

**ADATTAMENTO DEL MUSCOLO SCHELETRICO
ALL'ALLENAMENTO PER COMPETIZIONI DI FONDO.
NOTE SUGLI SCIATORI FINLANDESI
E SUGLI ATLETI DEL FONDO.**

(Prof. Veikko Vihko)

1. INTRODUZIONE

Tutti sanno che gli esercizi di resistenza regolarmente eseguiti oppure l'allenamento provocano un adattamento cardiovascolare e che questo adattamento (che principalmente si risolve in un aumento della gittata cardiaca, in un aumento del volume di gittata ed in un aumento della differenza di ossigeno arteriovenoso) migliora l'apporto di sangue e di ossigeno ai muscoli che eseguono il lavoro.

L'allenamento di resistenza, come la corsa di fondo o lo sci ha come risultato un aumento della captazione massima di ossigeno ($\dot{V}O_2 \text{ max}$) e l'ampiezza di questo adattamento dipende da fattori come l'intensità, la durata e la frequenza dell'esercizio in programma. Comunemente, l'allenamento di fondo è considerato simile all'allenamento del sistema di trasporto dell'ossigeno (Holloszy, 1974).

Da quando Jonas Bergström, uno svedese, nel 1962 ha applicato la tecnica della biopsia con ago, per ottenere dei campioni di muscolo da soggetti umani (Bergström, 1962), questo punto di vista si è andato modificando, soprattutto nel corso degli ultimi sette anni.

Si è dimostrato che si verificano anche dei grossi adattamenti nel muscolo scheletrico, in risposta all'allenamento, oltre agli adattamenti cardiovascolari e polmonari già noti.

Il nostro scopo è quello di descrivere, in questa breve

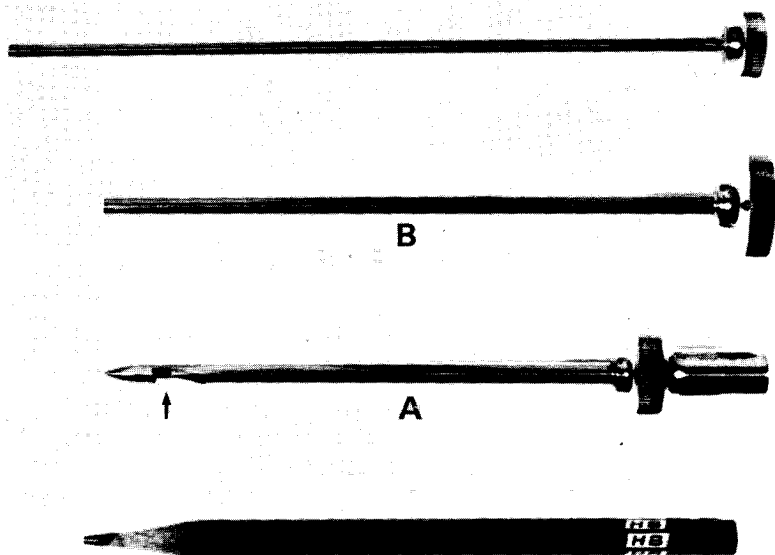


Fig. 2 - L'ago biptico di dimensioni medie del tipo Bergström (AB Stille-Werner, Stoccolma, Svezia). Il diametro di questo ago è di 4,5 mm e la lunghezza 100 mm. La punta dell'ago (A) è stata tolta in modo che non distrugge il tessuto, quando viene fatto penetrare nel muscolo. Il tessuto muscolare spinge nell'apertura (freccia dell'ago) ed il dispositivo per tagliare (B) ne seziona un piccolissimo campione.

relazione, gli esperimenti, i risultati e le esperienze da noi conseguiti presso il Centro di Ricerca Muscolare della Università di Jyväskylä, con il nostro progetto di ricerca, i cui soggetti sono i nostri migliori atleti nazionali.

(Il Centro di Ricerca Muscolari è una organizzazione presso l'Università di Jyväskylä, il cui scopo è quello di concentrare la ricerca nel campo del metabolismo muscolare. E' composto da rappresentanti del Reparto di Biologia della Attività Fisica (Facoltà di Educazione Fisica) del Reparto di Biologia Cellulare (Facoltà di Matematica e Scienza), e del Laboratorio di Patologia (Ospedale Centrale Middle-Finland). Uno dei progetti di ricerca di questa organizzazione è costituito dal « Progetto con atleti di prima classe ». I risultati e le esperienze descritti in questo articolo costituiscono il risultato di una collaborazione di questo

gruppo di ricercatori, costituito dai dottori Antti U. Arstila, Matti Havu, Yrjö Hirsimäki, Paavo V. Komi, Heikki Rusko, Veikko Vihko e Jan Vos).

Le considerazioni relative all'adattamento sono limitate alle nostre ricerche e ai nostri risultati e alla capacità aerobica del muscolo scheletrico.

2. BREVE DESCRIZIONE DEI METODI

2.1. Misurazione di $\dot{V}O_2$ max.

La $\dot{V}O_2$ massima viene misurata nel nostro studio durante un lavoro di corsa sul nastro trasportatore e con l'erometro. I gas respiratori vengono raccolti con il metodo della sacca di Douglas ed analizzati con la tecnica micro-Scholander. Alla figura 1 vi mostriamo il sistema della corsa su nastro trasportatore.



Fig. 3 - Viene praticata una piccola incisione dopo anestesia locale attraverso la pelle e la fascia che ricopre il muscolo. Questa fotografia mostra il punto dove viene prelevato il campione del muscolo deltoideus.



Fig. 4 - Questa fotografia mostra una operazione bioptica del muscolo vastus lateralis. E' stato appena asportato un campione.

2.2. Campioni di Muscolo.

Alla fig. 2 mostriamo la biopsia muscolare con ago del tipo di Bergström. La pelle viene in un primo luogo rasata e sterilizzata, dopo ch  localmente anestetizzata fino alla profondit  della fascia.

Viene praticata una piccola incisione attraverso la pelle e la fascia (figura 3 e l'ago bioptico viene inserito nel muscolo (figura 4), per cui viene prelevata una piccola parte del muscolo (generalmente da 25 a 30 milligrammi). La piccola ferita viene ricoperta quindi da un cerotto. Il campione di muscolo viene poi immediatamente sottoposto a tutti gli esami istochimici, biochimici e al microscopio elettronico.

Esistono tre muscoli dai quali noi normalmente preleviamo le biopsie: il muscolo « vastus lateralis », e quello « gastrocnemius caput laterale » nella gamba ed il muscolo « deltoideus » nel braccio. Fino ad oggi il nostro gruppo di ricerca ha eseguito quasi 500 biopsie, senza incontrare alcuna complicazione grave, o anche di lieve entit , e si pu  senz'altro considerarla come una tecnica sicura, almeno

quando è applicata a questi tre muscoli che abbiamo nominato.

In istochimica coloriamo normalmente tre enzimi delle sezioni seriali criostatiche, per poter dividere le cellule del muscolo o le fibre in due tipi: fibre lente altamente ossidative e scarsamente glicolitiche e fibre veloci, scarsamente ossidative ed altamente glicolitiche.

Le proprietà di questi tipi di fibre sono illustrate alla figura 5, che mostra le colorazioni seriali per la mio-

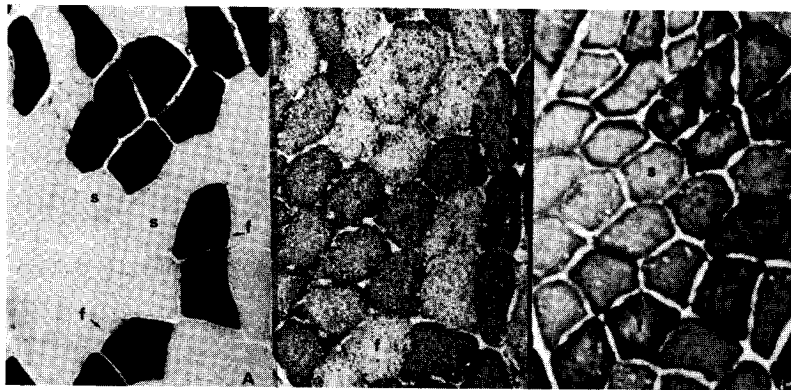


Fig. 5 - Sezioni criostatiche seriali per colorazioni di miosina ATPasi (A), NADH-diaforasi (B) ed alfa-glicerofosfatasi deidrogenasi (C) dal campione di muscolo vastus lateralis di uno sciatore seniores.

Possiamo identificare le fibre individuali appartenenti ai tipi s o f. Le fibre lente (s) presentano una maggiore capacità ossidativa ed una scarsa capacità glicolitica, secondo quanto evidenziato sulla base delle colorazioni NADH-diaforasi ed alfa glicerofosfato deidrogenasi, rispettivamente.

Le fibre veloci scure, al contrario, presentano una notevole capacità glicolitica, mentre la loro capacità ossidativa è scarsa.

sina ATPasi (proprietà contrattili), NADH-diaforasi (capacità ossidativa) ed alfa-glicerofosfatasi deidrogenasi (capacità glicolitica).

Con questo sistema, possiamo computare la percentuale delle fibre lente (% ST). Discuteremo più oltre l'importanza di questa variabile.

In biochimica, valutiamo le attività di alcuni enzimi centrali del ciclo dell'acido citrico e della glicolisi. Possiamo considerare come prova di una « concentrazione » enzimatica

l'attività di un enzima misurata in condizioni ottimali standardizzate; tuttavia, dobbiamo anche tener presente alcune limitazioni.

In ogni caso, si può affermare che l'attività enzimatica misurata in vitro è simile alle percentuali di flusso fisiologico in vivo. Comunque, possono essere considerate come misure relative delle capacità metaboliche in studi comparativi.

L'attività che noi riteniamo importante nella valutazione della capacità aerobica del muscolo è la succinico deidrogenasi (SDH), principalmente a causa del ruolo centrale che essa svolge nel metabolismo aerobico e poiché abbiamo nella letteratura un certo numero di dati a disposizione, a scopi comparativi (ad es. Gollnick ed al. 1972, Benzi, 1974).

Al microscopio elettronico la variabile più importante che misuriamo è il volume mitocondriale o la densità percentuale (MVF).

Servendoci dei principi di morfometria quantitativa, è possibile valutare in modo abbastanza attendibile la percentuale di mitocondri nel muscolo intero (ad es. Hoppeler ed al. 1973). Questa variabile, ovviamente, costituisce un ottimo indicatore della capacità aerobica del muscolo.

2.3. Altri metodi.

Oltre alle misurazioni indicate eseguiamo anche sui soggetti una moltitudine di altri test. Queste prove comprendono ad esempio il test Margaria per la capacità anaerobica, le misurazioni delle forze isometriche, eccentriche e concentriche delle gambe e delle braccia, la valutazione del grasso corporeo, ecc.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

3.1. L'importanza della distribuzione delle fibre nella prestazione di fondo.

Alla figura 6 illustriamo la differenza tra le fibre muscolari ST (« rosse ») ed FT (« bianche »), per cui potete vedere il loro aspetto al microscopio elettronico. Notate la enorme differenza quanto al contenuto mitocondriale; ciò vi dimo-

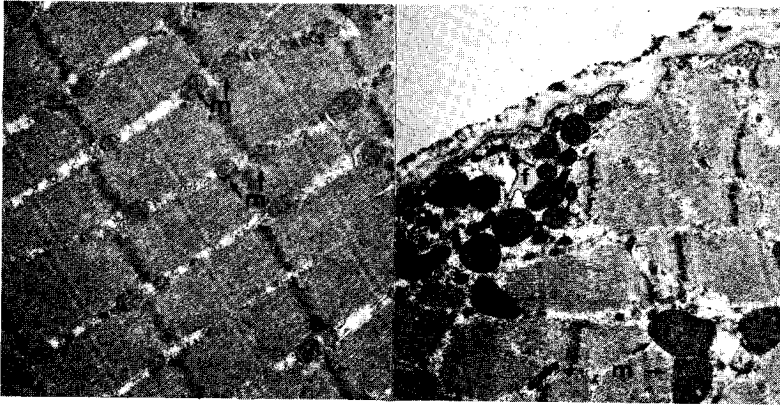


Fig. 6 - A: elettromiografia di una fibra muscolare bianca. Notate i mitocondri che sono scarsi e relativamente di piccole dimensioni (m), in coppia tra le Strie Z. Sezione longitudinale, ingrandimento x 13500.

B: fibre rosse, abbondanti mitocondri di grosse dimensioni ed una goccia di grasso (F). Sezione obliqua, ingrandimento x 12000.

stra che le fibre ST sono molto più adatte per un lavoro di resistenza aerobico.

Di fatti la struttura di reclutamento di entrambi i tipi di fibre, nel lavoro muscolare, molto probabilmente è tale per cui le fibre rosse lente (ST) abbondanti in mitocondri, vengono usate per il lavoro submassimale e aerobico e le fibre bianche, che si contraggono rapidamente, (FT), nelle prestazioni anaerobiche di velocità, ad alta intensità, (ad es. Saltin, 1973).

Ciò vuol dire, ad esempio, che un muscolo che contiene una grossa quantità di fibre ST è ideale per le corse di fondo e, al contrario, un muscolo che contenga una grande quantità di fibre FT è ideale per le gare di velocità di 100 m o per i salti.

Tutti i dati che attualmente abbiamo a disposizione indicano che la composizione delle fibre del muscolo umano non può essere cambiata. Ciò vuol dire che ad esempio un velocista di prima classe non può mai diventare un maratoneta di prima classe in quanto i muscoli delle sue gambe contengono pochissime fibre ST e moltissime fibre FT.

Sembra che la selezione naturale guidi il giovane atleta a scegliere una manifestazione sportiva, che sia adatta per

i suoi muscoli. Cerchiamo di dare una dimostrazione di quanto sopra nella figura 7, dove forniamo la percentuale delle fibre ST nei muscoli vastus lateralis degli atleti, nelle

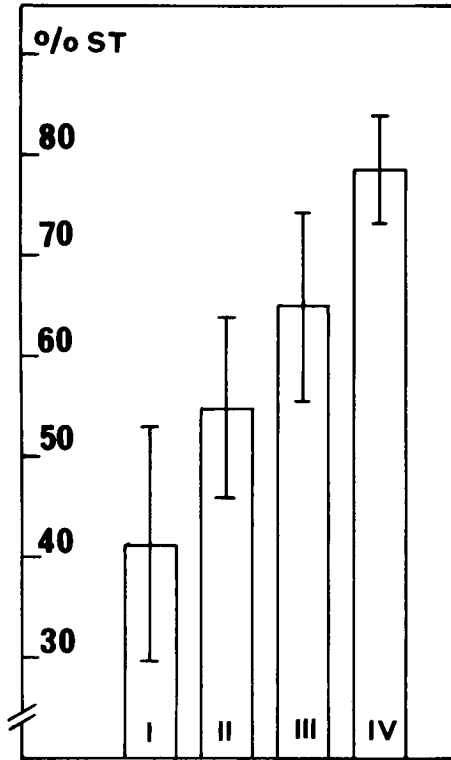


Fig. 7 - La percentuale di fibre ST nei muscoli vastus lateralis degli atleti nelle varie manifestazioni sportive. Possiamo riscontrare una generale tendenza a grosse percentuali nei gruppi degli atleti di fondo, nonostante le grosse variazioni.

Gruppo I: corridori degli 800 m (6); II: saltatori con gli sci (11); III: sciatori seniores del cross country (12) e IV: corridori di fondo seniores (8).

varie branche dello sport. Potete notare che i corridori del fondo e gli sciatori, scelti ad esempio, posseggono nei muscoli delle gambe una elevata percentuale di fibre ST.

Evidentemente, per le gare di fondo e per lo sci la $\dot{V}O_2$ max è un fattore decisivo nella prestazione di competizione. Potete vederlo nella figura 8, che vi mostra una leggera dipendenza tra il successo in una competizione e la $\dot{V}O_2$ max, tra gli sciatori finlandesi, durante le competizioni nella stagione 1972-1973.

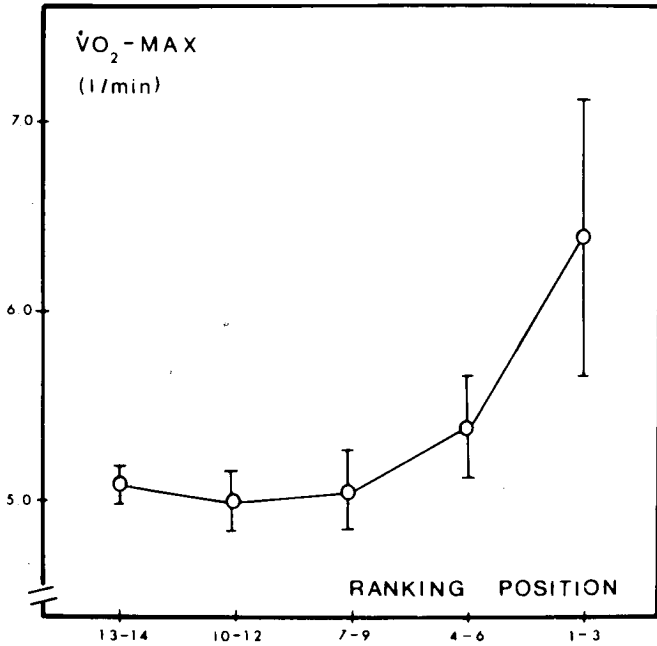


Fig. 8 - Correlazione tra successo in competizione e $\dot{V}O_2$ massima tra gli sciatori finlandesi seniores di cross country nel corso della stagione competitiva 1972-1973. Sembra che la elevata $\dot{V}O_2$ massima sia un fattore decisivo nelle competizioni di sci.

Possiamo inoltre dimostrare una tendenza simile nel senso della dipendenza, tra il successo ottenuto in competizione e le fibre ST nei muscoli delle gambe (figura 9). Ciò evidentemente suggerisce anche l'esistenza di una dipendenza tra la massima captazione di ossigeno le fibre ST ed il successo conseguito in competizione.

Ed infatti, esiste una correlazione tra la $\dot{V}O_2$ max e la

percentuale media di ST nei muscoli delle gambe (figura 10) nel gruppo omogeneo di sciatori, nonostante il tipo di allenamento alla resistenza relativamente duro, al quale, si era sottoposto ogni sciatore per diversi anni.

Possiamo quindi concludere, con circospezione, che una particolare branca dello sport, come in questo caso lo sci cross-country, richiede un tipo di composizione di fibre muscolari, che prescriva specificamente la capacità potenziale dell'atleta e dei suoi muscoli e, per di più, la composizione delle fibre sembra limitare i processi di adattamento, per cui l'allenamento potrebbe non essere sufficientemente atto a compensare le differenze strutturali (Havu ed al. 1973).

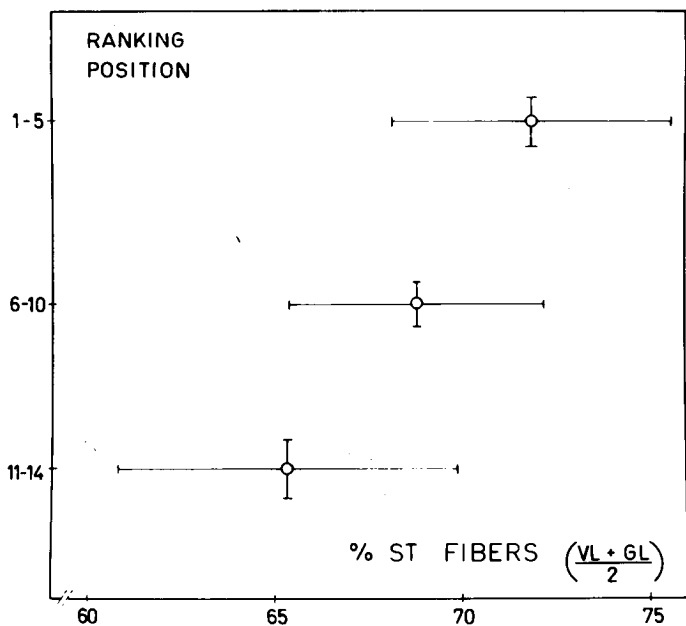


Fig. 9 - Una tendenza di correlazione tra il processo in competizione e la percentuale di ST nei muscoli delle gambe. La stessa popolazione della figura 8.

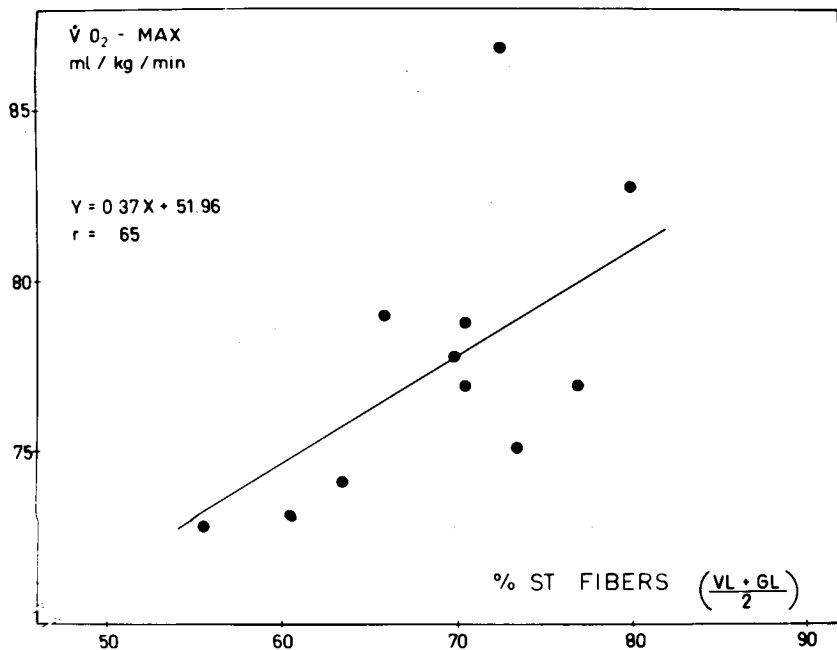


Figura 10 - Una correlazione tra $\dot{V}O_2$ massima e percentuale ST nei muscoli delle gambe. Sciatori seniores del cross country.

3.2. Attività SDH e suoi rapporti con l'allenamento.

Per poter procedere ad una esemplificazione, ho esaminato gli sciatori del cross-country seniores e juniores, uomini e donne, e gli sciatori della combinata nordica (sci cross-country più salto con gli sci) nonché i corridori di fondo seniores e juniores.

Sia nel gruppo degli sciatori che in quello dei corridori gli juniores presentavano una elevatissima $\dot{V}O_2$ max.

Nel gruppo degli sciatori l'elevata potenza aerobica degli juniores (rispetto a quella dei seniores) può essere in parte spiegata dal periodo in cui sono state eseguite le prove: i seniores sono stati esaminati 1-2 mesi dopo la stagione competitiva, mentre gli juniores proprio durante la fase intensissima del ciclo di allenamenti annuale, all'incirca tre mesi prima della stagione competitiva.

La più elevata percentuale del grasso corporeo (Tav. 1)

Tavola 1 - CARATTERISTICHE FISICHE DEGLI SCIATORI

Gruppo	N.	Età (mesi)	% grasso	% St (D)	VO ₂ lav. braccio (ml/kg BWxmin) ⁻¹	% ST (VL+GL) 2	VO ₂ corsa (ml/kg BWxmin) ⁻¹
<i>Uomini</i>							
Cross-country, uomini	10	287.6 ± 33.4	12.7 ± 1.7	72.7 ± 9.4	56.3 ± 3.8	69.3 ± 7.1	77.7 ± 4.1
Cross-country, ragazzi	11	230.6 ± 13.6	10.5 ± 1.8	75.6 ± 10.9	61.5 ± 5.2	66.6 ± 10.4 ¹	78.6 ± 4.7
Combinata nordica	5	289.6 ± 52.9	12.2 ± 1.7	70.6 ± 5.0	48.5 ± 1.9	69.2 ± 7.8	71.4 ± 3.2
<i>Donne</i>							
Cross-country, donne	4	253.3 ± 34.7	23.3 ± 3.6	72.3 ± 4.5	50.9 ± 2.5	58.8 ± 5.0	66.6 ± 1.9
Cross-country, ragazze	4	212.8 ± 10.9	21.1 ± 0.9	78.0 ± 4.5	56.3 ± 5.9	68.6 ± 6.4	70.1 ± 1.9

può anch'essa riflettere questa variazione stagionale e contribuisce direttamente a stabilire i valori medi della $\dot{V}O_2$ max. Il gruppo dei corridori è stato esaminato durante lo stesso periodo dopo la stagione competitiva.

Le attività SDH degli sciatori seniores nel muscolo gastrocnemius sono risultate superiori a quelle degli juniores (figura 11). Parimenti, per quanto riguarda i muscoli vastus lateralis e deltoideus, sia negli uomini che nelle donne, scia-

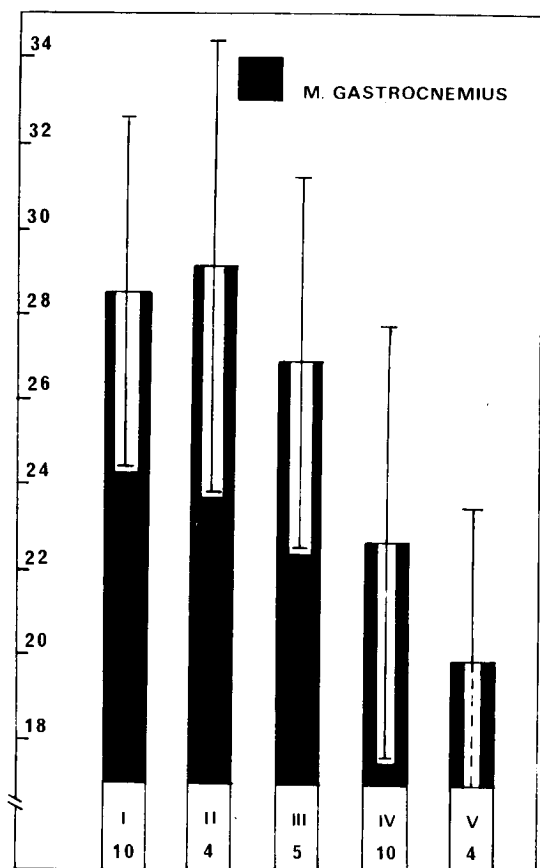


Fig. 11 - Attività SDH nei muscoli gastrocnemius degli sciatori. I gruppi sono i seguenti: I: sciatori del cross country, seniores; II: sciatrici del cross country, seniores; III: sciatori della combinata nordica, seniores; IV: sciatori del cross country, juniores; V: sciatrici del cross country, juniores (Media \pm S.D.).

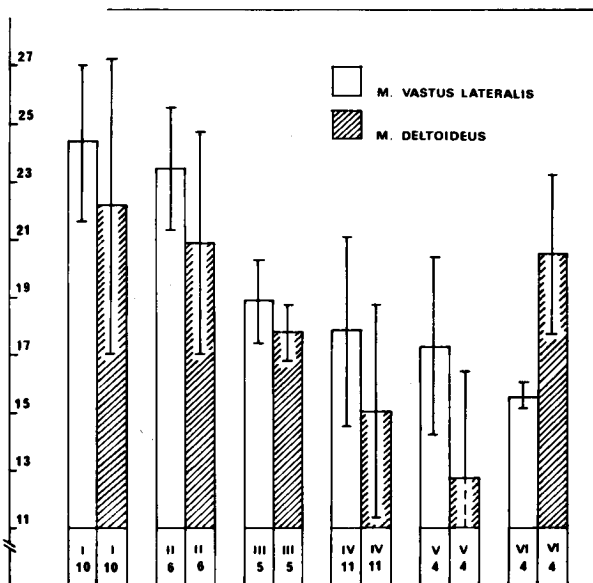


Fig. 12 - Attività SDH nei muscoli vastus lateralis e deltoideus negli stessi gruppi riportati alla Figura 11. Il Gruppo VI è costituito da rematori di canoa (Media \pm S.D.).

tori entrambi, le attività SDH erano più elevate rispetto a quelle degli sciatori uomini e juniores della combinata nordica (figura 12).

Gli juniores, nonostante la loro elevata $\dot{V}O_2$ max e un tipo di composizione delle fibre simile a quello dei seniores, presentavano generalmente una minore attività SDH nei muscoli (Vihko ed al. 1974a).

Risultati molto simili li abbiamo riscontrati nei corridori seniores e juniores del fondo (figura 13). (Vihko ed al. 1974b). Anche i corridori juniores del fondo presentavano una elevatissima $\dot{V}O_2$ max (Tav. 2) ed una capacità enzimatica aerobica relativamente scarsa (figura 13).

Tavola 2 - CARATTERISTICHE FISICHE DEI CORRIDORI

Gruppo	N.	Età (mesi)	% grasso	% St (VL)	$\dot{V}O_2$ (ml/kg x min ⁻¹)
Fondo					
Corridori Seniores	8	314.5 \pm 31.3	8.3 \pm 1.4	78.5 \pm 5.4	77.7 \pm 3.2
Juniores	12	229.3 \pm 16.2	9.4 \pm 1.8	62.8 \pm 9.0	71.4 \pm 2.7

¹ nove osservazioni.

Gli sciatori e le sciatrici seniores del cross-country presentavano una più marcata attività SDH nei muscoli vastus lateralis e deltoideus (figura 12) rispetto agli sciatori della combinata nordica.

Ai fini di un raffronto, alla figura 12 presentiamo le attività SDH nei muscoli vastus lateralis e deltoideus per quattro atleti nazionali del canottaggio, tra i nostri migliori

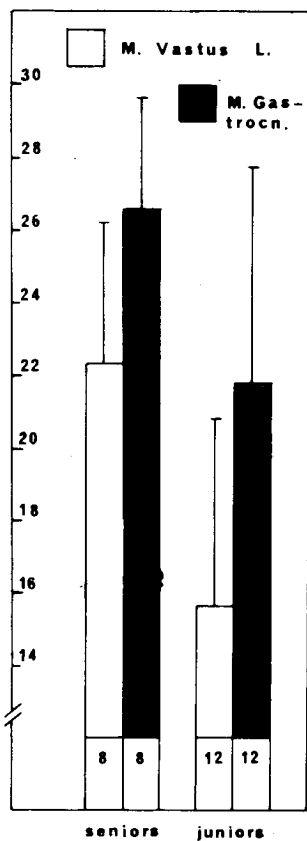


Fig. 13 - Attività SDH nei muscoli vastus lateralis e deltoideus dei corridori di fondo seniores e juniores. Notate la sorprendente somiglianza se li paragoniamo ai gruppi corrispondenti di sciatori del cross-country (Media \pm S.D.).

elementi. Contrariamente agli sciatori, gli atleti del canottaggio presentavano una maggiore attività SDH nel muscolo deltoideus, rispetto al vastus lateralis.

Possiamo concludere affermando che il livello dell'attività SDH nel muscolo ci sembra dipendere dagli effetti a lungo termine di un allenamento per il fondo e che questo adattamento avviene in modo specifico nei muscoli esercitati (Vihko ed al. 1974a).

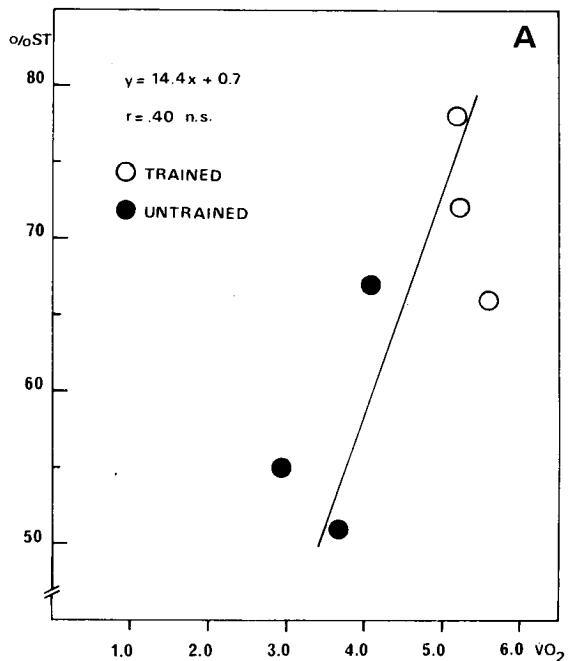


Fig. 14 - A: Correlazione tra $\dot{V}O_2$ massima e % ST.

Sembra che l'attività SDH nei muscoli degli juniores sia sufficiente per raggiungere un altissimo livello di massima captazione di ossigeno, il quale, in conformità con i risultati forniti al punto 3.1. e secondo le osservazioni generali, costituisce un fattore decisivo nelle prestazioni competitive del fondo.

3.3. Volume mitocondriale percentuale. Un esempio.

Abbiamo studiato l'utilità di questa variabile nella valutazione della forma fisica (aerobica), in un gruppo che presentava delle grosse variazioni nella massima $\dot{V}O_2$ 2.94-5.57 l/min. 44.5-78.0 ml/Kg. x min⁻¹).

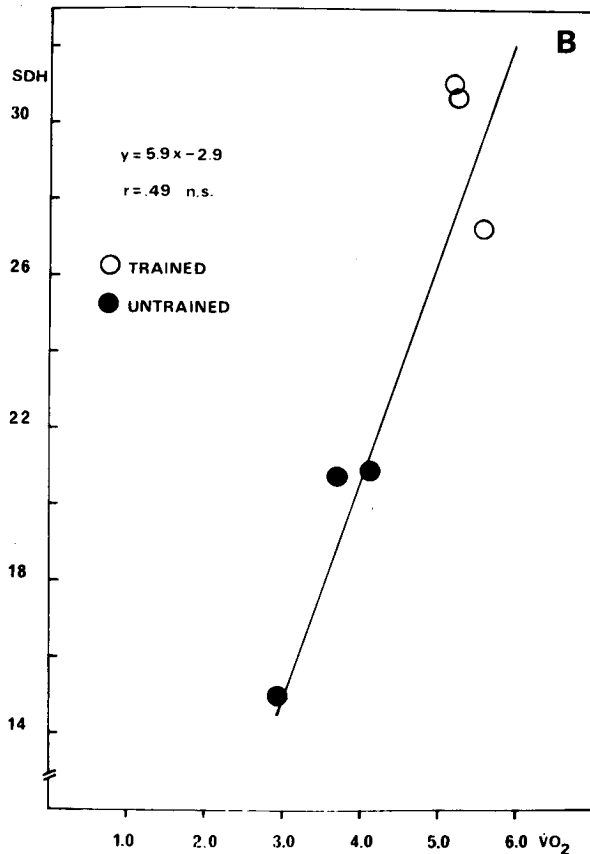


Fig. 14 - B: Correlazione tra $\dot{V}O_2$ massima ed SDH.

Tre di essi erano atleti di prima classe, mentre tre erano studenti universitari moderatamente attivi dal punto di vista fisico. Abbiamo stabilito la loro $\dot{V}O_2$ massima dopo 12 minuti di prova fino all'esaurimento su una bicicletta

munita di ergometro; quindi abbiamo prelevato dei campioni di muscolo dal vastus lateralis. Abbiamo così stabilito la percentuale di ST, l'attività SDH e la densità volumetrica mitocondriale.

La MVF è stata determinata dalle fibre « rosse » mediante microscopio elettronico, che corrispondono istochimicamente alla ATPasi negativa, e cioè alle fibre lente.

Alla figura 14 A-C abbiamo riportato il valore della percentuale ST, della attività SDH ed MVF nel valutare complessivamente la capacità aerobica del corpo.

Quando esaminiamo la correlazione tra percentuale ST e $\dot{V}O_2$ max, si può subito constatare che gli atleti del fondo presentano chiaramente dei valori di $\dot{V}O_2$ massima superiori (nella media, all'incirca il 40% più elevati, rispetto agli altri studenti) e che, in secondo luogo, le percentuali più elevate di ST si riscontravano nel gruppo degli atleti (figura 14-A).

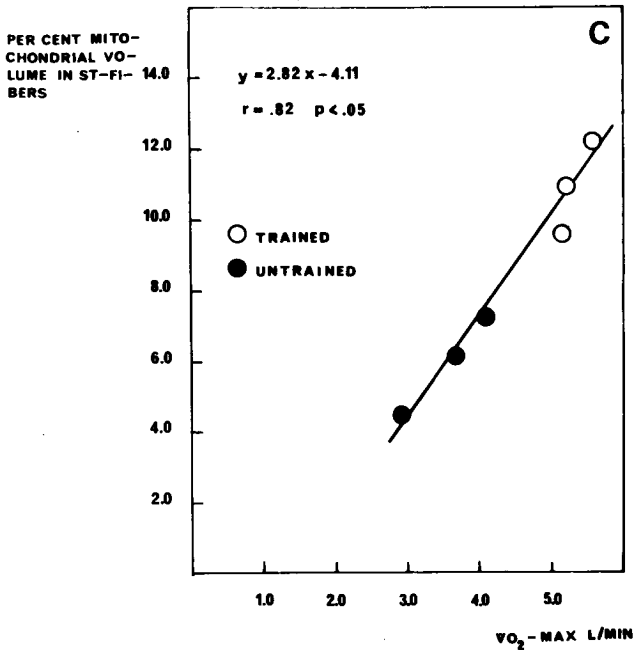


Fig. 14 - C: Correlazione tra $\dot{V}O_2$ massima ed MVF.
Per spiegazioni vedere il testo.

Questa correlazione ($r = .40$) non è statisticamente significativa. Quando valutiamo l'attività SDH con la $\dot{V}O_2$ massima (figura 14-B), si può vedere che nei confronti di entrambe le variabili, i gruppi formano popolazioni diverse e che la correlazione ($r = .49$) è un po' più forte di quella della figura 14-A.

Se correliamo ulteriormente la $\dot{V}O_2$ massima con la MVF nelle fibre lente (figura 14-C), possiamo dimostrare una correlazione lineare significativa ($r = .81, p < .05$).

Questa correlazione suggerisce che il volume mitocondriale nelle cellule muscolari può limitare la $\dot{V}O_2$ massima complessiva del corpo. D'altro canto, sappiamo che la capacità aerobica (misurata come attività SDH) dei muscoli degli sciatori juniores e dei corridori del fondo è sufficiente per raggiungere un livello di $\dot{V}O_2$ massima ben raffrontabile a quella dei seniores. Come spiegare questa osservazione?

Probabilmente, la capacità ossidativa del muscolo è più cospicua nel periodo del cosiddetto lavoro submassimale, rispetto a quello del lavoro massimale. Tuttavia, durante un carico massimale di dodici minuti, come in questo caso, senz'altro la maggior parte del lavoro viene svolta aerobicamente e la maggiore quantità di ossigeno viene con-

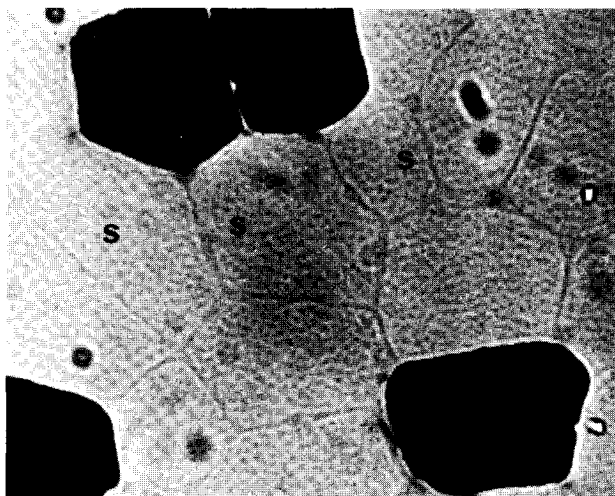


Fig. 15/A

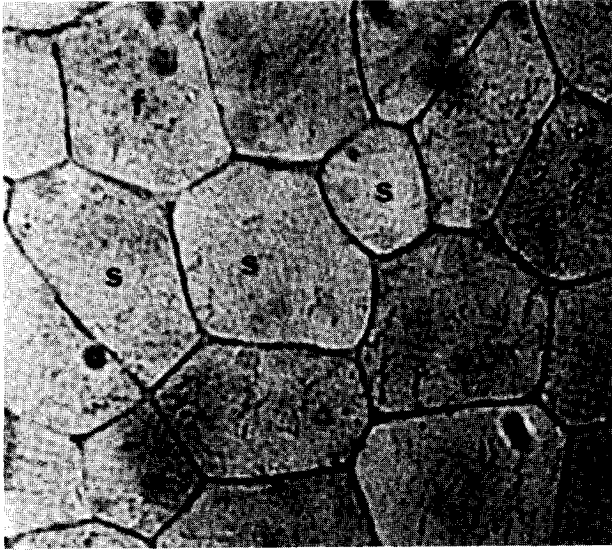


Fig. 15/B

sumata dai muscoli che eseguono il lavoro e particolarmente, come è evidente, nelle fibre ST.

Ciò ci è apparso evidente quando abbiamo studiato istochimicamente la struttura di esaurimento del glicogeno durante i 12 minuti della prova con ergometro (figura 15 A-D).

La figura 15-D vi mostra come il glicogeno nelle fibre ST, che presentano una abbondante attività NADH diaforasi (figura 15-C), viene abbondantemente usato durante il carico e ciò ci suggerisce inoltre direttamente che la maggior parte dell'ossigeno complessivamente utilizzato durante il carico viene consumato da queste fibre (Vihko ed al. 1973).

Non vi è alcuna differenza di consumo di ossigeno durante il lavoro submassimale tra il muscolo allenato e quello non allenato (ad es. Holloszy, 1973).

Il che vuol dire che durante un esercizio submassimale di una determinata intensità, allo stato di allenamento la captazione di ossigeno per mitocondrio è inferiore, rispetto allo stato di non allenamento.

Si può sostenere che durante un lavoro contro un carico che aumenta gradualmente, si recluta via via una maggiore capacità mitocondriale di consumare ossigeno fino a che,



Fig. 15 - Il modello di svuotamento del glicogeno in un atleta prima e dopo i dodici minuti di esercizio massimale su bicicletta con ergometro per muscolo vastus lateralis. *A* e *B*: campione a riposo, sezioni seriali criostatiche rispettivamente per colorazioni ATPasi e PAS (per glicogeno). La figura *A* mostra i tipi di fibre veloci (*f*) e lente (*s*) e la *B* la distribuzione relativamente uguale di glicogeno in entrambi i tipi di fibre; *C* e *D*: sezioni seriali criostatiche per NADH-diaforasi e glicogeno immediatamente dopo l'esercizio. Abbiamo identificato le fibre sulla base dell'attività miosina ATPasi, per vedere la loro appartenenza ad *f* o ad *s*. L'attività NADH diaforasi mostra la capacità aerobica relativa dei due tipi di fibre (*C*).



La Fig. 15 D mostra che il glicogeno, nelle fibre S, che presentano una cospicua attività NADH-diaforasi, viene abbondantemente usato durante il carico, il che ci suggerisce anche che la maggior parte dell'ossigeno complessivamente utilizzato durante il carico viene consumato in queste fibre.

al carico massimo, tutti i mitocondri consumano ossigeno in quantità massima.

Ci sembra dunque possibile che durante un carico come quello usato in questo esperimento, il valore di $\dot{V}O_2$ massima che abbiamo superato quasi direttamente riflette la capacità dei muscoli al lavoro (come il muscolo vastus lateralis, particolarmente durante il lavoro eseguito su bicicletta con ergometro), di utilizzare ossigeno e quindi le unità strutturali che consumano questo ossigeno possono effettivamente limitare la totale $\dot{V}O_2$ massima del corpo.

Se si valuta la potenza aerobica del muscolo sulla base delle attività enzimatiche, la eterogeneità del muscolo e gli adattamenti alle fibre veloci possono nascondere questa dipendenza della $\dot{V}O_2$ massima dalla potenza aerobica del muscolo.

4. CONCLUSIONI E DIRETTIVE PER IL FUTURO

Gli esperimenti ed i risultati sopra descritti erano soltanto degli esempi del nostro progetto di ricerca. Possiamo dunque chiederci qual è l'importanza di questi studi e i benefici degli stessi per gli atleti e per i loro allenatori.

Dobbiamo rispondere a questa domanda a diversi livelli. E' evidente che le cosiddette misurazioni fisiologiche ($\dot{V}O_2$ massima, prove di potenza aerobica, misurazione della tensione muscolare, ecc.) servono direttamente agli atleti e ai loro allenatori perché forniscono le esatte informazioni sulle condizioni dell'atleta in quel preciso momento.

Queste misurazioni, quando sono ripetute durante diverse fasi del ciclo annuale di allenamento, rapidamente forniscono le informazioni necessarie per valutare l'efficacia dell'allenamento. Inoltre, esse servono come dati di riferimento di base ai quali poter raffrontare i dati del livello muscolare.

Possiamo discutere su due piani le informazioni a livello della cellula muscolare. Anzitutto, vi è la questione della distribuzione delle fibre nei muscoli degli atleti.

Questa informazione è raffrontabile ai normali dati antropometrici (della struttura del corpo) del soggetto. Accumulando informazioni e risultati siamo giunti alla conclusione che la composizione delle fibre ha un ruolo centrale nello

spiegare come un certo atleta è più capace di un altro per una determinata prestazione.

E quindi evidentemente importantissimo conoscere la composizione delle fibre per poter scegliere il tipo di sport più adatto, soprattutto per gli atleti relativamente giovani.

Un altro punto da tener presente, a livello della cellula muscolare, è il valore dei dati enzimatici e quantitativi rilevati al microscopio elettronico. Queste variabili, e cioè la $\dot{V}O_2$ massima o la potenza anaerobica, hanno un valore simile come nelle misurazioni fisiologiche.

Ciò significa che possiamo usarle per misurare gli effetti dell'allenamento. Ovviamente, attualmente abbiamo molto meno dati a disposizione per eseguire dei raffronti precisi, tuttavia, raccogliendo questo tipo di informazioni dai principali atleti delle diverse discipline sportive possiamo anche trarre delle valide conclusioni.

In un individuo, gli effetti dell'allenamento a livello delle cellule muscolari possono naturalmente venire seguiti, ma siamo lungi dal poter sostenere l'esistenza di rapporti generali tra gli effetti selettivi dell'allenamento e le variabili delle cellule muscolari.

Possiamo trarre delle conclusioni rilevanti di causa ed effetto, dal punto di vista scientifico, soltanto variando sperimentalmente ad esempio i programmi di allenamento (intensità, tipo, durata, frequenza, ecc.) e misurando una vasta gamma di variabili muscolari in funzione della durata del programma.

Al presente stadio, delle nostre conoscenze, questo tipo di ricerca esige la soluzione dei processi basilari di adattamento nel muscolo scheletrico, in risposta al variare dei programmi di allenamento.

E' quindi estremamente importante proseguire con gli esperimenti sugli animali, proprio come sta facendo a Pavia il prof Gianni Benzi, per ottenere tutte quelle principali informazioni necessarie sui meccanismi che regolano questi adattamenti nell'organismo.

Tuttavia, ci auguriamo che il nostro programma di ricerca possa aiutare gli atleti ed i loro allenatori ad ottenere in futuro risultati sempre migliori.