell'equivalente dell' O_2 , aumento della $PetO_2$, aumento del QR (di norma sopra l'unità). In questa fase la $PetCO_2$ rimane costante. In alcuni casi in questo punto si può notare anche un cambiamento della pendenza della ventilazione (Ve).

2.5 INTENSITA' DELL'ESERCIZIO

Essendo la cinetica del VO_2 variabile secondo l'intensità del lavoro, è necessario distinguerne tre diversi "domini":

- **Esercizio moderato:** non induce variazioni del lattato ematico, e per questo si parla d'intensità moderata. Il limite superiore di questo dominio corrisponde alla soglia ventilatoria (AT).
- **Esercizio intenso:** l'intensità di lavoro è in questo caso superiore all'AT e il tasso di produzione del lattato supera quello del suo smaltimento, per cui il lattato ematico comincia ad aumentare. Esso può stabilizzarsi ad un nuovo livello, più elevato di quello iniziale, se l'intensità di lavoro è inferiore al **massimo stato stazionario di lattato (MLSS)**. Pertanto, un lavoro di intensità compresa tra AT e MLSS è considerato ad elevata intensità.
- **Esercizio severo:** il lavoro è condotto al di sopra della MLSS e ne consegue un aumento costante del lattato ematico. In questo caso si parla d'esercizio condotto ad intensità severa.

3. METABOLISMO AEROBICO

Ai fini energetici le reazioni di tipo ossidativo sono le più importanti, per la gran quantità d'energia che possono sviluppare utilizzando substrati energetici immagazzinati nel corpo (glucidi e lipidi).

Alcuni dati stimano che l'equivalente calorico delle riserve lipidiche organiche vari fra le 60000 e le 150000 kilocalorie: per l'utilizzazione di tale riserve è necessario l'apporto di glucidi, le cui riserve ammontano a circa 2000 kcal.

il limite alla potenza che l'organismo può sviluppare non è dunque rappresentato dalla disponibilità di carburante, ma dal massimo apporto d'ossigeno ai tessuti (VO_2 max), indispensabile per l'ossidazione dei substrati energetici.

L'assunzione dell'ossigeno dall'esterno ed il suo trasporto ai tessuti prevede il coinvolgimento:

- Dell'apparato respiratorio (scambi gassosi)
- Del sangue (l'emoglobina realizza il trasporto d'ossigeno ai tessuti)
- Dell'apparato cardiocircolatorio (trasporto di materiale energetico e gas respiratori ai tessuti)

Il limite dell'attività aerobica sostenibile è rappresentato quindi dall'apporto ai tessuti d'ossigeno e substrati e dalla loro proporzione.

3.1 CONCETTO DI VO_2 MAX

La massima potenza aerobica dell'organismo, (VO_2 max), è definita dalla massima quantità d'energia che può essere resa disponibile nell'unità di tempo sulla base dei soli processi ossidativi ^[4].

3.2 FATTORI LIMITANTI LA VO_2 MAX

I fattori limitanti la VO_2 max, anche in presenza di substrati ossidabili, sono rappresentati da:

- Fattori polmonari:
 - V_a (ventilazione alveolare)
 - DO_2 (diffusione dell'ossigeno attraverso la membrana alveolo capillare)
- Fattori ematici:
 - Capacità di trasporto d' O_2 e di CO_2
- Fattori cardiocircolatori - Gittata cardiaca (Q)
 - Circolazione periferica
- Fattori tissutali:
 - Capacità di diffusione dell' O_2 dal sangue ai tessuti
 - Capacità di diffusione della CO_2 dai tessuti al sangue
 - Capacità d'utilizzo dell' O_2 da parte dei tessuti

La funzione polmonare non sembra rappresentare un limite alla massima prestazione esprimibile, in quanto la pressione parziale di ossigeno (PaO_2) e di anidride carbonica ($PaCO_2$) non mutano sostanzialmente nel corso di un lavoro intenso. L'eventuale diminuzione della $PaCO_2$ si spiega con l'aumento della ventilazione causato dall'accumulo di acido lattico nell'organismo.

La gittata cardiaca (Q) sembra essere il fattore più importante nella limitazione della VO_2 max. È stato, infatti, verificato che la massima gittata cardiaca si raggiunge intorno al 70% della VO_2 max: anche oltre tale limite, il fatto che la Q resti costante mentre il consumo d' O_2 continua ad aumentare, senza modificazioni a carico della PaO_2 e senza significativi aumenti del lattato, suggerisce che il fattore limite più rilevante sia il lavoro del cuore.

Il riscontro che nella corsa e nella marcia, pur in condizioni prossime alla VO_2 max non si verifichi un accumulo significativo di acido lattico, suggerisce che generalmente l'apporto di O_2 ai tessuti sia adeguato al fabbisogno e che non intervengano fattori limitanti di natura periferica.

A livello tissutale è dimostrato, inoltre, che il sangue refluo da muscoli che compiono un lavoro submassimale o massimale è poverissimo d' O_2 ^[23]: pertanto la limitazione dei processi ossidativi non sarebbe causata da una limitazione della diffusione d' O_2 dal sangue alle cellule, né dal raggiungimento di un limite all'entità delle reazioni ossidative.

4. CINETICA DEL CONSUMO D'OSSIGENO

Dall'osservazione degli scambi respiratori durante i primi minuti di attività, si possono effettuare importanti inferenze in merito alla capacità di adattamento del metabolismo aerobico in risposta ad aumentate richieste energetiche. Una veloce risposta d'adattamento, ad un aumento del fabbisogno energetico muscolare, implica un minore ricorso all'utilizzazione d'energia derivata da meccanismi non ossidativi.

Infatti, un'eccessiva inerzia del metabolismo aerobico implicherebbe l'utilizzo di meccanismi anaerobici lattacidi, con conseguenze negative per la tolleranza all'esercizio ed alla fatica muscolare.

Già all'inizio del '900 fu definita con una funzione monoesponenziale la curva d'adeguamento del VO_2 all'inizio di un esercizio: gli adattamenti cardiorespiratori che si verificano nelle fasi iniziali dell'esercizio sono caratterizzati da una risposta monoesponenziale, seguita dal raggiungimento di un nuovo stato d'equilibrio (per esercizi sottomassimali). Tale fenomeno è riscontrabile in particolar modo nelle prime fasi di uno sforzo ed è denominato "onset del VO_2 ".

L'aumento del VO_2 è descritto da una funzione monoesponenziale, ma il fenomeno in realtà è più complesso.

L'adeguamento del VO_2 ha un andamento caratteristico, scomponibile in tre fasi:

- FASE I: primo rapido aggiustamento in risposta ad un aumento del fabbisogno.
- FASE II: onset del VO_2 .

A questo punto il VO_2 raggiunge un nuovo equilibrio solo se il carico di lavoro è inferiore alla soglia anaerobica.

Se il carico è superiore alla soglia, ma inferiore a VO_2 max, il VO_2 aumenta, nonostante il carico rimanga costante: tale fase si definisce FASE III o componente lenta.

4.1 FASE I DEL VO₂

La fase I corrisponde all'aumento degli scambi respiratori che si verifica all'inizio di un'attività. Ha una durata di circa 15 secondi ed è causata da un aumento del flusso sanguigno a livello polmonare ^[19,29]: questo si realizza mediante un incremento della frequenza cardiaca in risposta al repentino aumento del carico.

Il sangue refluo dai muscoli in attività non è ancora giunto ai polmoni, pertanto la sua composizione, ancora corrispondente a quella delle condizioni di riposo, non muta il valore del QR (quoziente respiratorio).

4.2 FASE II DEL VO₂

L'andamento della fase II, che inizia dopo 15 secondi e dura fino al terzo minuto, può essere descritto da una funzione monoesponenziale:

$$VO_2(t) = (VO_2 \text{ basale} + A) * (1 - e^{-(t-TD)/\tau})$$

Legenda:

VO₂(t) = VO₂ al tempo t,

VO₂ basale = VO₂ all'inizio del test

A = ampiezza, cioè differenza fra il valore del VO₂ raggiunto all'equilibrio e il valore basale,

TD = time delay o ritardo, che identifica il momento in cui ha inizio la curva esponenziale,

tau = costante di tempo che quantifica il tempo necessario affinché il VO₂ raggiunga il 63% rispetto al nuovo stato stazionario (VO₂ss). Essa definisce la maggiore o minore velocità di salita del VO₂.

Il tempo di semireazione è invece il tempo necessario a raggiungere il 50% del VO₂ss a partire dal VO₂ basale.

Il valore della tau è generalmente quantificato intorno ai 30-40 sec., il che implica il raggiungimento del 97% di VO₂ss dopo circa 100-150 sec. dall'inizio dell'esercizio.

Poiché è in questa fase che si registra il deficit di O₂ dovuto al maggior incremento della respirazione cellulare, proprio durante questo periodo si possono

raccogliere le informazioni più significative sull'efficienza del metabolismo aerobico del soggetto.

Affinchè l'algoritmo monoesponenziale precedentemente riportato possa essere applicato correttamente, bisogna che il VO_2 raggiunga uno Steady State (stato stazionario). Lo steady state si ottiene solo durante l'esecuzione di lavori d'intensità inferiore alla soglia anaerobica. In caso contrario, lo steady state è necessariamente raggiunto in ritardo, o addirittura non è raggiunto affatto prima che il soggetto in esame sia costretto ad interrompere il lavoro a causa dell'esaurimento dovuto alla fatica. La determinazione del valore dell'ampiezza diventa così impossibile.

4.3 FASE III DEL VO_2

La fase III, o componente lenta del VO_2 , si registra come entità del consumo d'ossigeno durante lavori d'intensità superiore alla soglia anaerobica, dal terzo al sesto minuto d'attività. Si assume, infatti, che lo steady state del VO_2 si raggiunga al terzo minuto, dopo di che inizia la componente lenta.

Sul significato e sull'origine della Fase III sono state proposte varie considerazioni: dall'aumento della temperatura corporea, alla metabolizzazione del lattato a glucosio, al reclutamento progressivo di fibre muscolari di tipo II (glicolitiche, a basso potere ossidativo) ^[10]. Non è tuttavia ancora disponibile una spiegazione definitiva per tale fenomeno.

Secondo alcuni autori, ^[24] la componente lenta avrebbe un andamento di tipo esponenziale, del tutto simile alle due fasi antecedenti, ma l'algoritmo che la descrive non è facile da usare.

La componente lenta può provocare un ulteriore incremento del consumo d'ossigeno pari a circa 1 litro il minuto, fino a raggiungere il VO_2 max ^[25]. In altre parole, nel lavoro d'intensità superiore alla soglia anaerobica, aumenta il costo energetico sebbene il carico rimanga costante; si ha perciò una progressiva riduzione della performance, in funzione del tempo. Come spiegazione di questo fenomeno sono state proposte varie ipotesi che considerano l'effetto di catecolamine, acido lattico, idrogenioni, i quali eserciterebbero un'influenza di qualche tipo a livello centrale o periferico.

Fra i fattori periferici si possono annoverare il coinvolgimento di fibre di tipo II, l'aumento della temperatura a livello muscolare ed una diminuzione dell'efficienza causata dall'accumulo di cataboliti.

Tra i fattori centrali si possono elencare un aumento della VO_2 associabile ad un incremento della ventilazione, un aumento della frequenza cardiaca, della temperatura corporea e del metabolismo del fegato.

Tuttavia taluni studi smentiscono la correlazione fra l'aumento della ventilazione e l'aumento della VO_2 ,^[25,27] così come altri negano l'implicazione dell'aumento della temperatura sulla VO_2 ^[18].

La componente lenta sembra essere fortemente correlata alla concentrazione di lattato ematico. Infatti, essa si presenta in esercizi che comportino un'acidosi sostenuta^[33] e la sua ampiezza è correlata al tasso di acidosi nel sangue^[26].

Barstow,^[1] ha dimostrato che la componente lenta compare dopo 80-120 secondi dall'inizio di un lavoro molto intenso, superiore alla soglia anaerobica, quando già è presente un forte grado di acidosi ematica.

Anche il processo di ossidazione del lattato provocherebbe un lento incremento della VO_2 .

Studi effettuati da Poole e coll.,^[24] correlano la componente lenta della VO_2 a fattori intrinseci al muscolo stesso ed in particolar modo alla composizione delle fibre. Diversi studi testimoniano come all'aumentare dell'intensità dell'esercizio aumenti anche il reclutamento di fibre di tipo II^[28], che hanno un potenziale ossidativo molto minore rispetto a quelle di tipo I, con un consumo d'ossigeno molto maggiore a parità di lavoro svolto^[34]. Barstow,^[2] ha invece segnalato una proporzione inversa tra ampiezza della componente lenta e percentuale di fibre di tipo I nel muscolo in esercizio. Pertanto, sembra che il reclutamento di fibre di tipo II sia il fattore principale della componente lenta della VO_2 .

L'allenamento può determinare una diminuzione della concentrazione di lattato ematico e una diminuzione del reclutamento di fibre di tipo II,^[10] comportando così una diminuzione della componente lenta.

4.4 CINETICA DEL CONSUMO D'OSSIGENO: MECCANISMI CENTRALI E PERIFERICI

E' generalmente riconosciuto il fatto che la cinetica del consumo di ossigeno sia il risultato di un equilibrio tra i meccanismi di regolazione del rilascio di O₂ e del suo utilizzo da parte dei muscoli ^[30,31]. Risulta pertanto necessaria un'analisi dei meccanismi che regolano il consumo d'ossigeno e ne ritardano l'aumento all'inizio dell'esercizio: c'è chi sostiene che il fattore limitante sia legato alla rapidità dell'apporto dell'O₂ ai muscoli attivi ^[15,16,20] e chi invece ritiene che il fattore limitante sia l'inerzia del metabolismo ossidativo dei muscoli in questione ^[30].

Le cinetiche del VO_{2 on} e del VO_{2 off} nell'uomo sono costantemente più lente rispetto all'adattamento della gittata cardiaca ^[7], il che suggerisce che il fattore limitante la cinetica del VO₂ non sia il trasporto dell'O₂ ai muscoli nel passaggio dalla fase di riposo a quella di lavoro. Altri studi indicano, tuttavia, che nel corso di esercizi compiuti con le braccia in posizione supina, i fattori circolatori diventano un limite fondamentale alla velocità di adeguamento del VO_{2 on}.

La velocità d'adeguamento del flusso ematico in esercizi eseguiti con le braccia e con le gambe in posizione supina, dall'inizio del lavoro, fino all'80% del VO_{2 max} è spesso inferiore ai 30 secondi. Ciò significa un adattamento 3-4 volte più rapido del VO_{2 on}.

Altre ricerche hanno testimoniato ^[14] come nei primi 15 secondi al cicloergometro l'adeguamento del rilascio dell'ossigeno ai muscoli sia più rapido dell'utilizzo dell'O₂ stesso da parte dei muscoli. Questo vale per carichi inferiori alla soglia anaerobica, mentre per carichi superiori il maggiore fattore limitante la cinetica del VO_{2 on} sembra essere il rilascio d'O₂ ai muscoli ^[11,20]. Pertanto, si può concludere che, per carichi fino al 70% del Vo_{2 max}, la cinetica del VO₂ nei primi 3 minuti sia limitata da un'intrinseca inerzia metabolica muscolare ^[12,13]. E' però necessario riferire che altri studiosi non sono stati in grado di confermare tali conclusioni.

4.5 CINETICA DEL CONSUMO D'OSSIGENO IN ESERCIZI ESEGUITI CON GLI ARTI SUPERIORI ED INFERIORI

Alcuni studi sembrano dimostrare che, nello stesso soggetto, la cinetica del VO_2 , durante i primi minuti di un esercizio eseguito con un armoergometro, sia sensibilmente più lenta rispetto a quella di un esercizio di pari intensità eseguito al cicloergometro ^[5,6]. Tale peculiarità è stata attribuita a limitazioni metaboliche e circolatorie.

In particolare, si ritiene che la limitazione principale del VO_2 negli esercizi eseguiti con le braccia sia il trasporto d'ossigeno ^[17].

Tale ipotesi trova riscontro anche in altre sperimentazioni, eseguite da Hughson e Imman ^[16], su soggetti sottoposti a test con e senza impedimento della circolazione negli arti inferiori. La cinetica del VO_2 è costantemente più rapida quando la circolazione negli arti inferiori è interrotta.

Anche la posizione durante l'esercizio ha un grande rilievo: se l'esercizio viene svolto in posizione supina, la gravità esercita un effetto negativo e rallenta la cinetica del VO_2 rispetto a quando il medesimo esercizio è svolto stando in piedi ^[6]. Stando supini la gravità esercita un effetto analogo sulle gambe e sulle braccia, tuttavia il tempo di dimezzamento del VO_2 in esercizi svolti con le braccia appare maggiore rispetto a quello riscontrabile nel corso di test svolti con le gambe.

Ciò è imputabile ad un impedimento della perfusione sanguigna negli arti superiori determinato dalla meccanica di prensione.

4.6 ANZIANO E CINETICA DEL VO_2

L'invecchiamento è associato ad un declino dell'efficienza dell'apparato cardiorespiratorio e del metabolismo ossidativo muscolare ^[22], che influenzano la cinetica del VO_2 : la fase II di un esercizio al cicloergometro è più lenta in funzione dell'età del soggetto. Tale lentezza è dovuta ad un ritardo nell'adeguamento della frequenza cardiaca in risposta all'esercizio ^[8].

Lo stesso fenomeno non ha tuttavia riscontro per l'esecuzione di gesti compiuti quotidianamente utilizzando gli stessi muscoli, nei quali non si registra la diminuzione del potenziale ossidativo.

Pertanto, buona parte della mutazione nella cinetica del VO_2 sarebbe in realtà da imputare ad un mutamento dello stile di vita, associato ad una maggiore sedentarietà, che spesso si riscontra nel soggetto anziano.

5. ANZIANO ED ATTIVITÀ MOTORIA

5.1 MODIFICAZIONI FUNZIONALI

Apparato locomotore: nel soggetto anziano si verifica anzitutto una riduzione della forza muscolare, apprezzabile, ad esempio, nei muscoli del cingolo scapolare. Si assiste, infatti, ad una riduzione della massima potenza che il soggetto è in grado di esprimere per periodi di 5-10 secondi con un ergometro a manovella.

A tale proposito, è di notevole interesse rilevare che con l'invecchiamento si sono riscontrate notevoli modificazioni nella morfologia delle fibre muscolari: si assiste ad una ipotrofia, diminuzione del liquido intra ed extra cellulare, rigidità e durezza tissutale.

A livello istologico si riscontra ipotrofia e riduzione delle fibre muscolari attive, aumento della componente adiposa e connettivale e alterazioni a livello numerico e funzionale delle unità motorie; anche i legamenti perdono elasticità, compromettendo la stabilità articolare.

Apparato cardiorespiratorio: la limitazione più grave, ai fini dell'attività motoria, consiste nella progressiva riduzione della massima potenza aerobica del soggetto (Vo_2 max), che all'età di 70 anni può raggiungere un valore prossimo al 50% rispetto al valore riscontrabile all'età di 20 anni. Da esperimenti in cui è stata determinata sullo stesso soggetto la massima potenza esprimibile per 30 minuti su cicloergometro, si rileva una riduzione della massima prestazione aerobica di circa il 50% nel passaggio dall'età di 41 anni a quella di 71 anni.

La riduzione della Vo_2 max è proporzionale alla riduzione della massima prestazione cardiaca, deducibile dall'andamento della frequenza cardiaca massima (fc max) del soggetto, che è in relazione lineare inversa con l'età.

Con l'invecchiamento si verifica, a livello cardiaco, una degenerazione del tessuto connettivo valvolare, che comporta lassità e distensione dello stesso: questo fenomeno può determinare cicatrizzazioni e calcificazione con rischio di stenosi o di insufficienza valvolare.

A livello fisiologico si hanno le seguenti modificazioni:

- Aumento della pressione arteriosa, sia sistolica, che diastolica
- Progressiva riduzione della gittata sistolica
- Riduzione dell'elasticità delle pareti vasali, specialmente arteriose
- Aumento delle resistenze periferiche per una riduzione del lume delle arteriole.

La capacità di prestazione del cuore è limitata dalla massima frequenza degli impulsi che il nodo seno atriale è in grado di produrre.

Ciò è stato avvalorato anche da dati sperimentali, dai quali si rileva che l'aumento della gettata cardiaca per effetto di un incremento del carico lavorativo risulta uguale nel giovane e nell'anziano.

A carico dell'apparato respiratorio si hanno:

- Ossificazione delle cartilagini costali e ipotrofia dei muscoli respiratori
- Assottigliamento della mucosa bronchiale
- Calcificazione degli anelli tracheali

Anche le altre funzioni che contribuiscono al raggiungimento del Vo_2 max diminuiscono proporzionalmente alla riduzione del massimo consumo d'ossigeno: la massima frequenza respiratoria (f.max), la massima ventilazione da esercizio (mve) e la massima capacità di diffusione dell' O_2 attraverso la membrana alveolo capillare.

La ventilazione polmonare misurata a livelli crescenti di lavoro submassimale è invece pressappoco la stessa sia nel giovane adulto sia nell'anziano.

5.2 ATTIVITÀ MOTORIA ED INVECCHIAMENTO

E' importante che l'uomo moderno abbia compreso come l'attività motoria possa essere un presupposto per ritardare alcune manifestazioni somatiche e psichiche caratterizzanti l'invecchiamento.

Un programma motorio studiato ad hoc per il soggetto anziano deve necessariamente tenere presenti le caratteristiche psicofisiche del soggetto stesso, gli obiettivi da raggiungere rispetto agli effetti dell'invecchiamento, con le relative conseguenze descritte precedentemente.

Infine, ma non ultimo per importanza, è l'aspetto socializzante e associativo dell'attività motoria volto a compensare le tendenze alla solitudine e alla depressione che spesso caratterizzano il cammino verso la terza età.

5.3 EFFETTI DELL' ATTIVITA' MOTORIA

Apparato cardiocircolatorio: le aumentate richieste metaboliche dei tessuti durante l'attività implicano che il cuore svolga un lavoro maggiore per soddisfare tali necessità. Pertanto, si ha un'ipertrofia del miocardio ed un ampliamento delle cavità con un conseguente aumento del riempimento diastolico e una maggior gittata sistolica associata ad una diminuzione della frequenza delle contrazioni.

Il sangue diviene in grado di caricare una maggior quantità d'ossigeno a livello polmonare e di cederne una maggior quantità ai tessuti.

L'attività fisica favorisce una maggior irrorazione dei tessuti incrementando il livello di capillarizzazione nei muscoli.

Il massaggio delle vene profonde, negli arti inferiori, che si produce con la contrazione dei muscoli durante l'esercizio è un ottimo deterrente per vene varicose e ulcere varicose prodotte dalla stasi venosa.

Apparato respiratorio: l'attività fisica provoca un aumento della capacità vitale con una diminuzione degli atti respiratori ed un risparmio energetico a carico dei muscoli respiratori; ottimizzazione dell'elasticità toraco-polmonare e miglioramento della circolazione polmonare che porta una maggior ossigenazione sanguigna.

La tendenza a collassarsi, propria del polmone, è ridotta con maggiore apertura alveolare che aumenta il volume d'aria contenuta.

Apparato locomotore: l'esercizio fisico produce una maggior distensibilità ed elasticità muscolare e legamentosa.

La contrazione muscolare esercita lo stress necessario all'osso per prevenire l'osteoporosi da disuso. Il movimento sollecita i processi nutrizionali della cartilagine ialina e delle ossa, evitando la perdita delle peculiarità meccaniche

stesse; migliorano il trofismo, il tono, l'elasticità, la forza e la resistenza muscolare mentre si riduce il tessuto adiposo.

Anche la coordinazione neuromuscolare è ottimizzata con un conseguente risparmio energetico.

Un'attività regolare aiuta a prevenire la perdita di equilibrio e di coordinazione responsabili di frequenti cadute.

Il rallentamento funzionale, piaga dell'invecchiamento, può essere posticipato tramite un'attività motoria costante.

6. MATERIALI E METODI

Attrezzature

6.1 IL CICLOERGOMETRO

Il cicloergometro, se opportunamente adattato, è l'ergometro specifico per il ciclismo.

Conformemente al sistema con cui è realizzato il programma di lavoro esistono tre tipi di cicloergometri:

- A resistenza fissa (potenza dipendente dalla frequenza di pedalata o RPM);
- A potenza fissa (resistenza variabile al variare della RPM)
- A resistenza e potenza variabili (esponenzialmente con il variare della RPM)

La scelta dell'ergometro da utilizzare dipende dalla tipologia dei test che si vogliono effettuare.

Gli ergometri a resistenza fissa sono validi quando si deve misurare la potenza meccanica espressa dal soggetto; quelli a potenza costante sono indicati quando il carico è stabilito dal ricercatore e i parametri da misurare sono quelli metabolici. In questo caso si può utilizzare anche un ergometro a resistenza fissa, purchè sia mantenuta dal soggetto una frequenza di pedalata costante.

Gli ergometri a resistenza e potenza variabili sono teoricamente utilizzabili in entrambi i casi.

Il cicloergometro da noi utilizzato per i test è il Technogym Bikerace programmato a potenza costante.

L'attrezzo è in grado di "dialogare" con l'utente, per mezzo di un display elettronico inserito sulla console comandi, grazie al quale si possono leggere tutte le informazioni utili ad impostare ed ottimizzare l'allenamento.

L'uso di un cardiostest permette di visualizzare la frequenza cardiaca, elemento importantissimo al fine di regolare in modo continuo e fisiologico l'intensità del lavoro.

Bikerace permette di scegliere un programma di allenamento personalizzato e può essere collegato in serie con altre Bike per effettuare gare, creando così stimolanti allenamenti.

Il movimento compiuto su Bikerace è facile e naturale per tutte le persone, da atleti a soggetti in sovrappeso, infatti, non comporta brusche variazioni del carico a livello articolare e permette di esercitare la muscolatura in tutta sicurezza.

Lavorando con soggetti anziani, la sicurezza è un valore prioritario, per questo si è preferito utilizzare un cicloergometro al posto, ad esempio, di un tapis roulant.



Fig. 4: il Technogym Bikerace.

6.2 L'ARMOERGOMETRO

L'armoergometro è simile, in linea di principio, al cicloergometro, ma l'esercizio viene svolto con le braccia.

L'esercizio all'armergometro previsto nei test da noi svolti (Technogym Top-XT) si esegue stando seduti ed agendo su di una coppia di leve che ruotano intorno ad un perno, con una resistenza regolabile.

Il Top 600, che fa parte della linea XT PRO Technogym, è un attrezzo innovativo per l'allenamento cardiovascolare.

Dotato dell'esclusivo sistema CPR, consente all'utente di mantenere il valore della frequenza cardiaca desiderato, durante tutta la durata dell'allenamento.

Utilizzando il Top 600 vengono reclutati tutti i principali muscoli delle spalle, delle braccia e del tronco (muscolatura del cingolo scapolo-omerale, tricipite brachiale, bicipite brachiale, deltoide, trapezio, dorsali).

Il pannello dei comandi consente di leggere i dati relativi all'allenamento, che sono costantemente aggiornati, permettendo così un adeguamento progressivo del livello di allenamento alle personali condizioni fisiche.

E' inoltre possibile impostare e memorizzare allenamenti personalizzati, scegliere uno dei profili predefiniti, oppure esercitarsi liberamente variando come si desidera i parametri dell'esercizio.



Fig. 5: il Technogym Top 600.

Strumenti di acquisizione

6.3 IL CARDIOFREQUENZIMETRO POLAR VANTAGE NV

Durante l'esecuzione dei test è stato utilizzato il Polar Vantage NV. Tale strumento è in grado di registrare continuamente l'intervallo R-R, in altre parole, l'intervallo che intercorre fra un ciclo cardiaco e il successivo.

In modalità RR la memoria è limitata a 4000 cicli cardiaci, mentre se si registra il battito ogni 60 secondi, l'autonomia della memoria è di 134 ore.

Abbinando il cardiofrequenzimetro all'interfaccia Polar Advantage ed al software Precision Performance, è possibile trasferire i dati di una registrazione su un computer per una successiva dettagliata analisi.

Il cardiofrequenzimetro è costituito da:

- una fascia-trasmittitore, in grado di codificare il segnale in modo da escludere interferenze da parte di un trasmettitore vicino;
- un ricevitore da polso.

Il Polar Vantage NV, ad ogni registrazione, crea un file che viene archiviato nella memoria del ricevitore. A registrazione conclusa, grazie all'interfaccia e al software di analisi in dotazione, è possibile scaricare su un computer con sistema operativo Windows, la serie temporale degli R-R

Fig. 6: il cardiofrequenzimetro Polar Vantage NV.



6.4 IL METABOLIMETRO VMAX29C (Sensormedics)

Il metabolimetro è una fra le principali apparecchiature finalizzate alla valutazione funzionale dell'atleta. Esso trova la sua indicazione più specifica nelle discipline con componente aerobica, perché misura la ventilazione polmonare (V_e), il consumo di ossigeno (VO_2), la produzione di anidride carbonica (VCO_2) e tutti gli indici correlati a queste tre misure fondamentali, durante l'esecuzione di un test da sforzo, in laboratorio o sul campo.

Il metabolimetro da noi utilizzato, il Vmax29c della Sensormedics, è basato su un flussimetro, che misura la quantità d'aria espirata ad ogni atto respiratorio e sugli analizzatori di O_2 e CO_2 , che calcolano la concentrazione dei due gas nell'aria espirata.

Il soggetto, con mascherina e boccaglio muniti di sistema valvolare in/espilatorio, inspira aria ambiente ed espira attraverso il flussimetro; un campione di tale aria viene inviata agli analizzatori, il cui risultato appare subito, in forma grafica, sul monitor del computer, grazie ad un programma elaborato dalla Sensormedics stessa.

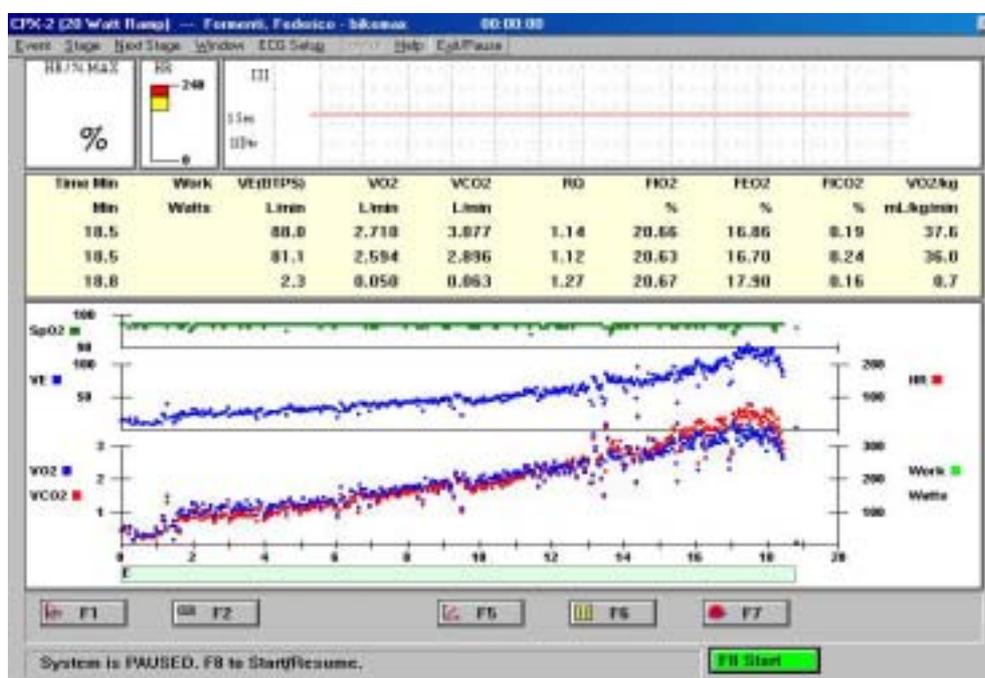


Fig. 7: schermata del Vmax29C durante un test incrementale. E' possibile distinguere le tre rappresentazioni grafiche del VO_2 , del VCO_2 e della VE (grafico più alto).

I dati, respiro per respiro, vengono inoltre memorizzati in un file, al quale è possibile accedere successivamente, per ulteriori elaborazioni.

6.5 TECHNOGYM SYSTEM CON SOFTWARE WELLNESS TRAINER 4.0

Il software Wellness Trainer prevede: programmi di allenamento con proposte di lavoro preinserite o personalizzate secondo le necessità del soggetto; test di valutazione funzionale, al fine di rendere più veloce ed agevole lo svolgimento dei test per il calcolo della potenza aerobica, della forza massima e della composizione corporea.

Questo programma interagisce con: chiave TGS, Wellness Export, Trainer Point, attrezzi dotati di dispositivo di lettura TGS.

CHIAVE TGS: supporto magnetico nel quale sono memorizzati dati relativi a schede d'allenamento o a singoli esercizi. Il dispositivo di lettura di tale strumento è posizionato sull'attrezzo stesso (dispositivo di lettura TGS)

TRAINER POINT: collegato al PC su cui è installato il programma Wellness Trainer, è dotato di dispositivo di lettura TGS per l'interazione tra PC e chiave. Permette di costruire allenamenti e test personalizzati e di scaricare i risultati degli esercizi dalla chiave stessa.



Fig. 8: chiave TGS e Trainer Point.

7. PROTOCOLLO SPERIMENTALE

7.1 SOGGETTI

Gli esperimenti sono stati condotti su 12 volontari maschi e 5 femmine, di età compresa tra i 58 e i 76 anni. Tutti erano informati sulle modalità di svolgimento del protocollo e hanno espresso il loro consenso scritto alla sperimentazione. Dopo aver appurato l'idoneità all'attività fisica e lo stato di buona salute, sono stati esclusi dall'esperimento coloro che praticavano regolarmente attività sportiva con un impegno superiore alle 5 ore settimanali.

	SOGGETTO	ETÀ	PESO	ALTEZZA	SESSO
TOP	<i>D_P</i>	68	63	171	M
	<i>L_M</i>	69	72	173	M
	<i>P_V</i>	64	78.5	175	M
	<i>P_F</i>	66	78	167	M
	<i>G_M</i>	71	65.8	161	F
	<i>D_A</i>	76	66.4	171	F
	<i>B_F</i>	60	71	161.5	F
	<i>M_C</i>	67	74.6	170	M
	<i>Z_P</i>	62	83.2	179	M
BIKE	<i>C_I</i>	66	61.7	151.7	F
	<i>R_F</i>	65	98.6	175	M
	<i>S_R</i>	66	76.5	164	M
	<i>T_F</i>	58	68	168.5	M
	<i>C_D</i>	66	72.5	177.5	M
	<i>P_A</i>	67	77	164	M
	<i>P_S</i>	62	72.7	174	F
	<i>P_R</i>	73	63.9	163	M
MEDIA		66.24	73.14	168.60	
DEV. ST		4.37	8.68	6.87	

Tab. 1: età, peso e altezza dei 17 soggetti con relativi valori medi e deviazioni standard.

7.2 MODALITA' DI SVOLGIMENTO DEI TEST

7.2.1 Test cardiologico e familiarizzazione

Il primo giorno in cui il soggetto visitava il laboratorio veniva eseguito un test cardiologico sul cicloergometro che aveva il doppio scopo di verificare lo stato di salute del soggetto e di farlo familiarizzare con il laboratorio e gli apparecchi di misura.

Il test cardiologico consisteva in un test incrementale al cicloergometro con incrementi di 15W il minuto. Durante il test veniva eseguito un elettrocardiogramma e venivano misurati gli scambi gassosi alla bocca con il metabolimetro.

Successivamente il soggetto eseguiva due esercizi di 3 minuti ciascuno all'archoergometro (con carichi rispettivamente di 50 e 60 watt) per acquisire dimestichezza con l'attrezzo e con il movimento poco usuale.

7.2.2 Test incrementali

Sono stati svolti due test incrementali, al fine di individuare la soglia anaerobica di ciascun soggetto (prima soglia ventilatoria).

Ciascun soggetto ha svolto un test a carico incrementale al cicloergometro (Bikerace, Technogym, Italia) ed uno all'archoergometro a braccia (Top-XT, Technogym, Italia).

Preparazione

Dopo un periodo iniziale durante il quale venivano spiegate ai soggetti le modalità di svolgimento dei test, essi si posizionavano sull'apposito ergometro che veniva opportunamente regolato, adattandolo all'altezza di ciascuno.

A questo punto venivano applicati la fascia-trasmittitore del cardiofrequenzimetro (Polar Vantage NV) ed il boccaglio collegato al metabolimetro Vmax29c (Sensormedics, U.S.A.).

Dopo mezz'ora dall'accensione, il metabolimetro veniva calibrato sia per la determinazione del flusso d'aria, facendo passare nel flussimetro una quantità d'aria nota (3 litri), sia per la misura degli analizzatori dei gas (O_2 e CO_2) usando due bombole a concentrazione di gas nota (una al 12% di O_2 e 5% di CO_2 , l'altra al 26% di O_2 e 0% di CO_2).

La calibrazione era ricontrrollata dopo 10 minuti e se l'errore di misura era superiore al 3%, veniva ripetuta.

La verifica della calibrazione era ripetuta anche dopo ogni test e, anche in questo caso, se l'errore eccedeva il 3% si procedeva a ricalibrare lo strumento.

Esecuzione

Tutti i soggetti eseguivano prima il test con le braccia e poi quello con le gambe. Prima di ogni test erano motivati a cercare di dare il massimo e durante i carichi più intensi erano continuamente incitati dall'operatore a resistere alla fatica. I due test erano stati separati l'uno dall'altro da almeno 30 minuti di riposo.

7.2.3 Test ad onda quadra

Preparazione

La preparazione effettuata è analoga a quella utilizzata per i test incrementali.

Esecuzione

Ciascun test era suddiviso in due serie di esercizi, ciascuno dei quali ripetuto due volte.

- Nel primo esercizio si iniziava il lavoro senza carico per tre minuti (Free Wheel) durante i quali erano monitorati i parametri respiratori basali. Terminati i tre minuti di Free Wheel, senza che il soggetto si arrestasse, veniva applicato un carico di lavoro equivalente all' 80% della AT, per la durata di 6 minuti.
- Nel secondo esercizio venivano svolti i 3 minuti di Free Wheel, successivamente ai quali veniva applicato un carico pari al 110% dell'AT per la durata di 6 minuti.

Terminata ciascuna serie, si effettuava la misura del lattato e si rispettavano adeguati tempi di recupero: circa 10 minuti per l'esercizio all'80% e 15 minuti per quello al 110%: il test non era comunque ripetuto fino a che i parametri fisiologici non fossero tornati a valori basali (valori di QR inferiori a 0.9).

Il test era organizzato nello spazio di due giorni: il primo giorno venivano effettuate quattro serie (2 all'80% dell'AT e 2 al 110% dell'AT) su di un solo attrezz-

zo (ad es. al Top), mentre il secondo giorno venivano ripetute sull'altro attrezzo.

7.3 MISURE EFFETTUATE

Utilizzando il cardiofrequenzimetro è stata registrata la misura della frequenza cardiaca (Fc) attraverso un Polar Vantage NV in modalità RR.

Tramite il metabolimetro Vmax29c (Sensormedics) si misuravano, respiro per respiro, i seguenti parametri:

- Concentrazione di O₂ e di CO₂ nell'aria espirata (FEO₂ e FE CO₂);
- Concentrazione di O₂ e di CO₂ nell'aria inspirata (FIO₂ e FICO₂);
- Volume corrente (VE): volume di gas inspirato durante ciascun atto respiratorio (ml o l)
- Pressione parziale della CO₂ espirata (PetCO₂);
- Pressione parziale dell'O₂ espirato (Pet O₂);

Si calcolavano inoltre i seguenti parametri respiratori:

- Quoziente respiratorio (QR) (VCO₂/VO₂);
- Consumo d'ossigeno (VO₂) totale e normalizzato per kg di peso corporeo (VO₂/Kg)
- Ventilazione espiratoria (Ve): prodotto di VT per la frequenza respiratoria, espressa in l/min.

Parametri cardiorespiratori:

La registrazione dei parametri cardiorespiratori era effettuata all'inizio dello svolgimento del test, quando il valore del QR era inferiore a 0.9 (valore di riposo 0.83 circa).

I dati acquisiti dal metabolimetro erano direttamente registrati sul computer. L'apposito software permetteva di visualizzare alcuni parametri respiratori, consentendo la scelta fra più parametri acquisiti direttamente o calcolati, oltre a riportarne il valore respiro per respiro in alcune finestre.

Allo stesso tempo, il cardiofrequenzimetro provvedeva a registrare la FC in modalità R-R (battito per battito), memorizzando un file che successivamente era scaricato nel disco fisso del computer, grazie al software in dotazione con il cardiofrequenzimetro.

7.4 TECNICHE DI CALCOLO DELLE CINETICHE

I dati registrati dal metabolimetro Vmax29 respiro per respiro erano esportati creando un file di testo. Utilizzando i programmi Excel (Microsoft inc.) e Sigma Plot (Jandel Scientific inc.), si eseguiva, in primo luogo, l'interpolazione lineare dei dati a un secondo collegando i punti corrispondenti all'inizio d'ogni atto respiratorio. A seguito dell'interpolazione si hanno a disposizione molti più dati, cioè uno al secondo.

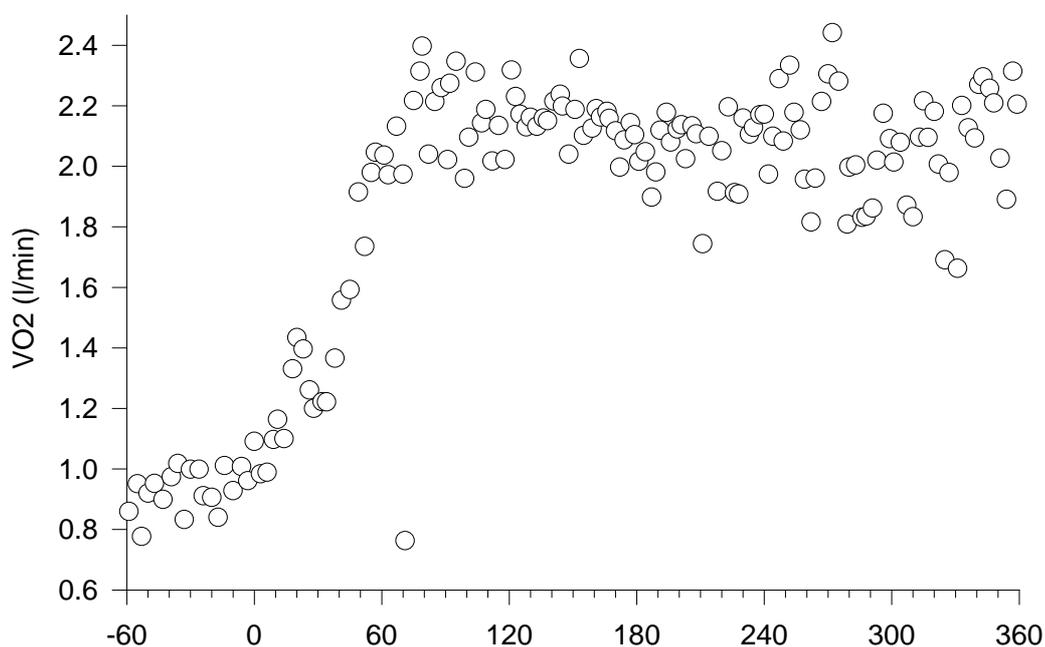


Fig. 8: VO₂ durante l'esecuzione di un test: sull'asse delle ascisse viene riportato il tempo (sec.) Sono stati utilizzati i dati ottenuti dall'analisi respiro per respiro (dati grezzi).

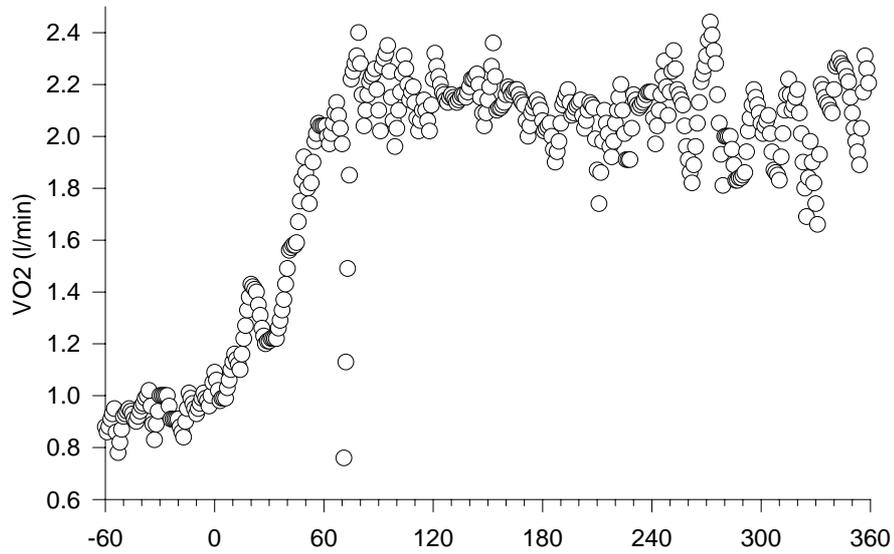


Fig. 9: stesso esercizio della figura precedente dopo l'interpolazione lineare ad un secondo.

Nelle figure è stato isolato un arco di tempo più limitato (16 sec. dal 41 a 57) per meglio apprezzare l'efficacia dell'interpolazione. Nella prima figura abbiamo a disposizione 7 dati, corrispondenti agli atti respiratori effettuati in quell'arco di tempo, per costruire la curva, contraddistinti da quadratini posti sulla linea blu.

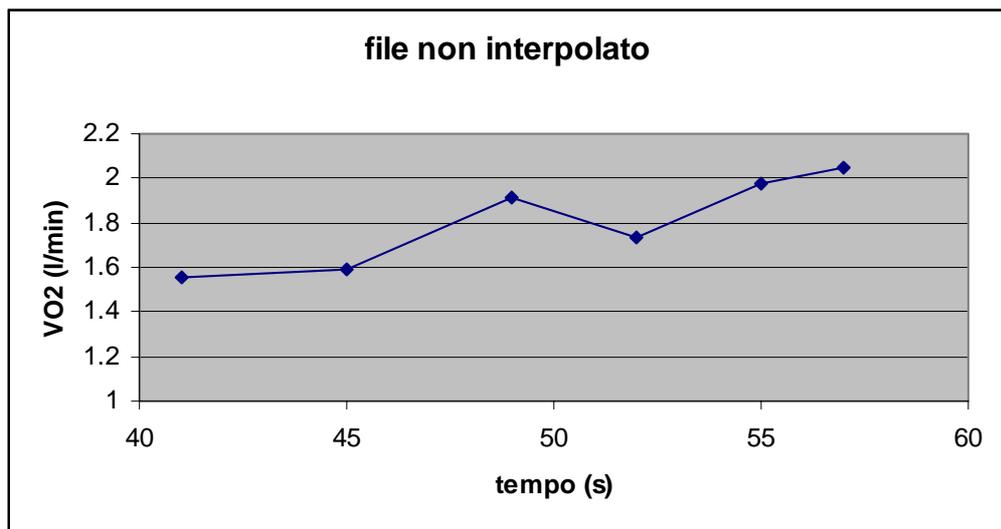


Fig. 10: VO₂ durante l'esercizio, misurata in un arco di tempo di 16 secondi, prima dell'interpolazione lineare.

Dopo l'interpolazione si hanno a disposizione molti più dati (uno al secondo), ma la linea che li congiunge è identica a quella tracciata prima dell'interpolazione.

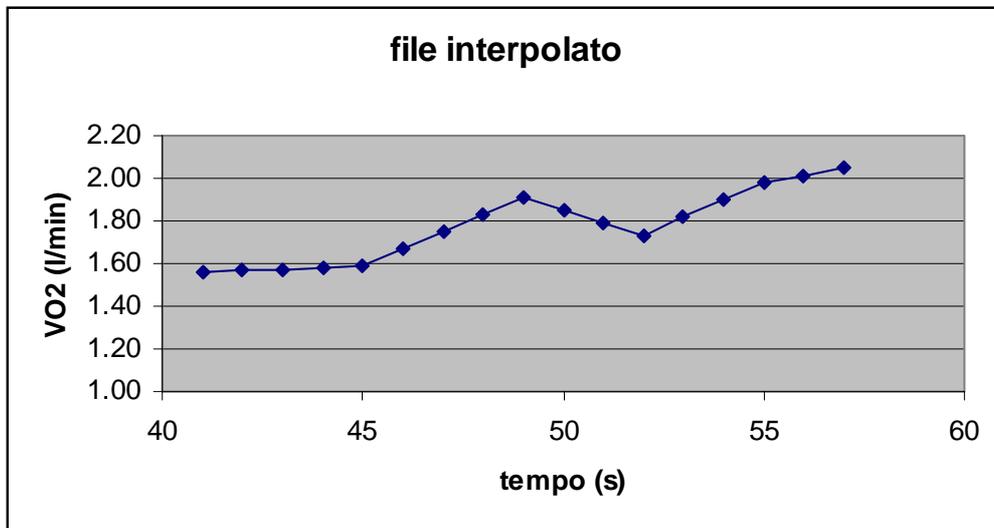


Fig. 11: dati rappresentati la VO_2 durante l'esercitazione, dopo l'interpolazione lineare ad un secondo.

In un secondo tempo si mediavano i dati dei due files ottenuti dalle due ripetizioni eseguite dai soggetti per ciascun esercizio. Dai due files, opportunamente sovrapposti in modo che l'inizio del lavoro coincidesse perfettamente in entrambi (momento 0), davano origine ad un unico file di dati che aveva il pregio di avere una minore dispersione, come suggerito da Whipp ^[32].

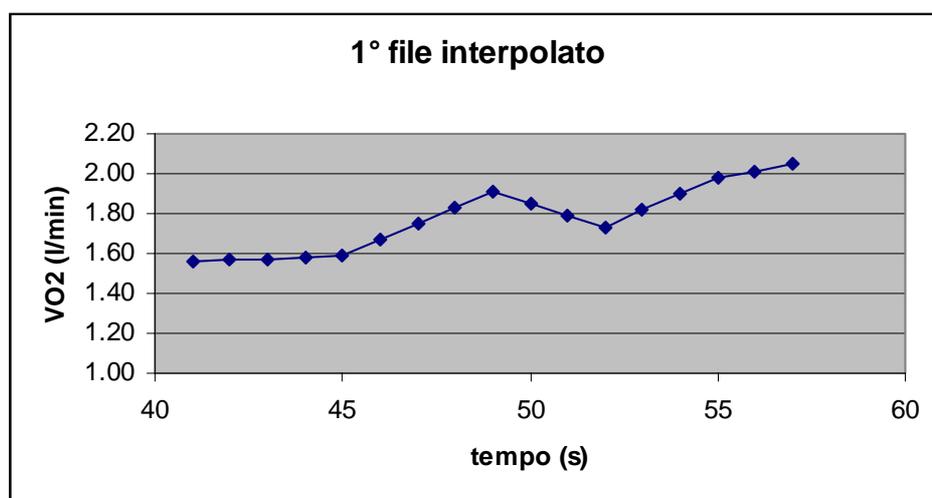


Fig.12: primo file interpolato.

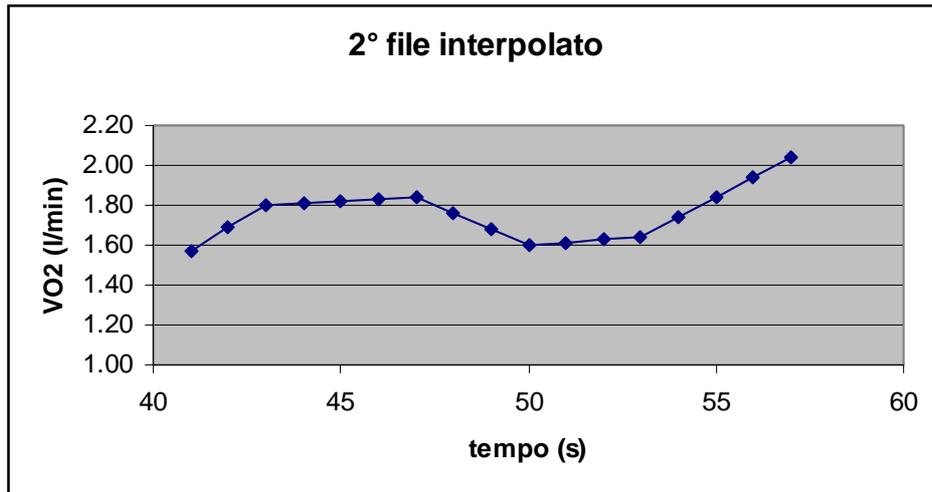


Fig. 13: secondo file interpolato.

La dispersione dei dati è particolarmente importante nei soggetti che non hanno familiarità con i mezzi utilizzati nell'ambito del laboratorio: lavorare collegati al metabolimetro con un boccaglio può influenzare la respirazione rendendola irregolare. In particolare, in esercizi eseguiti con piccoli gruppi muscolari (arti superiori), l'ampia dispersione dei dati si combina con la scarsa ampiezza delle variazioni del VO_2 , rendendo ancor più opportuna la mediazione di più esercizi uguali.

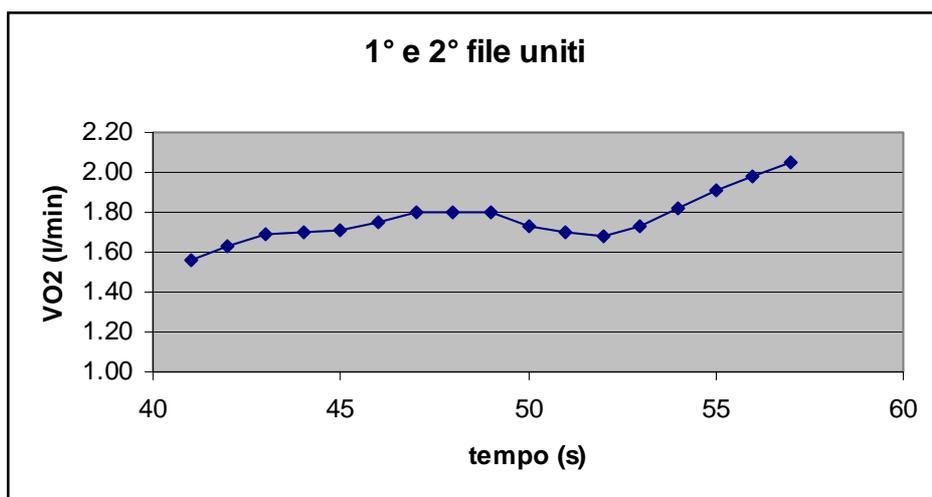


Fig. 14: i due files uniti per ottenere un file con minore dispersione.

Al fine di ridurre ulteriormente la dispersione, i valori venivano mediati a 5 secondi, rendendo più omogenea la successione.

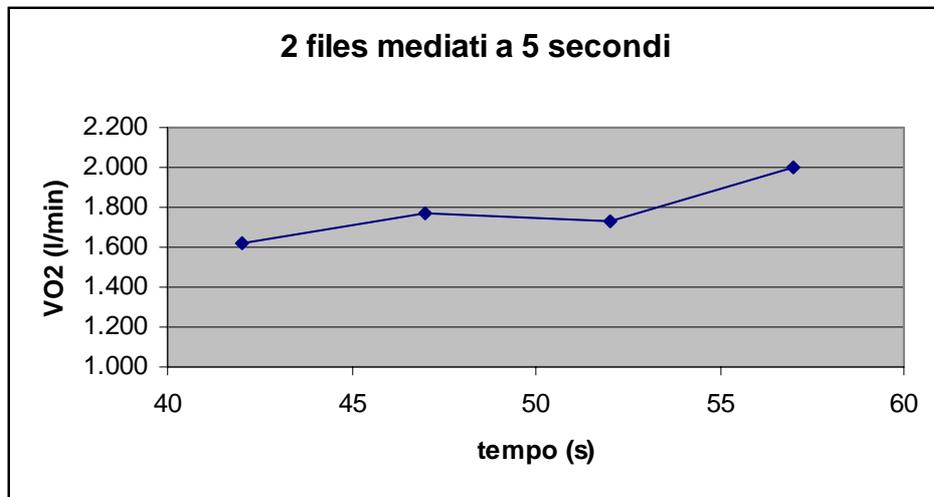


Fig. 15: il file della figura precedente mediato a 5 secondi.

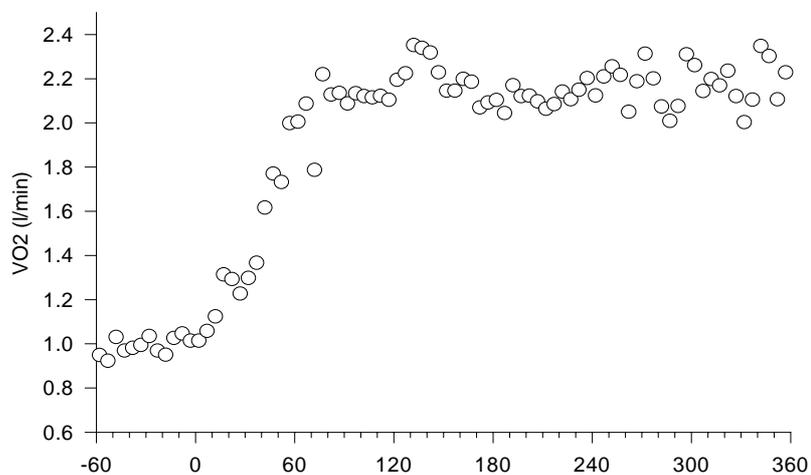


Fig. 16: esercizio della figura dopo essere stato unito con il file della seconda ripetizione mediato a 5 secondi.

La curva, diminuendo la dispersione dei dati, diventa più omogenea.

Ai dati ottenuti era quindi applicata la seguente funzione monoesponenziale:

$$VO_{2(t)} = (VO_2 \text{ basale} + A) * (1 - e^{-(t-TD)/\tau})$$

Dove:

$VO_{2(t)}$ = VO_2 al tempo t ;

VO_2 basale = VO_2 all'inizio del test;

A = ampiezza della curva, cioè la differenza tra VO_2 allo stato stazionario e VO_2 basale;

TD = time delay o ritardo, che identifica il momento in cui inizia la curva esponenziale;

τ = costante di tempo; identifica il tempo necessario perché il VO_2 raggiunga il 63% del VO_{2ss} (VO_2 di stato stazionario).

Quindi il software calcolava i valori di τ , ampiezza, time delay, e VO_2 basale nell' algoritmo che più si avvicinava ai dati raccolti, in base anche alle limitazioni da noi imposte, prima fra tutte l'assegnazione di un TD da cui far partire l'esponenziale in base all'osservazione di altri parametri (QR , $PetO_2$, $PetCO_2$). Nella descrizione della fase-on della cinetica del VO_2 abbiamo utilizzato il *modello 1* (Whipp) [32].

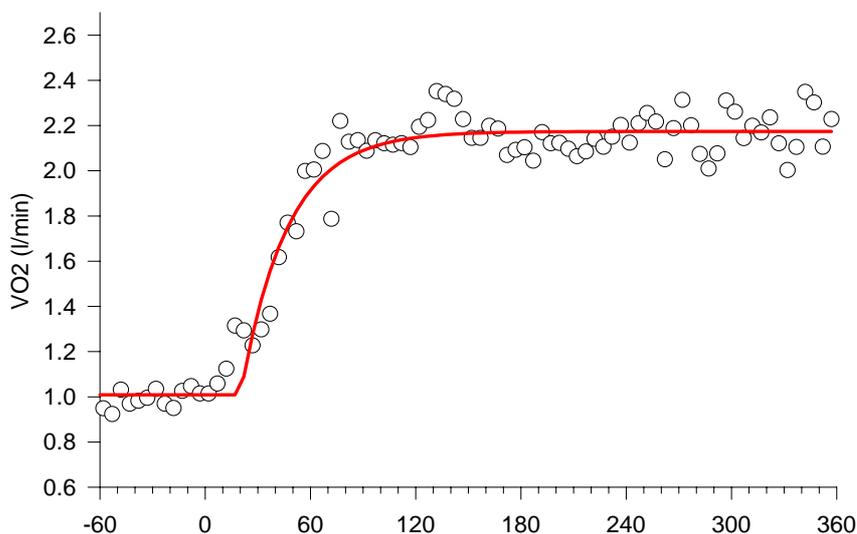


Fig. 17: applicazione ai dati dell'equazione secondo il modello 1. La condizione imposta è $TD > 0$: in questo caso il computer ha calcolato un ritardo di 9.7 secondi, un'ampiezza di 2.26 e una costante di tempo (τ) di 40.2 secondi.

Dai valori delle variabili ricavate, venivano quindi disegnate le curve. Il *modello 1* (fig. 17) prevede come condizione imposta che il $TD > 0$: in tal modo il programma individua dove, dal momento 0 (inizio del carico di lavoro), il VO_2 comincia a crescere. In quel punto inizia ad adattare ai dati i tre parametri della funzione esponenziale precedentemente descritta ricavando l'equazione della curva che meglio descrive i dati in nostro possesso.

8. RISULTATI

Vengono di seguito riportati i risultati relativi ai test effettuati dai soggetti.

	SOGGETTO	ETÀ	PESO	ALTEZZA	SESSO
TOP	<i>D_P</i>	68	63	171	M
	<i>L_M</i>	69	72	173	M
	<i>P_V</i>	64	78.5	175	M
	<i>P_F</i>	66	78	167	M
	<i>G_M</i>	71	65.8	161	F
	<i>D_A</i>	76	66.4	171	F
	<i>B_F</i>	60	71	161.5	F
	<i>M_C</i>	67	74.6	170	M
	<i>Z_P</i>	62	83.2	179	M
BIKE	<i>C_I</i>	66	61.7	151.7	F
	<i>R_F</i>	65	98.6	175	M
	<i>S_R</i>	66	76.5	164	M
	<i>T_F</i>	58	68	168.5	M
	<i>C_D</i>	66	72.5	177.5	M
	<i>P_A</i>	67	77	164	M
	<i>P_S</i>	62	72.7	174	F
	<i>P_R</i>	73	63.9	163	M
MEDIA		66.24	73.14	168.60	
DEV. ST		4.37	8.68	6.87	

Fig. 18: età, peso e altezza dei 17 soggetti con relativi valori medi e deviazione standard.

I risultati vengono presentati graficamente: sono stati riportati su ciascun grafico i valori medi ottenuti dai test effettuati al top e alla bike, relativi ad ognuna delle costanti considerate (tau, ampiezza, time delay e basale). In questo modo è possibile ottenere un efficace mezzo di confronto fra gli adattamenti della VO_2 nel corso di esercizi moderati ed intensi eseguiti con le gambe e con le braccia.

Vengono altresì riportati i dati medi relativi al consumo d'ossigeno a riposo, senza cioè che venga effettuato alcun movimento.

VO_2 Basale

La rilevazione del VO_2 basale è stata effettuata prima dello svolgimento dei test al fine di verificare che i parametri fisiologici di VO_2 rientrassero nella norma.

Non essendo in presenza di movimento e di carichi di lavoro non è stata effettuata alcuna ripartizione tra -VT e +VT e il confronto è stato limitato fra Top e Bike.

La relazione bike/top non è risultata significativa.

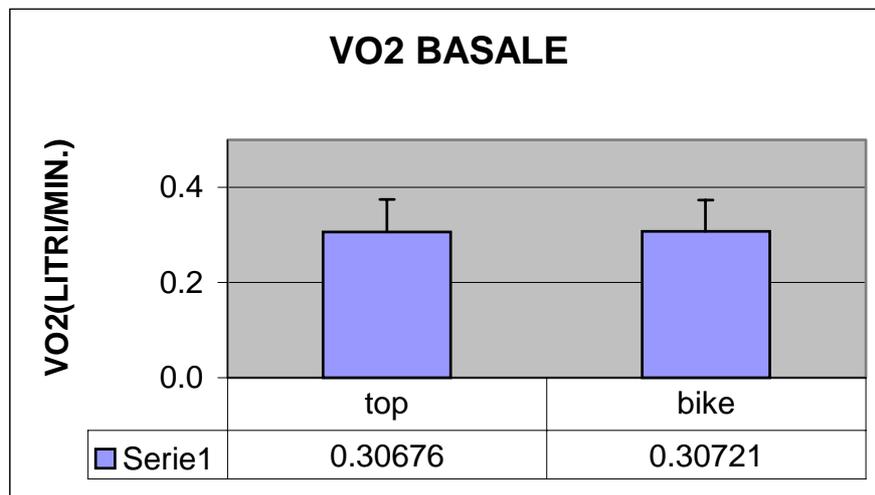


Fig. 19: valori medi e deviazioni standard del consumo d'ossigeno dei soggetti a riposo.

VO₂ Free wheeling

Il consumo d'ossigeno, rilevato durante i tre minuti di azione sull'attrezzo a carico nullo prima dell'inizio del test (free wheeling), risulta essere superiore prima dell'esecuzione di un test alla Bike rispetto a quello riscontrato prima dell'esercitazione al Top ($P < 0.001$). Essendo il carico di lavoro del free wheeling sopra e sotto soglia uguali, anche il consumo di ossigeno risultava identico, pertanto i dati -VT e +VT sono stati raggruppati e la suddivisione è stata effettuata solo tra Bike e Top.

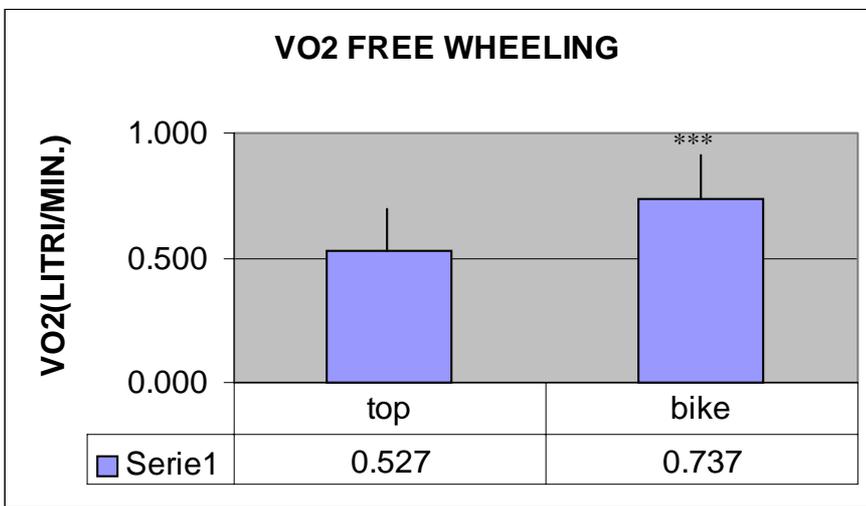


Fig. 20: valori medi e relativa deviazione standard della VO₂ basale riscontrata prima di effettuare il test al top e alla bike. ***=P<0.001 per Top vs Bike.

Tau

I dati relativi alla costante tau dimostrano che nei test effettuati al top si ha un tempo di adattamento del consumo d'ossigeno molto maggiore nel corso di un esercizio intenso, rispetto a quello moderato, passando da un tempo di 48.012 secondi sotto soglia a 67.154 sopra soglia (P<0.001).

I tempi di adeguamento in esercizi eseguiti al Top+vt risultano maggiori rispetto a quelli eseguiti alla Bike-vt (P<0.05).

I tempi di adattamento tendono invece ad uguagliarsi nelle due modalità di esercizio eseguite alla bike, la cui relazione non è stata stimata significativa.

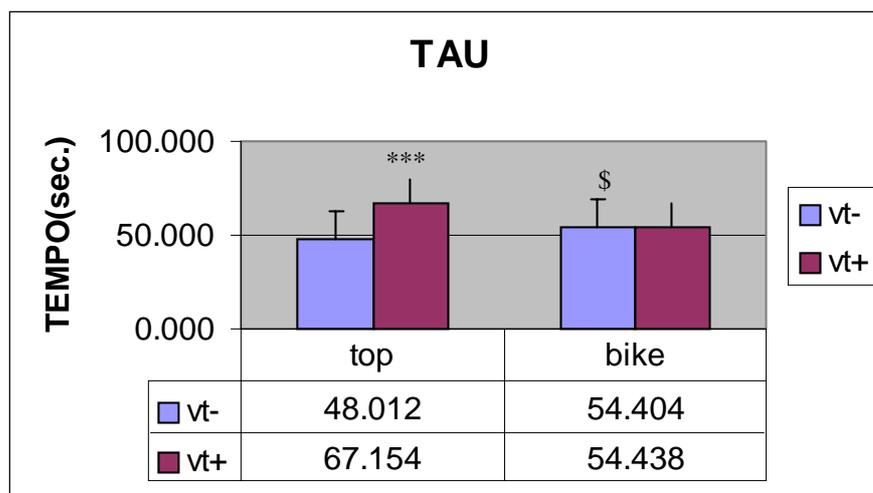


Fig. 21: valori medi e deviazione standard dei tempi di adattamento della VO₂ durante l'esecuzione di test sopra e sottosoglia al top e alla bike. ***=P<0.001, -VT vs +VT. \$=P<0.05, Top+vt vs Bike-vt.

Time delay

Il time delay presenta un valore maggiore nei test svolti alla bike sopra l'AT rispetto a quelli svolti al di sotto di quest'ultima, sebbene non sia possibile

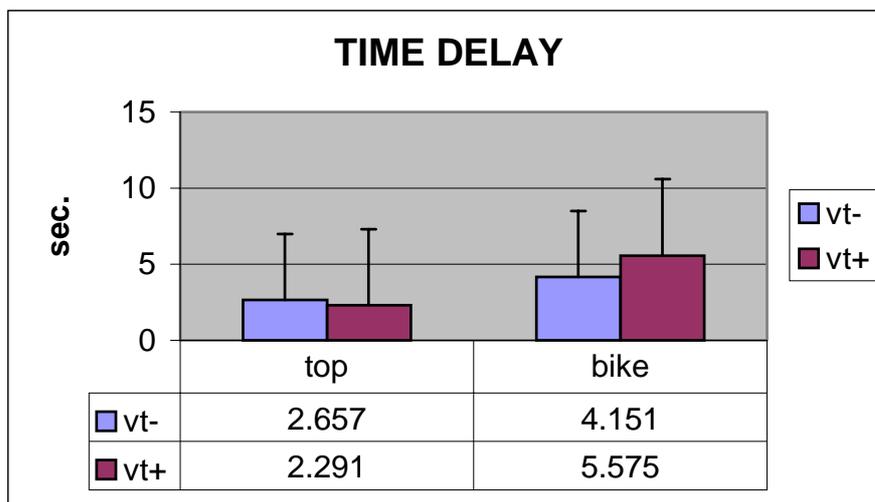


Fig. 22: valori medi e relative deviazioni standard del TIME DELAY rilevato nei soggetti in esercitazioni sopra e sotto soglia al top e alla bike. *=P<0.05; **=P<0.01; ***=P<0.001.

riscontrare alcuna significatività per questa modalità di esercizi, sopra e sotto soglia. Nel caso dei test svolti al top si presenta un fenomeno opposto, come è verificabile osservando il grafico sottostante. Anche in questo caso non è stata verificata alcuna relazione significativa tra test sopra e sotto soglia.

AMPIEZZA

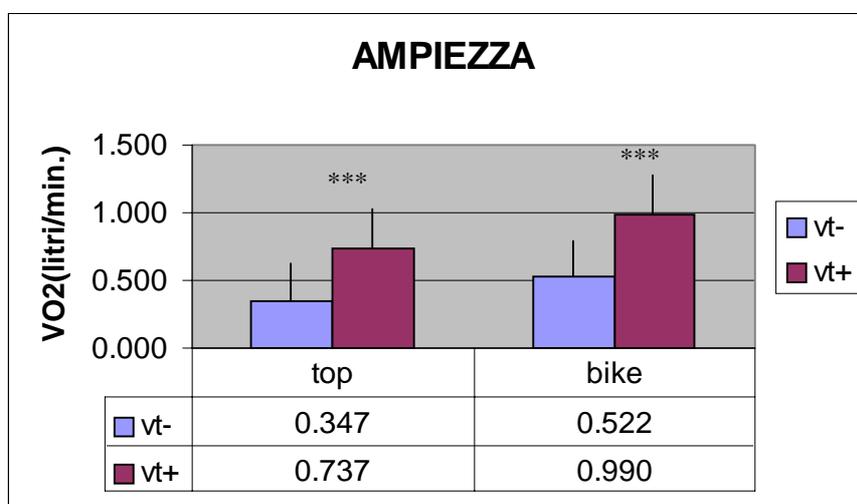


Fig. 23: valori medi e deviazione standard dei dati relativi all'entità del consumo d'ossigeno in test sopra e sotto soglia. ***=P<0.001 -VT vs +VT.

Nel grafico riportante i dati relativi all'ampiezza è possibile constatare un consumo d'ossigeno molto maggiore nei test sopra soglia rispetto a quelli svolti al di sotto della stessa ($P < 0.001$).

In particolar modo, mettendo a confronto il lavoro svolto utilizzando gli arti inferiori, rispetto a quello eseguito con gli arti superiori, si riscontrano valori di VO_2 più consistenti nel corso dei test effettuati con le gambe ($P < 0.001$).

DISPENDIO ENERGETICO

Il consumo d'ossigeno totale (valore basale sommato all'ampiezza) risulta essere maggiore nei test eseguiti alla Bike rispetto a quelli riscontrabili nei test condotti al Top. Tale relazione non presenta significatività.

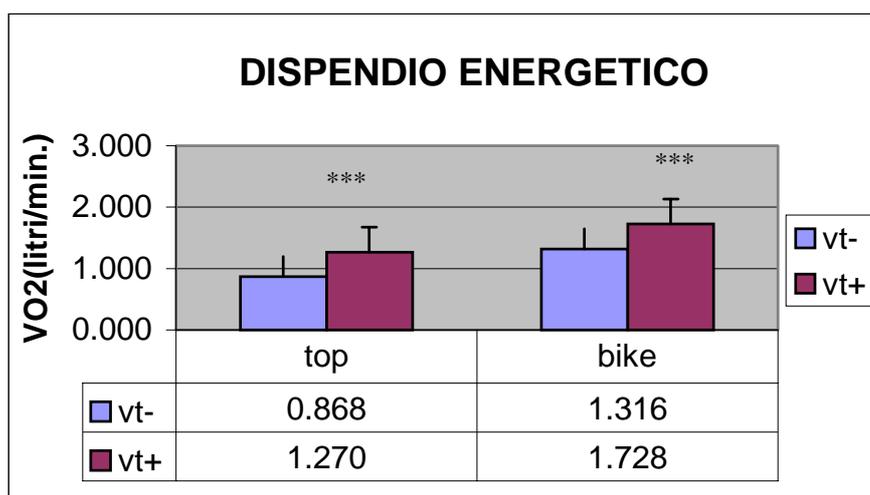


Fig. 24: vengono riportati nel grafico, valori medi e relative deviazioni standard inerenti al consumo di ossigeno rilevati in esercizi sopra e sotto soglia al top e alla bike. ***= $P < 0.001$, -VT vs +VT.

E' possibile inoltre verificare un consumo d'ossigeno più marcato nei test effettuati sopra soglia rispetto a quelli effettuati al di sotto di questa, a minor intensità. Tale relazione, sia per gli esercizi condotti al Top e alla Bike è risultata molto significativa ($P < 0.001$).

9. DISCUSSIONE

Come già anticipato nel paragrafo introduttivo, lo scopo di questo lavoro era di mettere a confronto l'adeguamento cardiocircolatorio ad esercizi svolti con le gambe e con le braccia da soggetti anziani. Duplice è l'interesse di tale confronto: da un lato, ci si attende che un'eventuale differenza nella cinetica del consumo d'ossigeno possa suggerire interpretazioni sui meccanismi fisiologici che accompagnano l'inizio del lavoro muscolare e ne possono limitare l'intensità; d'altro canto, lo studio dell'esercizio condotto con masse muscolari che differiscono non solo nel volume, ma anche nella principale utilizzazione, riconduce al principale oggetto del nostro interesse, cioè l'uomo (e ovviamente anche la donna) in età avanzata. Tutti i soggetti che hanno partecipato a questo studio avevano già abbandonato la propria attività lavorativa: erano pensionati tendenzialmente sedentari e pertanto esposti ai ben noti rischi di una ridotta attività fisica. Se si immagina quante cose una persona in pensione può fare dalla mattina alla sera, non è certo difficile individuare una serie di attività svolte prevalentemente con le mani e le braccia, accanto quelle più ovvie svolte con le gambe: queste ultime sono in genere considerate "attività fisica", mentre le prime rivestono piuttosto il ruolo di occupazioni abituali, magari defatiganti, ma non sono viste come esercizi utili. Anche nella letteratura specialistica, poca attenzione è stata posta all'attività svolta con le sole braccia e al suo potenziale ruolo benefico per l'anziano.

Facciamo notare anzitutto che tutti i soggetti coinvolti nello studio si sono sottoposti volentieri agli esami loro proposti, sopportando anche la fatica dei test massimali ed i disagi dovuti alle apparecchiature. La curiosità di vedere i loro sforzi interpretati sulla base di parametri fisiologici e l'opportunità di partecipare ad una ricerca scientifica si sono rivelati fattori motivazionali più che sufficienti.

I dati del consumo d'ossigeno, pur contenendo alcune informazioni abbastanza scontate, non sono privi di utili suggerimenti. A riposo (VO_2 basale) tutti i soggetti consumavano circa $300 \text{ ml O}_2 \text{ min}^{-1}$, sia che si apprestassero a pedalare, sia che si preparassero a muovere le braccia. Questo è il consumo basa-

le indicato in qualunque testo di fisiologia e rivela che i nostri volontari si trovavano a proprio agio ed erano in buone condizioni di salute. Durante la fase preparatoria, quando muovevano braccia o gambe a carico zero (free wheeling), il consumo d'ossigeno aumentava in entrambi i casi, ma in maniera significativamente maggiore con la bike. Evidentemente, la mobilitazione attiva degli arti comporta comunque un aumento del metabolismo, grosso modo proporzionale alle masse muscolari impegnate.

L'ampiezza della curva del consumo di O_2 (Fig. 23), nonché il dispendio energetico totale (Fig. 24), indicano che, ovviamente, il consumo è maggiore per i lavori più impegnativi. Quindi, cresce di più negli esercizi +VT e, a parità di lavoro relativo, è maggiore con la bike che con il top. Bisogna sottolineare che i carichi di lavoro erano calcolati con precisione per ciascun soggetto e per ciascuna modalità d'esercizio in maniera da rappresentare situazioni metaboliche ben determinate. Il lavoro -VT utilizza interamente processi aerobici, quindi non produce accumulo di cataboliti e non intacca le riserve energetiche intramuscolari. Al contrario, il lavoro +VT, rappresentando per definizione un impegno metabolico superiore a quello sostenibile esclusivamente mediante il metabolismo ossidativo, provoca accumulo di lattato ed esaurimento delle riserve: è perciò destinato a durare poco nel tempo, perché va incontro a rapido affaticamento. Alla luce di questa precisazione, assume importanza rilevante il confronto fra i due tipi di esercizio. Nella Fig. 24 è ben evidente che il dispendio energetico del lavoro +VT al top è quasi uguale a quello del lavoro -VT alla bike. In altre parole, si possono usare le braccia per un lavoro defaticante il cui impegno metabolico è analogo a quello di un lavoro moderato svolto con le gambe. Agli effetti di qualunque programma d'allenamento, la commistione di lavoro sopra e sotto alla soglia anaerobica (VT nei nostri esperimenti) è altamente raccomandata. Alla luce di questo risultato, pertanto, si può dare utili consigli alle persone anziane. In pratica, per fare un esempio concreto, si potrà suggerire di recarsi a piedi o in bicicletta, senza fretta, impiegando circa mezz'ora, nell'orto e poi per una ventina di minuti, zappare con forza il campo. L'anziano eseguirà così un lavoro sottomassimale con le gambe ed un lavoro più intenso con le braccia, mantenendo elevato circa allo stesso livello il proprio consumo d'ossigeno.

A quest'ultima osservazione fa riscontro quanto si rileva dalle cinetiche del consumo d'ossigeno, rappresentate dal ritardo (time delay), dalla costante di tempo (τ) e dall'ampiezza. Queste tre variabili sono i parametri assegnati dal programma che calcola la migliore stima (best fitting) della curva mono-esponenziale che simula i dati sperimentali. La prima variabile, che potrebbe essere utilizzata per valutare la prima fase dell'adeguamento respiratorio all'aumentato metabolismo muscolare, soffre purtroppo di una discreta imprecisione. Infatti, il metabolimetro esegue le sue misure e fornisce i relativi risultati alla fine d'ogni atto respiratorio, mentre ovviamente le variazioni del metabolismo sono continue. Le operazioni d'interpolazione e di mediazione descritte nei metodi servono a ridurre gli inconvenienti derivanti dalla sottocampionatura, ma non possono risolvere il problema quando la variabile da misurare è di breve durata. Il time delay è normalmente dell'ordine di qualche secondo ed è pertanto compreso fra 1 e 3 atti respiratori: troppo pochi per una stima accurata. Non prendiamo pertanto ulteriormente in considerazione il ritardo, in questa discussione.

La costante τ ha un intrinseco significato fisiologico: se l'adeguamento cardiocircolatorio al lavoro muscolare fosse istantaneo, non si accumulerebbe alcun debito d'ossigeno e la τ sarebbe zero; poiché invece l'adeguamento avviene in un tempo reale e non è completo che in 30-60 secondi, con un andamento tipicamente esponenziale, la τ è un indice della velocità d'adeguamento. La fisiologia delle risposte integrate all'esercizio propone di dividere i fattori responsabili del ritardo in una componente centrale ed una periferica. La prima mette in causa i sistemi respiratorio e cardiocircolatorio; la seconda la diffusione dell'ossigeno ai muscoli e la macchina enzimatica dei mitocondri. Dai risultati presentati in questa tesi, si evince che la τ risulta significativamente aumentata, rivelando una cinetica rallentata, nel lavoro +VT al top (Fig. 21). Questo risultato, interessante di per sé, diventa ancora più significativo se associato alla constatazione, descritta nel paragrafo precedente, secondo cui il costo energetico di questo tipo di esercizio è analogo a quello del lavoro -VT alla bike. In altre parole, si osserva che lavorando sopra soglia con le braccia si consuma un volume d'ossigeno analogo a quello necessario per lavorare sotto soglia con le gambe, ma il debito d'ossigeno è maggiore, come indicato da una costante di tempo più lunga. Pur non avendo dati suffi-

cienti ad interpretare compiutamente i meccanismi coinvolti, possiamo supporre che nel lavoro con le braccia siano leggermente insufficienti i meccanismi centrali, come si evince dalla letteratura: infatti, il movimento rotatorio delle braccia potrebbe ostacolare parzialmente il flusso sanguigno, rallentando l'iperemia da lavoro muscolare in misura assai maggiore di quanto non avvenga per le gambe, a causa di una compressione meccanica sulle arterie succlavie. Per confermare quest'ipotesi sarebbe necessario misurare il flusso nelle braccia durante l'esercizio, ma non sono disponibili metodi adeguati. In ogni caso, l'esercizio con le braccia, a parità d'intensità, si propone come uno stimolo più efficace dell'esercizio con le gambe nei confronti del sistema cardiocircolatorio.

In conclusione, i risultati presentati in questa tesi indicano che è possibile istituire programmi d'allenamento misti, abbinando esercizi svolti con masse muscolari limitate (braccia) ad esercizi che impegnano in pratica tutti i muscoli del corpo (bicicletta), per ottenere un armonico incremento dell'attività fisica dell'anziano, sia utilizzando strumenti specifici in palestra, sia fornendo consigli sullo stile di vita.

10. RINGRAZIAMENTI

Alcuni ringraziamenti a chi ha permesso la realizzazione di questo lavoro:

- Technogym srl. per le attrezzature
- CNR di Milano
- CeBiSM di Rovereto
- Antonio Cevese: Professore di Fisiologia presso il Corso di Laurea in Scienze delle Attività Motorie e Sportive di Verona
- Filippo Balestrieri: Ricercatore presso il CeBiSM di Rovereto
- Paolo Terziotti: Responsabile del Laboratorio di Fisiologia dell'Esercizio del Corso di Laurea in Scienze delle Attività Motorie e Sportive di Verona
- Federico Schena: Direttore del CeBiSM di Rovereto
- Silvia Pogliaghi: Dottoranda presso il CNR di Milano

Un ringraziamento anche a tutti i soggetti che, con pazienza e volontà, hanno partecipato allo studio.

Rivolgo inoltre sentiti ringraziamenti a coloro i quali hanno supportato, più o meno direttamente, il sottoscritto durante il suo percorso Universitario, contribuendo al conseguimento di questo obiettivo.

Grazie quindi: ai miei genitori, ai miei fratelli Davide, Anna e Matteo, a Francesco Lupi, Giacomo Profeta, Francesco Schiavitelli, Mauro Visentin, Giacomo Giannella, Mattia Zampol, Fabio Milan, Andrea Covati, Marco Cardini, Elena Martini, Paola Previtali, Anna Salvaterra, a Claudio e Bruno Toninel e a Nicola Agnolini della I.C. "Bentegodi" di Verona, alla maestra Adele Brida e al maestro Angelo Gualeni.

Un ringraziamento particolare alla dott.ssa Darcie Baynes.

11. BIBLIOGRAFIA

1. **Barstow, T.J.** Characterization of VO_2 kinetics during heavy exercise. *Med Sci Sports Exerc* 26: 1327-1334, 1994.
2. **Barstow, T.J., S. Buchthal, S. Zanconato, and D.M. Cooper.** Muscle energetics and pulmonary oxygen uptake kinetics during moderate exercise. *J Appl Physiol* 77: 1742-1749, 1994.
3. **Bernabeo, R.A. and B.R. D'Este.** *Dal gesto naturale alle Scienze Motorie.* Bologna: Esculapio, 1998.
4. **Cerretelli, P.** *Manuale di Fisiologia dello Sport e del lavoro muscolare.* Roma: Soc.Ed.Universo, 1985.
5. **Cerretelli, P., D. Pendergast, W.C. Paganelli, and D.W. Rennie.** Effects of specific muscle training on VO_2 on-response and early blood lactate. *J Appl Physiol* 47: 761-769, 1979.
6. **Cerretelli, P., D. Shindell, D.P. Pendergast, P.E. Di Prampero, and D.W. Rennie.** Oxygen uptake transients at the onset and offset of arm and leg work. *Respir Physiol* 30: 81-97, 1977.
7. **Cerretelli, P., R. Sikand, and L.E. Farhi.** Readjustments in cardiac output and gas exchange during onset of exercise and recovery. *J Appl Physiol* 21: 1345-1350, 1966.
8. **Chilibeck, P.D., D.H. Paterson, R.J. Petrella, and D.A. Cunningham.** The influence of age and cardiorespiratory fitness on kinetics of oxygen uptake. *Can J Appl Physiol* 21: 185-196, 1996.
9. **Di Prampero, P.E.** Energetics of muscular exercise. *Rev Physiol Biochem Pharmacol* 89: 143-222, 1981.
10. **Gaesser, G.A. and D.C. Poole.** The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exerc Sport Sci Rev* 24: 35-71, 1996.
11. **Gerbino, A., S.A. Ward, and B.J. Whipp.** Effects of prior exercise on pulmonary gas-exchange kinetics during high-intensity exercise in humans. *J Appl Physiol* 80: 99-107, 1996.
12. **Grassi, B., L.B. Gladden, M. Samaja, C.M. Stary, and M.C. Hogan.** Faster adjustment of O_2 delivery does not affect $\text{V}(\text{O}_2)$ on-kinetics in isolated in situ canine muscle. *J Appl Physiol* 85: 1394-1403, 1998.
13. **Grassi, B., L.B. Gladden, C.M. Stary, P.D. Wagner, and M.C. Hogan.** Peripheral O_2 diffusion does not affect $\text{V}(\text{O}_2)$ on-kinetics in isolated in situ canine muscle. *J Appl Physiol* 85: 1404-1412, 1998.

14. **Grassi, B., D.C. Poole, R.S. Richardson, D.R. Knight, B.K. Erickson, and P.D. Wagner.** Muscle O₂ uptake kinetics in humans: implications for metabolic control. *J Appl Physiol* 80: 988-998, 1996.
15. **Hughson, R.L.** Exploring cardiorespiratory control mechanisms through gas exchange dynamics. *Med Sci Sports Exerc* 22: 72-79, 1990.
16. **Hughson, R.L. and M.D. Imman.** Faster kinetics of VO₂ during arm exercise with circulatory occlusion of the legs. *Int J Sports Med* 7: 22-25, 1986.
17. **Hughson, R.L. and M.A. Morrissey.** Delayed kinetics of VO₂ in the transition from prior exercise. Evidence for O₂ transport limitation of VO₂ kinetics: a review. *Int J Sports Med* 4: 31-39, 1983.
18. **Koga, S., T. Shiojiri, N. Kondo, and T.J. Barstow.** Effect of increased muscle temperature on oxygen uptake kinetics during exercise. *J Appl Physiol* 83: 1333-1338, 1997.
19. **Linnarsson, D.** Dynamics of pulmonary gas exchange and heart rate changes at start and end of exercise. *Acta Physiol Scand* S415: 1-68, 1974.
20. **MacDonald, M., P.K. Pedersen, and R.L. Hughson.** Acceleration of VO₂ kinetics in heavy submaximal exercise by hyperoxia and prior high-intensity exercise. *J Appl Physiol* 83: 1318-1325, 1997.
21. **Margaria, R., P. Aghemo, and G. Sassi.** Lactic acid production in supra-maximal exercise. *Pflugers Arch* 326: 152-161, 1971.
22. **Paterson, D.H.** Effects of ageing on the cardiorespiratory system. *Can J Sport Sci* 17: 171-177, 1992.
23. **Piiper, J., P.E. Di Prampero, and P. Cerretelli.** Oxygen debt and high-energy phosphates in gastrocnemius muscle of the dog. *Am J Physiol* 215: 523-531, 1968.
24. **Poole, D.C., W. Schaffartzik, D.R. Knight, T. Derion, B. Kennedy, H.J. Guy, R. Prediletto, and P.D. Wagner.** Contribution of exercising legs to the slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *J Appl Physiol* 71: 1245-1260, 1991.
25. **Poole, D.C., S.A. Ward, G.W. Gardner, and B.J. Whipp.** Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics* 31: 1265-1279, 1988.
26. **Roston, W.L., B.J. Whipp, J.A. Davis, D.A. Cunningham, R.M. Effros, and K. Wasserman.** Oxygen uptake kinetics and lactate concentration during exercise in humans. *Am Rev Respir Dis* 135: 1080-1084, 1987.

27. **Rowell, L.B., G.L. Brengelmann, J.M. Detry, and C. Wyss.** Venomotor responses to rapid changes in skin temperature in exercising man. *J Appl Physiol* 30: 64-71, 1971.
28. **Vollestad, N.K. and P.C. Blom.** Effect of varying exercise intensity on glycogen depletion in human muscle fibres. *Acta Physiol Scand* 125: 395-405, 1985.
29. **Weissman, C., B. Abraham, J. Askanazi, J. Milic-Emili, A.I. Hyman, and J.M. Kinney.** Effect of posture on the ventilatory response to CO₂. *J Appl Physiol* 53: 761-765, 1982.
30. **Whipp, B.J. and P.B. Mahler.** Dynamics of pulmonary gas exchange during exercise. In: *Pulmonary gas exchange*, edited by J.B. West. New York: Academic, 1980, p. 33-95.
31. **Whipp, B.J. and S.A. Ward.** Physiological determinants of pulmonary gas exchange kinetics during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 22: 62-71, 1990.
32. **Whipp, B.J., S.A. Ward, N. Lamarra, J.A. Davis, and K. Wasserman.** Parameters of ventilatory and gas exchange dynamics during exercise. *J Appl Physiol* 52: 1506-1513, 1982.
33. **Whipp, B.J. and K. Wasserman.** Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. *J Appl Physiol* 33: 351-356, 1972.
34. **Willis, W.T. and M.R. Jackman.** Mitochondrial function during heavy exercise. *Med Sci Sports Exerc* 26: 1347-1353, 1994.