

## L'ATTIVITA' ATLETICA NEI RAGAZZI

1. La modificazione di alcuni parametri fisiologici all'esercizio fisico nei ragazzi
2. Correlazioni fra parametri morfologici, biochimici e fisiologici
3. Comportamento degli organi preposti al trasporto e all'utilizzo dell'ossigeno
4. I meccanismi anaerobici della liberazione dell'energia nei ragazzi
5. Correlazioni generali

L'accrescimento e lo sviluppo delle capacità motorie dell'uomo coprono un periodo corrispondente a circa un terzo od un quarto della sua vita. Secondo Eriksson (1972) si può affermare che tale sviluppo interessa simultaneamente tutti gli organi ed i tessuti: pertanto l'attività fisica alla quale il bambino ed il ragazzo sono esposti provoca un adattamento continuo dei diversi organi. Attualmente non è quindi ancora possibile prevedere gli effetti che l'urbanizzazione ed una vita fisicamente meno faticosa produrranno sugli individui in fase di crescita. La mancanza di efficaci stimoli fisici prima dei vent'anni potrebbe in parte ostacolare sia lo sviluppo delle capacità fisiche degli individui, che le attività ad esse connesse. D'altra parte, secondo alcuni tecnici ed allenatori, i periodi di rapido accrescimento (come la pre-pubertà e la pubertà) vengono considerati i periodi migliori per sviluppare un alto livello di capacità fisica prestativa mediante l'esercizio e l'allenamento.

Se quindi pensiamo all'importanza dello sviluppo fisico e motorio, stupisce l'attuale scarsità delle conoscenze sull'adattamento degli individui in fase di crescita all'esercizio e all'allenamento fisico. I principali problemi da affrontare sono sia la risposta della compagine organismica dei ragazzi all'esercizio, che l'effetto di un periodo di allenamento sulla risposta all'esercizio stesso. Tali problemi non possono essere valutati avulsi dallo studio del trasporto dell'ossigeno dall'aria esterna alle fibrocellule muscolari che lo utilizzano. Risulta quindi necessario il rilievo della ventilazione, dello scambio di gas e dell'entità della circolazione durante l'esercizio submassimale e massimale, attuando nel contempo un paragone critico fra la struttura e l'attività enzimatica delle fibre dei muscoli scheletrici e l'apporto energetico durante l'esercizio. Analogamente sono indispensabili le notizie relative alle relazioni tra le dimensioni corporee e la capacità funzionale individuale dei ragazzi, ed il modo in cui l'allenamento modifica tali parametri.

Non possono ovviamente essere prese in esame le valutazioni di tipo soggettivo, in cui la risposta organismica all'esercizio od all'allenamento viene definita a mezzo di scale arbitrarie basate su un giudizio del ragazzo o del tecnico o del medico. Inoltre gli studi sono attuati su soggetti in evoluzione naturale le cui caratteristiche biofunzionali, come ad es. la capacità vitale (Fig. 1.1 e 1.2), incrementano spontaneamente in funzione dell'età.

## 1. La modificazione di alcuni parametri fisiologici all'esercizio fisico nei ragazzi

La reazione fisica dei ragazzi all'esercizio è stata oggetto di alcuni studi, in condizioni sia submassimali che massimali. Il primo a studiare dettagliatamente tali condizioni fu Robinson (1938) che misurò tra l'altro il massimo consumo di ossigeno ( $\dot{V}_{O_2 \text{ max}}$ ), la ventilazione massimale ( $\dot{V}_E \text{ max}$ ), la massima frequenza cardiaca (HR max) e la concentrazione ematica di lattato durante l'esercizio, in

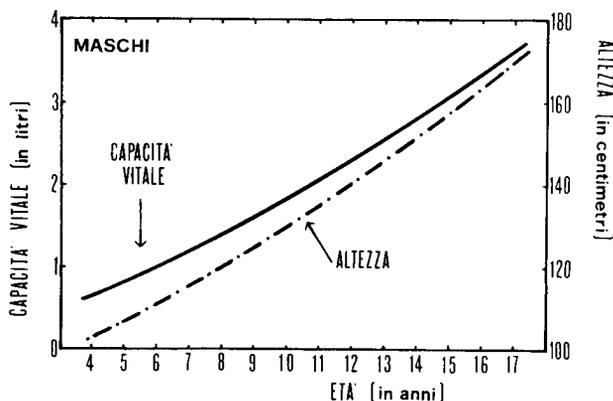


Figura 1.1

bambini e ragazzi di età diversa. Seguirono poi numerosi studi i cui risultati più significativi sono riportati nella Tabella 1.I. Secondo Eriksson (1972), uno dei più importanti tra questi lavori è quello di Åstrand (1952), poiché in esso venivano studiate sistematicamente le varie tappe dell'utilizzo dell'ossigeno, con i metodi

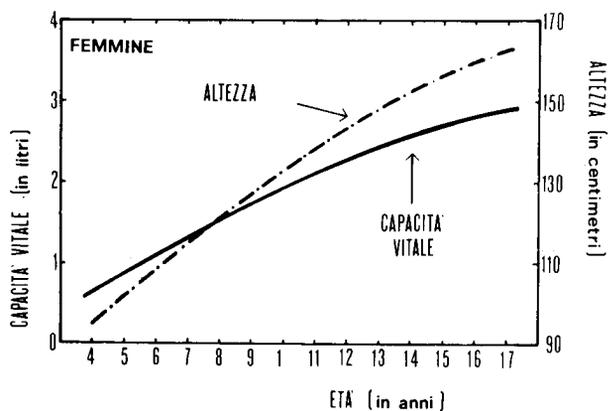


Figura 1.2

Tabella 1.1 - Massimo consumo di ossigeno ( $\dot{V}O_2$  max), frequenza cardiaca massima (Max HR) e concentrazione massima del lattato ematico durante esercizi massimali eseguiti da ragazzi tra i 10 e i 13 anni, in studi di diversi autori (secondo Eriksson, 1972). Tutti i dati sono espressi come valore medio del campione di popolazione esaminato dagli autori.

Ricercatori	Ragazzi	numero di soggetti	Età anni	Altezza cm (H)	Peso kg (W)	Tipo di esercizio	$\dot{V}O_2$ max (l/min)	$\frac{\dot{V}O_2 \text{ max}}{H^2}$	$\frac{\dot{V}O_2 \text{ max}}{W}$ ml/min/kg	Max HR	Massimo picco di lattato ematico (m moli/l)
Robinson (1938)	Normali	9	10,4	137,2	30,0	Tapis roulant	1,56	0,829	52,1	198	5,7
Robinson (1938)	Normali	9	14,1	167,7	55,8	Tapis roulant	2,63	0,958	47,1	196	6,8
Morse et al. (1949)	Normali	22	10-12	—	—	Tapis roulant	—	—	47,8	196	—
Astrand (1952)	Normali	13	10-11	145,4	36,5	Tapis roulant	2,04	0,965	56,1	211	9,2
Astrand (1952)	Normali	19	12-13	154,4	43,6	Tapis roulant	2,46	1,032	56,5	205	8,7
Sprynarova (1966)	Normali	114	10,9	144,5	37,1	Tapis roulant	1,77	0,848	48,0	196	—
Sprynarova (1966)	ed atleti	114	11,9	149,7	40,7	Tapis roulant	2,06	0,919	50,7	198	—
Sprynarova (1966)	ed atleti	114	12,9	155,1	44,8	Tapis roulant	2,25	0,935	50,4	197	—
Saltin-Thorén (1968)	ed atleti	6	12,8	150,0	39,3	Tapis roulant	2,12	0,942	55	200	7,3
Ikai (1971)	Normali	8	10-11	—	—	Tapis roulant	1,41	—	54,4	—	—
Eklblom (1969)	Normali	7	11,3	151,0	40,4	Tapis roulant	2,01	0,882	49,9	198	8,3
Eklblom (1969)	controlli	6	11,4	149,3	40,3	Tapis roulant	2,15	0,965	53,9	204	8,7
Eklblom (1969)	Normali	6	11,4	149,3	40,3	Tapis roulant	2,15	0,965	53,9	204	8,7
Shephard et al. (1969)	allenati	10	11	146,1	38,1	Tapis roulant	1,84	0,862	48,3	193	8,1
Shephard et al. (1969)	Normali	15	12-13	148,2	38,9	Tapis roulant	1,78	0,810	45,8	—	—
Hermansen-Oseid (1971)	Normali	20	11,5	—	39,9	Tapis roulant	2,17	—	54,7	203	—
Hollman et al. (1965)	Normali	55	12-13	—	—	Cicloergometro	1,81	—	45	198	—
Kramer-Lurie (1964)	Normali	—	—	149,9	42,2	Cicloergometro	1,97	0,877	45,8	195	—
Rodahl et al. (1961)	Normali	9	10	140,8	35,8	Cicloergometro	1,13	0,570	31,6	—	—
Rodahl et al. (1961)	Normali	14	12	152,3	44,8	Cicloergometro	1,43	0,617	31,9	—	—
Thorén (1967)	Normali	12	11,7	146,1	35,6	Cicloergometro	1,59	0,745	44,8	199	7,4
Saltin-Thorén (1968)	Normali	6	12,8	150,0	39,3	Cicloergometro	2,00	0,889	52	193	8,4
Labitzke (1970)	Atleti	21	11,1	148,6	38,2	Cicloergometro	2,40	1,087	62,7	200	—
Bar-Or et al. (1971)	Normali	27	11,6	145,1	39,0	Cicloergometro	1,79	0,850	45,9	195	—
Seliger et al. (1971)	Normali	303	11,8	148,5	38,9	Cicloergometro	1,69	0,766	44,2	195	—
Seliger et al. (1971)	Atleti	36	11,8	147,0	37,6	Cicloergometro	1,69	0,782	45,5	194	—
Bagley-Cumming (1972)	Normali	16	11,0	146,8	36,9	Cicloergometro	1,66	0,770	45,1	—	—
Eriksson et al. (1972)	Normali	12	11,8	151,0	44,5	Cicloergometro	1,86	0,816	42,2	198	8,0
Eriksson et al. (1972)	prima dell'al- lenamento	5	11,2	145,7	36,7	Cicloergometro	1,93	0,907	52,7	204	9,4
Eriksson et al. (1972)	Normali	5	11,2	145,7	36,7	Cicloergometro	1,93	0,907	52,7	204	9,4
Eriksson et al. (1972)	prima dell'al- lenamento	16	11,3	143,8	37,6	Cicloergometro	1,84	0,885	49,3	200	8,6
Eriksson et al. (1972)	Normali	16	11,3	143,8	37,6	Cicloergometro	1,84	0,885	49,3	200	8,6

allora disponibili. Di tutti gli studi che riguardano la funzione cardio-polmonare durante l'esercizio nei ragazzi, uno solo prende in considerazione la determinazione diretta della gettata cardiaca (Eriksson, Grimby e Saltin, 1971), e solamente un altro studia il metabolismo muscolare durante l'esercizio (Eriksson, Karlsson e Saltin, 1971): questi due lavori dimostrano che esistono nette differenze tra i bambini e gli adulti.

Per quanto riguarda la reazione fisica dei ragazzi all'allenamento, Robinson e Harmon (1941) e Knehr et al. (1942) pubblicarono i primi dati sull'argomento. In alcuni studi compiuti nel decennio scorso (Rowell, 1962; Saltin et al., 1968; Ekblom et al., 1968; Saltin et al., 1969; Kilbom e Åstrand, 1971) si è osservato un aumento nella capacità aerobica massimale. Tuttavia, tale aumento variava nei singoli casi dall'1-2% al 100%, con un valore medio del 15-20%. Le differenze riscontrate potrebbero essere dovute almeno in parte a fattori genetici, ma è stato anche dimostrato che un fattore significativo è rappresentato dalle condizioni individuali dei soggetti all'inizio dell'allenamento (Saltin et al., 1969).

Numerosi autori hanno studiato l'effetto dell'allenamento sulla capacità anaerobica (Hermansen, 1969; Karlsson, 1971; Karlsson et al., 1972); tuttavia i dati riguardanti i ragazzi sono meno numerosi. Sprynarova (1966) ha studiato 114 ragazzi di 11 anni che erano stati suddivisi in tre gruppi, sulla base della loro attività precedente (ragazzi iscritti a clubs di atletica; ragazzi iscritti a clubs di pallacanestro; ragazzi che non praticavano alcuno sport). I ragazzi sono stati studiati per tre anni, e ogni anno in ciascuno di essi veniva misurato il potere anaerobico ed aerobico massimale. Non fu possibile dimostrare alcuna differenza tra i tre gruppi al termine dei tre anni di studio; questa ricerca ha tuttavia un significato estremamente limitato dato che, per ragioni pratiche, non fu possibile controllare la frequenza e l'intensità dell'allenamento nei due gruppi attivi, né fu possibile stabilire se i ragazzi del gruppo « inattivo » erano stati esposti a qualche forma di allenamento non organizzato. Tuttavia studi simili sono stati eseguiti anche in Israele (Bar-Or e Zwiren, 1972) e nella Germania Occidentale (Mocellin e Wasmund, 1972), con risultati analoghi. Va però rilevato che la frequenza dell'allenamento in questi due ultimi studi è inferiore a quella di studi corrispondenti eseguiti con soggetti adulti; e ciò potrebbe spiegare perché non è stato riscontrato alcun aumento nel  $\dot{V}_{O_2}$  max. Ekblom (1969) ha studiato ragazzi di 11 anni valutandoli prima, dopo 6 e dopo 32 mesi di allenamento; è così riuscito a evidenziare un aumento rispettivamente del 6% e del 25% nel  $\dot{V}_{O_2}$  in funzione del quadrato dell'altezza, come indicato nella Tabella 1.II; l'aumento non è stato riscontrato nel gruppo di controllo. Daniels e Oldridge (1971) hanno studiato ragazzi per un periodo di 22 mesi di allenamento, con un programma di corsa su media distanza. Pur non essendo stato possibile un controllo quantitativo dell'allenamento, lo studio ha evidenziato che i ragazzi non mostrarono alcun aumento nel  $\dot{V}_{O_2}$  max per Kg di peso, ma si osservò un aumento del 5% nel  $\dot{V}_{O_2}$  max per il quadrato dell'altezza (Tabella 1.II). L'ipotesi di Ekblom (1969) che un allenamento razionale durante l'adolescenza produrrebbe i migliori risultati è contraddetta da altri studi, dai quali

*Tabella 1.II* - Consumo massimo di ossigeno prima (A), dopo 6 (B6), dopo 22 (B22) e dopo 32 (B32) mesi di allenamento in ragazzi di 11 anni (Ekblom, 1969) e in ragazzi tra i 10 e 15 anni (Daniels e Oldridge, 1971). I dati sono espressi anche in funzione del peso (in kg) o dell'altezza (in m).

Ricercatore	Gruppo di ragazzi	Consumo massimo di ossigeno		
		l/min	ml/kg/min	l/min/m <sup>2</sup>
Ekblom (1969)	A	2,15	53,9	0,965
	B6	2,48	59,4	1,055
	B32	3,45	58,1	1,205
Daniels e Oldridge (1971)	A	2,33	59,5	1,043
	B22	2,84	58,3	1,110

risulta che in questa età l'allenamento non aumenta il potere aerobico massimale oltre i limiti del normale aumento connesso con l'accrescimento. Tuttavia, è difficile fare paragoni diretti tra i vari studi, poiché l'allenamento considerato era diverso nei diversi casi; inoltre, la inconclusiva discrepanza dei dati relativi ad un singolo parametro evidenzia la necessità di fare riferimento a valutazioni comparative nelle quali vengano esaminati contemporaneamente più parametri morfologici, biochimici e fisiologici.

## 2. Correlazioni fra parametri morfologici, biochimici e fisiologici

In questo settore di ricerca ci sembra estremamente accurato uno studio compiuto da Eriksson (1972) su alcuni ragazzi di undici anni, allievi di classi parallele (5<sup>a</sup> elementare e scuola media inferiore); sono stati eseguiti almeno due carichi di lavoro massimali in giorni diversi, sia prima che dopo l'esperienza. Poiché la maggior parte dei ragazzi ha partecipato sia alla prova di gettata cardiaca che a quella che implica una biopsia muscolare (prove durante le quali venivano eseguiti esercizi massimali) si è proceduto ad un controllo supplementare per assicurarsi che fosse stato raggiunto il valore massimale del consumo di O<sub>2</sub>. Le prove sono state eseguite con ergometro a bicicletta sul quale i ragazzi stavano seduti; i ossigeno ( $\dot{V}_{O_2}$  max), la ventilazione massimale ( $\dot{V}_E$  max), la massima frequenza a quale carico di lavoro di allenamento sono stati sottoposti i ragazzi, distinguiamo due serie di tipi di lavoro attuati da Eriksson et al. (1972) all'aperto (Serie I) od in laboratorio (Serie II).

I ragazzi della Serie I si sono allenati tre volte alla settimana, per più di una ora ogni volta, per 16 settimane; l'allenamento iniziava sempre con qualche minuto di riscaldamento seguito da circa 30 min di corsa, generalmente all'aperto. La corsa consisteva in periodi di lavoro di 3-5 min, intervallati da alcuni minuti di riposo: la velocità di corsa era vicina alla velocità massima che essi erano in grado di mantenere su quella determinata distanza; inoltre, i ragazzi dovevano eseguire sprints per brevi periodi. In altri casi, la corsa era ininterrotta, vale a dire non intervallata dal riposo. In ogni caso, al termine della sessione di allenamento, i ragazzi giocavano

al pallone o a pallacanestro per 20-30 min. In media, i ragazzi hanno frequentato 29 delle 34 sessioni di allenamento; l'intensità di allenamento veniva valutata arbitrariamente dagli allenatori in base a una scala dallo 0 al 5 (dove 5 rappresentava l'intensità massima): il valore medio dell'intensità era 3,4. Oltre a questo allenamento, tutti i ragazzi hanno partecipato a una settimana di allenamento in montagna; durante tale settimana l'allenamento era più intensivo e consisteva soprattutto nella pratica di sci di fondo, cui si aggiungevano discese con gli sci e nuoto: i ragazzi si allenavano per un totale di 3-4 ore al giorno. Venivano prelevati campioni di sangue allo scopo di determinare la concentrazione di lattato operando nel contempo una monitorizzazione della frequenza cardiaca: entrambi questi esami indicarono che l'intensità raggiunta durante l'allenamento variava tra il 70% e l'80% del  $\dot{V}O_2$  max.

I ragazzi della Serie II della ricerca di Eriksson et al. (1972) si sono allenati su un ergometro a bicicletta, tre volte alla settimana per 6 settimane: l'attività fisica consisteva in esercizio continuo per un carico di lavoro scelto in modo da corrispondere almeno al 70% del  $\dot{V}O_2$  max dei ragazzi. L'esercizio aveva una durata compresa tra 20 e 50 min (media circa 25 min); in media, i ragazzi hanno partecipato a circa 15 delle 18 sessioni di allenamento. Molti dei risultati riportati più avanti fanno riferimento al carico delle Serie I e II qui sopra indicate.

Per quanto riguarda la composizione delle fibre e l'attività enzimatica nei muscoli scheletrici, l'allenamento non ha mostrato alcuna chiara modificazione nella distribuzione relativa dei due tipi di fibre (Tabella 2.I). Tuttavia, il potenziale ossidativo di entrambi risulta aumentato, quando viene valutato sulla base della colorazione per la DPNH-diaforasi. Le fibre a contrazione lenta sono risultate più dotate di capacità ossidativa di quelle a contrazione rapida, sia prima che dopo

Tabella 2.I - Valore medio ( $\pm$  errore standard) della succinico deidrogenasi (SDH), della fosfofruttocinasi (PFK) e della composizione percentuale delle fibre muscolari (ST = fibre a contrazione lenta) in ragazzi di 11 anni prima (B), dopo 2 (A2) e dopo 6 (A6) settimane di allenamento (Eriksson, 1972). La tabella riporta anche i valori relativi sia a ragazzi di età compresa tra 12,6 e 15,5 anni (Eriksson, Gollnick e Saltin, 1974), sia ad adulti allenati e non allenati e ad atleti di grande valore internazionale (Gollnick et al., 1972). H = altezza in metri.

Soggetti	Età anni	SDH	PFK	ST %	$\dot{V}O_2$ max/H <sup>2</sup> (l/min/m <sup>2</sup> )
		$\mu\text{moli/g/min}$			
Ragazzi B	11,2	5,4 $\pm$ 0,4	8,4 $\pm$ 2,6	—	0,909
Ragazzi A2	11,2	5,8 $\pm$ 0,6	12,5 $\pm$ 1,1	54,8 $\pm$ 3,4	0,932
Ragazzi A6	11,3	7,0 $\pm$ 0,4	15,4 $\pm$ 1,6	48,9 $\pm$ 3,4	0,960
Ragazzi normali	12,6	4,7 $\pm$ 0,5	—	65,0 $\pm$ 4,4	0,977
Ragazzi normali	15,5	5,8 $\pm$ 0,5	—	55,1 $\pm$ 7,1	1,091
Uomini non all.	24-30	3,6 $\pm$ 0,4	25,3 $\pm$ 2,1	36,1 $\pm$ 5,0	1,024
Uomini non all.	31-52	4,4 $\pm$ 0,3	25,2 $\pm$ 1,9	43,9 $\pm$ 4,8	0,988
Uomini allenati	17-30	6,0 $\pm$ 0,3	19,9 $\pm$ 3,6	52,3 $\pm$ 6,8	1,225
Ciclisti	18-23	11,0 $\pm$ 1,0	23,9 $\pm$ 1,4	61,4 $\pm$ 5,9	1,529
Canoisti	25-27	5,8 $\pm$ 0,9	22,2 $\pm$ 4,7	61,4 $\pm$ 6,2	1,283
Nuotatori	18-23	7,6 $\pm$ 0,5	22,7 $\pm$ 0,4	57,7 $\pm$ 9,3	1,695
Fondisti di atletica	19-23	6,4 $\pm$ 0,5	20,1 $\pm$ 2,5	58,9 $\pm$ 3,7	1,553

l'allenamento. L'attività della succinico deidrogenasi (SDH) in condizioni di riposo era 5,4  $\mu\text{moli/g/min}$  prima dell'allenamento; un aumento del 7% e del 30% è stato osservato rispettivamente dopo due e dopo sei settimane di allenamento. L'attività della fosfofruttocinasi (PFK) era di 8,4  $\mu\text{moli/g/min}$  prima dell'allenamento: dopo due e sei settimane di allenamento, è stato osservato un aumento di circa il 50% e dell'80% rispettivamente, mentre il contenuto in RNA è rimasto sempre invariato. Il  $\dot{V}_{O_2}$  max è aumentato rispettivamente del 2% e del 6% dopo due e sei settimane di allenamento.

Nel complesso i ragazzi hanno mostrato una grande variabilità nella composizione delle fibre muscolari, il che è in accordo con quanto riscontrato negli adulti (Gollnick et al., 1972). Tuttavia, il valore medio per le fibre ST è più alto nel gruppo di ragazzi allenati rispetto agli adulti sedentari; tale dato è stato riscontrato anche in ragazzi non allenati di età compresa tra 12,6 e 15,5 anni (Eriksson, Gollnick e Saltin, 1974) come indicato nella Tabella 2.I. E' importante sottolineare che l'attività PFK risulta naturalmente bassa in confronto a quella degli adulti, rappresentando il 40% di quella degli adulti prima dell'allenamento, ed aumentando al 70-75% dopo l'allenamento. Poiché la PFK è considerata un importante fattore limitante biochimico della glicolisi (Danforth e Lyon, 1964), ciò potrebbe spiegare la bassa capacità anaerobica dei ragazzi (Åstrand, 1952; Eriksson et al., 1971).

Per quanto riguarda il consumo di ossigeno durante il lavoro submassimale (Koch et al., 1972; Eriksson et al., 1972), i ragazzi di 11-13 anni hanno presentato un aumento nel consumo di ossigeno in rapporto lineare con l'aumento del carico di lavoro; tuttavia, i valori assoluti per il consumo di ossigeno ai diversi carichi di lavoro sono stati inferiori di 0,1-0,2 l/min rispetto ai valori determinati negli adulti (Åstrand, 1960). Ciò può essere spiegato in parte dal fatto che i ragazzi consumano meno ossigeno già in condizioni di riposo. Per quanto riguarda la massima capacità aerobica (von Döbeln et al., 1972; Eriksson et al., 1972), i bambini ed i ragazzi dai 9 ai 13 anni hanno un valore medio di base di  $\dot{V}_{O_2}$  max pari a 1,8-1,9 l/min. Dopo 16 settimane di allenamento il  $\dot{V}_{O_2}$  max è aumentato del 15-20%. Tale effetto dell'allenamento è lievemente maggiore del valore riscontrato negli studi eseguiti su adulti; tuttavia, tale dato va corretto per l'effetto dell'accrescimento, in quanto i ragazzi erano in fase di crescita durante il periodo compreso tra gli esami di controllo e quelli di fine allenamento. Di conseguenza, l'aumento nel  $\dot{V}_{O_2}$  max si riduce al 14% se il  $\dot{V}_{O_2}$  max è espresso in funzione dell'altezza al quadrato, e al 16% se esso è espresso per kg di peso corporeo: questi valori concordano con quelli osservati negli adulti. Nello studio di Ekblom (1969) su ragazzi di 11 anni, dopo 6 mesi di allenamento è stato riscontrato un aumento del 6% nel  $\dot{V}_{O_2}$  max espresso in funzione del quadrato dell'altezza, e del 10% espresso per kg di peso; tuttavia i ragazzi studiati da Ekblom presentavano valori iniziali di  $\dot{V}_{O_2}$  max già elevati, il che potrebbe almeno in parte spiegare il minor incremento dopo sei mesi di allenamento.

Per quanto riguarda l'adattamento degli apparati respiratorio e circolatorio all'esercizio (Koch et al., 1972; Eriksson, 1972), si è osservato un aumento lineare

del volume espiratorio per unità di tempo per carichi di lavoro submassimali; in condizioni di base, il volume d'aria espirata per minuto ( $\dot{V}_E$ , indice della ventilazione polmonare, essendo la quantità di aria che esce dall'apparato respiratorio in un minuto) è di 7 l/min ed aumenta molto più del  $\dot{V}_{O_2}$  durante il lavoro massimale, indicando così che è aumentato il coefficiente di ventilazione  $\dot{V}_E/\dot{V}_{O_2}$ . Lo stesso fenomeno, ma più evidente, si è verificato dopo l'allenamento quando il coefficiente di ventilazione ( $\dot{V}_E/\dot{V}_{O_2}$ ) è aumentato circa del 20% mentre il  $\dot{V}_E$  max aumenta del 50%. Nell'esercizio massimale, il volume corrente o « tidal volume » ( $V_T$  = volume di gas respiratorio che entra per ogni atto respiratorio normale) è risultato essere il 40% della capacità vitale ( $V_C$  = volume corrente + volume di riserva espiratoria [o aria supplementare] + volume di riserva inspiratoria [o aria complementare]) prima dell'allenamento, ed il 50% dopo l'allenamento, con un aumento del 30% nel coefficiente  $V_T/V_C$ . La componente di maggior rilievo ai fini dell'efficienza della respirazione, ossia la ventilazione alveolare ( $\dot{V}_A$  = quantità di aria alveolare che viene rinnovata in un minuto) aumenta dai 4-5 l/min, in condizioni di riposo, a circa 50 l/min durante l'esercizio massimale; dopo l'allenamento la ventilazione alveolare sale a 60 l/min. Di conseguenza, dopo l'allenamento il rapporto  $\dot{V}_A/\dot{V}_{O_2}$  durante l'esercizio massimale rimane invariato dato che aumentano proporzionalmente sia il  $\dot{V}_A$  che il  $\dot{V}_{O_2}$ . Tuttavia, la ventilazione nello spazio morto ( $V_D$  = volume di aria che non modifica la propria composizione durante l'atto respiratorio) aumenta durante l'esercizio massimale, ed il coefficiente  $V_D/V_T$  passa dall'8-10% al 18-20%. Si deve rilevare che tale coefficiente è tanto più favorevole quanto più è basso, ossia quanto minore è il volume dello spazio morto funzionale in rapporto al volume corrente o profondità di respiro.

Ricordiamo che la capacità vitale si può misurare con lo spirometro che è una campana idro-pneumatica in cui l'aria espirata viene raccolta e misurata volumetricamente. Il volume totale dell'apparato respiratorio può essere invece calcolato con il metodo della diluizione di un gas ben dosabile (elio, idrogeno, ecc.) facendo respirare in un sistema chiuso al soggetto ossigeno addizionato di una quantità nota del gas; allorché questo si è omogeneamente distribuito nell'aria contenuta nell'apparato respiratorio, si può ricavare il volume in cui è diluito dal rilievo della sua concentrazione. La differenza fra il volume totale (volume corrente + volume di riserva inspiratoria + volume di riserva espiratoria + volume residuo) e la capacità vitale consente la misura indiretta del volume residuo, ossia dell'aria che rimane nei polmoni dopo una espirazione forzata.

E' noto che il volume di  $O_2$  che diffonde dall'alveolo ai globuli rossi dipende dalla differenza fra la pressione parziale di  $O_2$  nell'alveolo ( $P^a_{O_2}$ ) e la pressione parziale media di  $O_2$  nel capillare ( $P^c_{O_2}$ ). Ora la  $P^a_{O_2} - P^c_{O_2}$  è risultata (Koch et al., 1972) di circa 45 mm Hg sia prima che dopo l'allenamento, mentre il gradiente di tensione fra l' $O_2$  alveolare e quello arterioso ( $P^a_{O_2} - P^a_{O_2}$ ) era circa di 5-6 mm Hg in condizioni di riposo e aumentava fino a circa 20 mm Hg durante l'esercizio massimale sia prima che dopo il periodo di allenamento. La pressione par-

ziale dell'ossigeno arterioso ( $\text{PaO}_2$ ) diminuisce da 100 mm Hg, in condizioni di riposo, a 95 mmHg durante l'esercizio massimale: valori simili sono stati ottenuti dopo il periodo di allenamento; la saturazione di ossigeno del sangue arterioso,  $\text{SaO}_2$ , è di conseguenza anch'essa invariata. In condizioni di riposo, i ragazzi utilizzano circa il 30% della capacità del sangue per l'ossigeno, in confronto all'80% durante l'esercizio massimale. Un livello così alto di utilizzazione è stato osservato solo nelle donne (Åstrand et al., 1964), nelle quali la concentrazione di Hb è paragonabile a quella trovata nei ragazzi esaminati; d'altra parte, durante l'esercizio massimale gli adulti maschi utilizzano circa il 70-75% delle capacità del sangue per l'ossigeno.

Un parametro molto interessante da valutare è la gittata o portata cardiaca che esprime la quantità di sangue che viene espulsa dal ventricolo cardiaco (sinistro o destro) in un minuto. La gittata cardiaca è uguale al prodotto della gittata sistolica (in ml) per la frequenza cardiaca (battiti/min). In condizioni di riposo, per una gittata sistolica di 70 ml ed una frequenza di 72 pulsazioni/min, si ha quindi una gittata cardiaca di 5 l/m. La gittata sistolica e la frequenza possono aumentare durante l'esercizio fisico di un massimo di tre volte.

Nei ragazzi a riposo, la gittata cardiaca è di circa 5 l/min, ed aumenta a 10 l/min per un esercizio fisico che comporti un consumo di ossigeno di 1,1 l/min; durante l'esercizio massimale, la gittata cardiaca raggiunge il valore di 12,5 l/min prima del periodo dell'allenamento, e di 14,5 l/min dopo il periodo di allenamento. In condizioni di riposo e durante il lavoro submassimale non è stata riscontrata alcuna differenza tra i valori di gittata cardiaca prima e dopo l'allenamento: di conseguenza l'ossigeno trasportato dalle arterie durante l'esercizio massimale è aumentato da 2,1 a 2,6 l/min, in confronto a un aumento di 0,4 l/min per il  $\dot{V}_{\text{O}_2 \text{ max}}$ .

In pratica, la misura della gittata cardiaca si può eseguire con vari metodi per lo più basati sul principio di Fick per il quale, qualora in un organo una sostanza passi dal sangue all'ambiente, il flusso di sangue dell'organo può essere desunto calcolando: (1) la quantità di sostanza ceduta dal sangue nel passaggio nell'organo, in un tempo determinato; (2) la differenza di concentrazione della sostanza tra il sangue afferente ed efferente. Utilizzando come sostanza spia l' $\text{O}_2$ , la valutazione della gittata cardiaca richiede di conoscere: (1) il consumo di  $\text{O}_2$  ( $\dot{V}_{\text{O}_2}$ ); (2) il contenuto % di  $\text{O}_2$  nel sangue venoso proveniente dal ventricolo destro o dall'arteria polmonare; (3) il contenuto % di  $\text{O}_2$  nel sangue arterioso. In tal caso, per differenza, dalla (3) e dalla (2) si ricava la differenza artero-venosa di  $\text{O}_2$ :  $\Delta(\text{A-V})\text{O}_2$ . La gittata cardiaca (ml/min) si esprime come:

$$\frac{\dot{V}_{\text{O}_2}}{\Delta(\text{A-V})\text{O}_2} \times 100$$

Per esempio, per una  $\dot{V}_{\text{O}_2} = 220$  ml/min ed una  $\Delta(\text{A-V})\text{O}_2 = 20 - 15 = 5$  ml %, si ha una gittata cardiaca di 4400 ml/min.

Nei ragazzi la differenza artero-venosa dell'O<sub>2</sub> aumenta dai 4-5 ml/100 ml della condizione di riposo sino ad oltre 14 ml/100 ml durante l'esercizio massimale; dopo l'allenamento tali valori sono rimasti immutati, sia in condizioni di riposo che durante l'esercizio. Di conseguenza, la massima differenza artero-venosa dell'ossigeno non contribuisce all'aumento del  $\dot{V}_{O_2}$  max. Tale aumento è perciò dovuto totalmente all'aumento nel massimo trasporto dell'ossigeno. Il ritmo cardiaco mostra un aumento lineare con l'aumento del consumo di O<sub>2</sub> nella fase di passaggio dal riposo all'esercizio; un aumento simile si osserva anche dopo l'allenamento, ma la frequenza è inferiore di 10-15 battiti/min, come indicato in Fig. 2.1. Al contrario, durante l'esercizio massimale, il ritmo cardiaco è inferiore solo di pochissimi battiti/min. La gittata pulsatoria cardiaca è influenzata dall'allenamento nel senso che si incrementano i valori fisiologici naturali, a parità di consumo di O<sub>2</sub>, come chiaramente evidenziato nella Fig. 2.2.

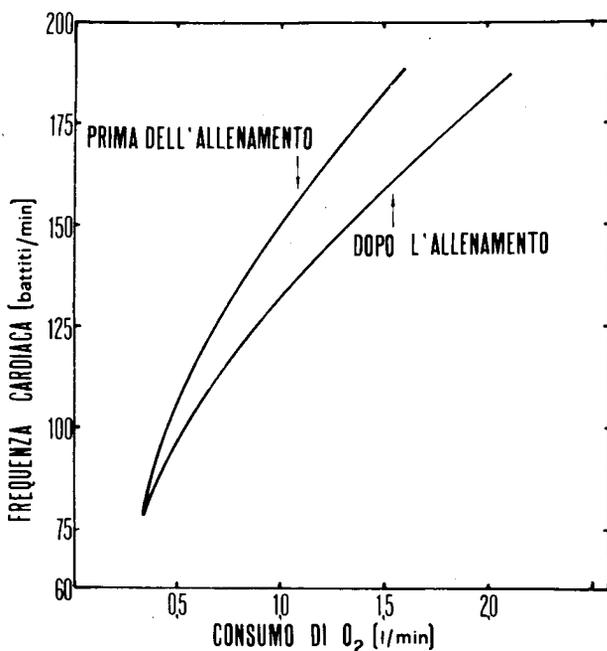


Figura 2.1

Nel complesso si può osservare che la ventilazione totale negli adulti aumenta con l'aumentare del carico di lavoro (Åstrand, 1952; Grimby, 1969; Bjure et al., 1971): conseguentemente, il coefficiente  $\dot{V}_E/\dot{V}_{O_2}$  rimane relativamente costante, attorno a 25, durante l'esercizio; tuttavia, il  $\dot{V}_E$  aumenta più del  $\dot{V}_{O_2}$  quanto più il carico di lavoro si avvicina al livello massimale. Nei ragazzi, il  $\dot{V}_E$  ha mostrato un comportamento simile a quello osservato negli adulti, mentre il rapporto  $\dot{V}_E/\dot{V}_{O_2}$  era realmente inferiore, sia nell'esercizio submassimale che in quello massimale. Negli adulti, i valori di  $\dot{V}_E$  più elevati vengono osservati con i carichi di lavoro

massimale. Il basso rapporto  $\dot{V}_E/\dot{V}_{O_2}$  nei ragazzi impegnati in esercizi massimali potrebbe essere dovuto alla loro minore capacità anaerobica, e conseguentemente al relativamente più basso carico di lavoro che essi sono in grado di sopportare. Il quoziente  $\dot{V}_A/\dot{V}_{O_2}$  è leggermente inferiore nei ragazzi rispetto agli adulti durante l'esercizio submassimale, mentre aumenta ad un livello paragonabile a quello degli adulti durante l'esercizio massimale. I valori di  $(P_{O_2}^a - PaO_2)$  sono risultati inferiori sia in condizioni di riposo che durante il lavoro submassimale, ma sono aumentati fino al livello riscontrato negli adulti durante l'esercizio massimale; d'altra parte, i valori di  $SaO_2$  e  $PaO_2$  sono paragonabili a quelli degli adulti.

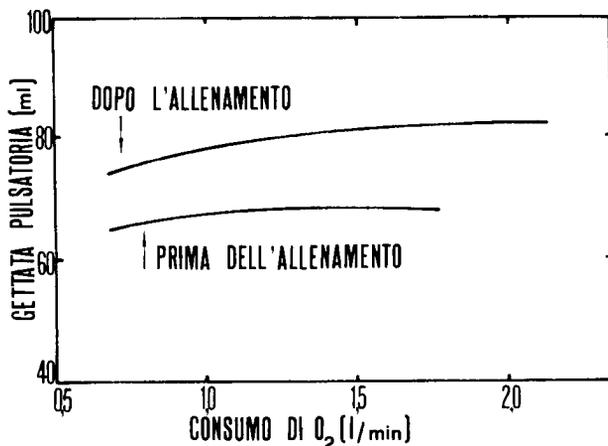


Figura 2.2

Le differenze mostrate dai ragazzi nei confronti degli adulti relativamente all'adattamento della ventilazione e dello scambio dei gas sono meno evidenti dopo l'allenamento: di conseguenza, i quozienti  $\dot{V}_E/\dot{V}_{O_2}$ ,  $\dot{V}_A/\dot{V}_{O_2}$  e  $V_T/V_C$  sono paragonabili ai valori riscontrati negli adulti. A proposito di queste differenze, Astrand (1952) non è riuscito in realtà a dimostrarne l'esistenza anche prima del periodo di allenamento. Ciò dipende dal fatto che i ragazzi oggetto dello studio erano già relativamente bene allenati, cioè avevano un  $\dot{V}_{O_2}$  max relativamente elevato in confronto alla norma dei ragazzi della medesima età prima dell'allenamento: tale differenza è diventata quindi meno evidente dopo l'allenamento.

La gittata cardiaca durante il lavoro submassimale è 1-2 l più bassa che negli adulti giovani, per il medesimo consumo di ossigeno (Ekblom et al., 1968); la spiegazione potrebbe trovarsi in una più efficiente distribuzione della gittata cardiaca ai muscoli sottoposti al lavoro; la differenza artero-venosa dell'ossigeno è, di conseguenza, maggiore. Tuttavia durante l'esercizio massimale, tale differenza,  $\Delta(A-V)O_2$ , è paragonabile al valore trovato negli adulti; la massima  $\Delta(A-V)O_2$  non è maggiore che negli adulti perché i ragazzi presentano una minore concentrazione di Hb e, di conseguenza, una minore capacità di legare l'ossigeno. Poiché il periodo di allenamento non ha prodotto alcun aumento nella massima  $\Delta(A-V)O_2$ , tutto l'au-

mento del  $\dot{V}O_2$  max deve essere attribuito all'aumento della massima gittata cardiaca.

Come si verifica anche negli adulti, la gittata sistolica rimane costante durante l'esercizio; l'unico aumento riscontrato è quello che si verifica nella fase di passaggio dalla condizione di riposo alla condizione di esercizio. Poiché la gittata sistolica rimane più o meno costante durante l'esercizio, il ritmo cardiaco diviene responsabile di ogni aumento nella gittata cardiaca. La gittata cardiaca dei ragazzi, per lo stesso consumo di ossigeno, è lievemente inferiore a quella degli adulti (Eriksson et al., 1971 e 1972). Pertanto il calcolo della capacità massima di lavoro utilizzando i dati relativi al carico di lavoro e al ritmo cardiaco (HR) durante l'esercizio submassimale porta inevitabilmente a risultati inesatti, anche quando si procede alla correzione tenendo conto del HR max dei bambini e dei ragazzi. La variazione nel ritmo cardiaco, riscontrata dopo l'allenamento, è indotta dalla variazione nella gittata sistolica del cuore che è nettamente più bassa di quella degli adulti: tuttavia la differenza scompare se si tiene conto delle minori dimensioni corporee dei ragazzi, come indicato nella Tabella 2.II. Dopo il periodo di allenamento i ragazzi presentano una gittata sistolica, per l'altezza elevata al cubo, maggiore di quella degli adulti sedentari; sotto questo profilo, l'effetto dell'allenamento risulta maggiore nei ragazzi che non negli adulti, come evidenziabile nella Tabella 2.II.

Uno studio di Hermansen (1974) ha evidenziato che i valori del massimo consumo d'ossigeno aumentano quasi linearmente con l'età tra i 10 e i 14 anni, poi

Tabella 2.II - Gittata sistolica massima (in ml) e gittata sistolica massima espressa in funzione del cubo dell'altezza (in ml/m<sup>3</sup>) in ragazzi di 11-13 anni prima (B) e dopo (A) l'allenamento.

Soggetti	Ricercatori		Gittata sistolica (ml)	Gittata sistolica
				altezza <sup>3</sup> (ml/m <sup>3</sup> )
Ragazzi 11-13 anni	Eriksson (1972)	B	67	19,1
		A	80	21,9
Ragazzi 13-14 anni	Eriksson, Grimby e Saltin (1971)		87	19,7
Maschi adulti giovani ben allenati	Astrand et al. (1964)		134	23,0
Maschi adulti giovani	Saltin et al. (1968)	B	104	16,7
		A	120	20,6
Maschi adulti giovani	Ekblom et al. (1968)	B	119	19,1
		A	134	22,6
Maschi adulti giovani atleti	Ekblom e Hermansen (1968)		189	30,8
Uomini di mezza età	Hartley et al. (1969)	B	103	18,9
		A	120	22,0
Uomini di mezza età	Bjure, Grimby e Nilsson (1971)		101	18,2
Uomini di mezza età atleti	Grimby, Nilsson e Saltin (1966)		158	30,5

il consumo massimale d'ossigeno continua ad aumentare, ma con minor intensità. D'altra parte, i valori medi della concentrazione d'emoglobina non rivelano variazioni sistematiche per i gruppi di età comprese tra i 10 e i 13 anni (Figura 2.3); comunque tra i 13 e i 16 anni la concentrazione d'emoglobina aumenta da 13,0 a 14,5 g/100 ml. Nelle ragazze il massimo consumo d'ossigeno mostra uno spiccato aumento fra i 10 e i 13 anni; da quel punto in poi non si osserva alcuna variazione nel massimo consumo d'ossigeno all'aumentare dell'età. I valori medi della concentrazione d'emoglobina nelle scolare non rivelano invece alcuna variazione sistematica

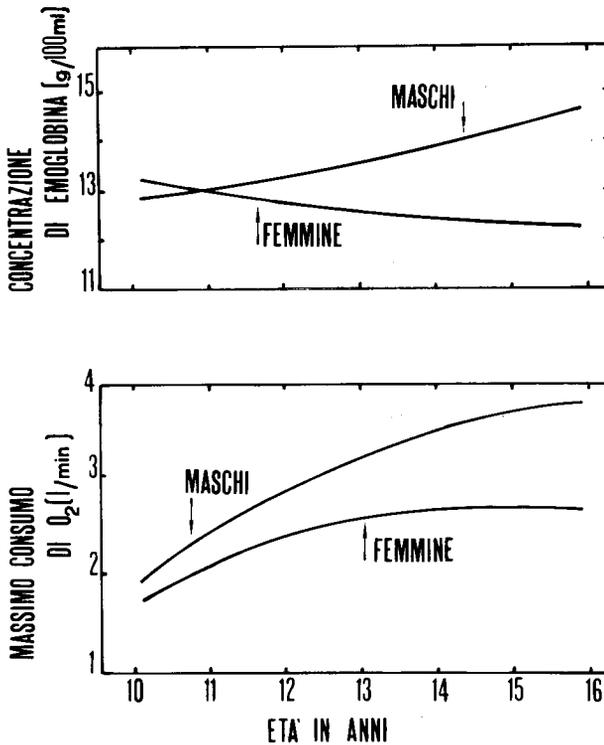


Figura 2.3

all'aumentare dell'età; comunque la concentrazione dell'emoglobina è leggermente più alta per le ragazze di 10 anni e leggermente più bassa per quelle di 16 anni rispetto a quelle ottenute per gli altri gruppi esaminati con età diversa. Nel complesso si rileva una correlazione positiva statisticamente significativa tra concentrazione d'emoglobina e massimo consumo d'ossigeno (l/min); tuttavia, se i dati vengono espressi come massimo consumo d'ossigeno in ml/kg/min non è possibile dimostrare alcuna precisa relazione statistica.

Per poter fare un'ulteriore analisi della relazione tra concentrazione d'emoglobina e massimo consumo d'ossigeno (Vellard et al., 1971), si sono calcolati i coefficienti di correlazione in vari sottogruppi: studenti maschi e femmine, bambini e

bambine in età scolare, come riportato nella Figura 2.4. Da questo grafico risulta che, benché i valori individuali siano alquanto dispersi rispetto alla retta di regressione calcolata, la correlazione tra i due parametri è positiva e significativa; inoltre, benché i dati individuali per i vari gruppi siano alquanto dispersi, si nota una tendenza ad un aumento contemporaneo di concentrazione d'emoglobina e massimo consumo di ossigeno passando da un sottogruppo all'altro, secondo questo ordine: bambine in età scolare, bambini in età scolare, studentesse e studenti. Nel gruppo degli studenti maschi e femmine si nota una correlazione fra concentrazione di emoglobina e massimo consumo di  $O_2$  quando quest'ultimo è misurato in l/min; se invece tale parametro si esprime come ml/min/kg, non si rileva più una precisa correlazione.

### 3. Comportamento degli organi preposti al trasporto e all'utilizzazione dell'ossigeno

Uno studio di von Döbeln et al. (1972) ha preso in esame in ragazzi normali il volume polmonare statico e dinamico, la massa sanguigna, l'emoglobina (Hb) totale, il volume cardiaco ed il potassio totale valutandoli prima e sette mesi dopo

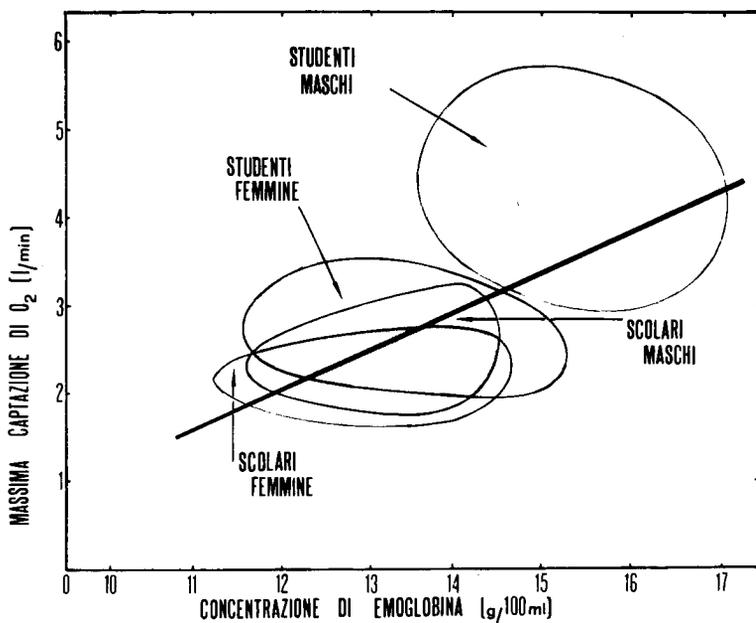


Figura 2.4

un allenamento del tipo di quello descritto nel paragrafo 2). Una parte delle modificazioni di queste capacità anatomico-funzionali può essere attribuita all'accrescimento intervenuto nel periodo intercorso tra i due esami. Per eliminare tale fattore ed ottenere un quadro reale delle modificazioni determinate dall'allenamento,

è sempre necessario correggere i valori ottenuti prima e dopo l'allenamento, riferendoli ad un parametro morfologico quale l'altezza, il peso, ecc. Così operando nello studio di von Döbeln et al., (1972) si osserva che il volume polmonare, il volume cardiaco, il volume ematico e l'Hb totale non hanno mostrato alcun incremento a seguito dell'allenamento; il potassio totale era aumentato del 5-10%, ed il  $\dot{V}_{O_2}$  max era aumentato del 12-14%. L'analisi della covarianza tra le diverse variabili è stata attuata mediante lo studio della regressione, che ha dimostrato che i coefficienti di correlazione tra il  $\dot{V}_{O_2}$  max e le altre variabili prima dell'allenamento erano bassi, e che la correlazione era significativa solo con il volume del cuore. Dopo l'allenamento, tutti i coefficienti di correlazione erano aumentati; particolarmente elevati risultavano i coefficienti di correlazione del  $\dot{V}_{O_2}$  max con il potassio totale e l'Hb totale; inoltre, esisteva una correlazione migliore con l'altezza dei ragazzi che non con il loro peso. Per il  $\dot{V}_{O_2}$  max, i ragazzi più alti hanno usato una percentuale maggiore della loro stessa massa muscolare rispetto ai ragazzi di statura inferiore.

Dopo l'allenamento, tutti i coefficienti di regressione hanno mostrato una concordanza assai migliore con gli indici teorici; anche i coefficienti di correlazione erano più elevati. Per quanto riguarda i parametri fisiologici presi in esame, ciò sembra indicare che la condizione dei ragazzi dopo l'allenamento era più simile a quella teoricamente definibile come « normale »; ossia l'allenamento fisico attuato ha portato ad una correlazione tra i vari parametri come teoricamente dovrebbe essere « normalmente » già presente.

Gli atleti ben allenati, sia adulti che giovani, sono caratterizzati da valori di  $\dot{V}_{O_2}$  max ben correlati alle maggiori dimensioni dei loro organi ed apparati deputati al trasporto di ossigeno (Bevegård, 1962; Åstrand et al., 1963); poiché l'allenamento aumenta il  $\dot{V}_{O_2}$  max di circa il 15-20%, ci si dovrebbe attendere un corrispondente aumento nelle dimensioni degli apparati preposti al trasporto dell'ossigeno. Questo evento non si è verificato nei ragazzi dopo 6 mesi di allenamento (Ekblom, 1969; von Döbeln et al., 1972) pur essendosi tuttavia riscontrato tale aumento, nei medesimi soggetti, dopo 32 mesi di allenamento (Ekblom, 1969). Ciò evidenzia che la correlazione fra  $\dot{V}_{O_2}$  max e sviluppo anatomico degli apparati legati ai processi di trasporto dell' $O_2$  è frutto non solo dell'intensità dell'allenamento, ma anche della sua durata.

L'analisi di uno studio eseguito con nuotatrici (Engström et al., 1971) mostra che vi è stato un aumento significativo nella capacità vitale polmonare in rapporto all'altezza nelle ragazze che si erano allenate al nuoto ininterrottamente per diversi anni; nelle ragazze che avevano interrotto l'allenamento, è stato possibile dimostrare solo l'aumento legato alla crescita.

Una delle ipotesi più comunemente formulate è che l'allenamento dei ragazzi nel periodo di rapida crescita avrebbe potenzialmente un maggiore effetto sulle dimensioni del cuore e dei polmoni (Åstrand et al., 1963; Ekblom, 1969; Engström et al., 1971). Tuttavia negli studi sperimentali prima citati tale ipotesi non è stata confermata, evidenziando che un periodo di allenamento di 4-6 mesi è del tutto insufficiente ad indurre effetti di questo genere; inoltre è stata osservata la discre-

panza tra l'aumento della capacità funzionale degli organi respiratori e cardiaci da una parte, ed il mancato aumento delle dimensioni di tali organi dall'altra. A tale proposito, è stata osservata una stretta identità con i risultati ottenuti negli adulti non atleti (Saltin et al., 1969). Risulta quindi che un allenamento di 4-6 mesi, condotto su ragazzi normali non-atleti, tende a migliorare la capacità funzionale dell'apparato cardio-respiratorio, lasciando invariato lo stato anatomico dello stesso. Tale evento è invece evocabile per periodi continuativi di allenamento di ben più lunga durata, ad es. 32 mesi.

Contrariamente a quanto osservato nei confronti delle dimensioni del cuore e dei polmoni, anche per periodi brevi di allenamento (4-6 mesi) la massa muscolare aumenta notevolmente: essa fornisce la migliore correlazione con il  $V_{O_2}$  max, fatto questo legato all'ovvia considerazione che durante l'esercizio fisico il consumo maggiore di ossigeno si verifica proprio da parte dei muscoli. Nonostante l'aumento nella massa muscolare, il peso corporeo non aumenta proporzionalmente; di conseguenza, durante il periodo di allenamento deve essersi verificata una larga perdita di tessuto adiposo, modificandosi così la composizione del corpo stesso; risultati simili sono stati ottenuti nell'allenamento di ragazzi obesi (Sterky, 1971).

#### 4. I meccanismi anaerobici della liberazione dell'energia nei ragazzi

La liberazione dell'energia anaerobica con meccanismo alattacido avviene grazie alla utilizzazione dei fosfati labili ricchi di energia, come l'adenosintrifosfato (ATP) ed il creatin fosfato (CP). Durante l'esercizio la concentrazione di CP diminuisce gradualmente, mentre la concentrazione di ATP rimane costante fino al livello massimale di lavoro, livello al quale si osserva un lieve decremento. Questa discrepanza apparente di comportamento fra CP ed ATP deriva dal fatto che tutti i meccanismi energetici muscolari tendono a mantenere al più alto livello possibile l'ATP, il quale notoriamente è l'unico mediatore di energia per la contrazione muscolare. Lo stesso incremento della lattacidosi locale tende a questo scopo attraverso ad almeno tre meccanismi: (a) un meccanismo chimico-fisico, per il quale la variazione del pH induce una vasodilatazione che permette una maggior irrorazione sanguigna; (b) un meccanismo biochimico, per il quale si ha un'attivazione della creatin-fosfocinasi, enzima che attiva la scissione del CP in creatina e fosfato inorganico, con risintesi di ATP; (c) un meccanismo bioenergetico, per il quale la scissione del glicogeno ad ac. lattico fornisce energia, anche se con una resa estremamente minore del meccanismo aerobico.

Dopo 4 mesi di allenamento come descritto in 2), la concentrazione di ATP ed in particolare di CP è aumentata nei ragazzi (Eriksson, 1972). L'esercizio produce variazioni nella concentrazione di ATP e di CP simili a quelle osservate prima dell'allenamento; ai carichi elevati di prestazione anaerobica, la caduta dei fosfati labili muscolari (ATP, CP) è maggiore nei soggetti allenati rispetto ai rispettivi valori prima dell'allenamento, come indicato nella Figura 4.1.A.

Nei ragazzi la concentrazione di lattato nella muscolatura scheletrica ha valori

simili sia prima che dopo il periodo di allenamento, sia in condizioni di riposo che agli stessi valori assoluti di carico di lavoro submassimale. Solo per i più alti carichi di lavoro, e quindi per i più alti debiti di  $O_2$ , si constata un maggior incremento del lattato muscolare dopo allenamento (Fig. 4.1.B, dove la concentrazione muscolare di lattato prima e dopo l'allenamento è correlata al debito di ossigeno misurato all'inizio di ciascun carico di lavoro); la concentrazione ematica di lattato riflette la concentrazione muscolare anche se non si sovrappone a questa.

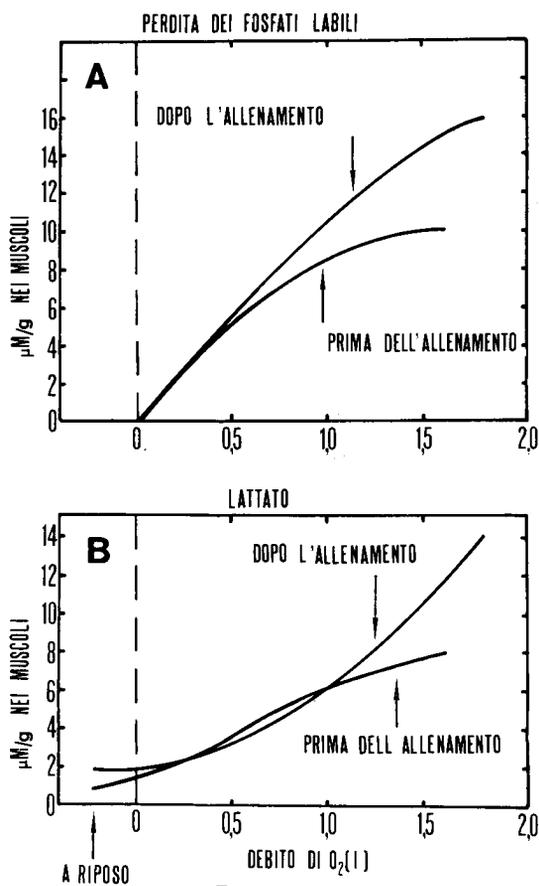


Figura 4.1

Sui prelievi biotipici con la colorazione PAS si è stabilito che entrambi i tipi di fibra ST ed FT contengono a riposo lo stesso quantitativo di glicogeno (Eriksson, 1972): aumentando il carico di lavoro, il contenuto di glicogeno diminuisce gradualmente. Dopo il periodo di allenamento di 4 mesi, in condizioni di riposo il valore del glicogeno aumenta circa del 30%, ed entrambi i tipi di fibra si colorano più intensamente per il PAS. La caduta del glicogeno da esercizio è maggiore dopo il periodo di allenamento; durante il lavoro massimale è stata raggiunta la stessa concentrazione di glicogeno rilevata prima dell'allenamento. Ciò può essere in parte

spiegato dal fatto che era maggiore il lavoro compiuto dopo l'allenamento: di conseguenza, il carico di lavoro massimale medio risultava aumentato.

Nel complesso si può rilevare che, in condizioni di riposo, i ragazzi hanno presentato concentrazioni di ATP e CP paragonabili a quelle degli adulti, mentre il contenuto di glicogeno era inferiore: la caduta sia dei fosfati labili che del glicogeno durante l'esercizio era simile a quella osservata negli adulti. La concentrazione muscolare di lattato, sia nell'esercizio submassimale che in quello massimale, era più bassa che negli adulti, il che concorda con il basso debito di ossigeno osservato. Le basse concentrazioni di lattato muscolare nei ragazzi potrebbero essere dovute a una minore produzione o/e ad un metabolismo più rapido; comunque la causa più probabile della minore produzione di lattato è da correlarsi alla regolazione enzimatica: infatti l'attività del fattore limitante biochimico della glicolisi, la fosfofruttocinasi, ha nei ragazzi valori pari al 40% di quelli riscontrati per gli adulti. Un altro rilievo a sostegno di questa ipotesi consiste nella minore capacità dei ragazzi ad eseguire lavoro massimale; di conseguenza, in confronto agli adulti, nei ragazzi l'energia anaerobica fornita è minore.

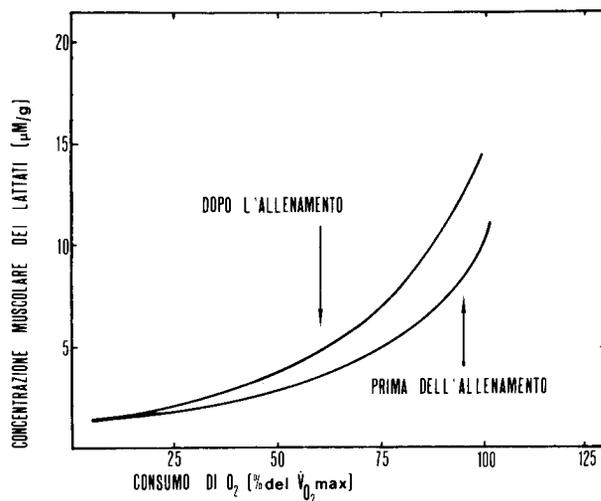


Figura 4.2

Dopo un periodo di allenamento di 4 mesi, si è osservato un aumento significativo di ATP e di CP: un aumento nella concentrazione di ATP è stato osservato anche durante l'allenamento di adulti (Karlsson et al., 1971; Karlsson et al., 1972), anche se dati più recenti (Thorstensson, Sjödin e Karlsson, 1975) hanno dimostrato che l'allenamento con esercizi di alta intensità e breve durata in giovani soggetti (16-18 anni) ha prodotto un incremento non tanto dell'ATP o del CP, quanto degli enzimi implicati nel loro turnover: ATPasi, miocinasi, creatinfosfocinasi; un aumento del CP è stato trovato solo negli animali da esperimento (Ferdman e Feinschmidt, 1929). La concentrazione di CP nei ragazzi

è anche relativamente alta in confronto ai valori degli adulti (Karlsson, 1971); tuttavia, dopo allenamento il decremento del CP e dell'ATP durante l'esercizio è simile a quello osservato negli adulti, e non è stata mai riscontrata alcuna variazione ben definita nel rapporto tra il decremento dei fosfati labili ed il deficit di ossigeno, se non si raggiungono i più alti valori del deficit di  $O_2$ .

Se i ragazzi vengono sottoposti ad un carico di lavoro assoluto submassimale si rileva che la concentrazione dei lattati muscolari non è significativamente diversa dopo il periodo di allenamento rispetto a quanto avveniva prima dell'allenamento. Tuttavia se si esegue la misura in funzione di uno stesso carico di lavoro relativo (ad es., il lavoro massimale) si osserva che la concentrazione dei lattati muscolari è maggiore dopo allenamento rispetto a prima dell'allenamento; naturalmente anche il valore del lavoro prodotto è maggiore. Questa evenienza è ben documentata in Fig. 4.2, nella quale si può osservare come, a parità di  $\dot{V}_{O_2}$  espresso come percentuale del  $\dot{V}_{O_2}$  max, la concentrazione muscolare di lattati è maggiore nei ragazzi dopo il periodo di allenamento. Questo dato differenzia i ragazzi dagli adulti: infatti in questi ultimi dopo l'allenamento si è trovata una concentrazione più bassa di lattato muscolare per il medesimo carico di lavoro relativo (Karlsson, Diamant e Saltin, 1971; Karlsson et al., 1972). D'altra parte, dopo l'allenamento nei ragazzi, la concentrazione ematica dei lattati rimane invariata, anche esprimendo i valori in funzione del carico di lavoro relativo: ciò fa pensare ad una aumentata ossidazione del lattato in altri tessuti, o ad un maggiore metabolismo del lattato nelle cellule muscolari. Questa seconda ipotesi è suffragata dall'aumentata capacità ossidativa delle fibre a bassa attività miosin-ATPasica (fibre ST).

## 5. Correlazioni generali

Analizzando diversi fattori che controllano lo sviluppo dei diversi organi ed apparati del corpo umano, Tanner (1962) sottolinea l'influenza preponderante dei fattori genetici su ogni variazione nelle dimensioni e nelle funzioni degli organi stessi. Vari agenti esogeni (quali malattie, denutrizione, inattività, ecc.) possono inibire il normale sviluppo corporeo; tuttavia l'Autore non riscontra con certezza fattori che accelerino tale sviluppo. In genere, ogni organo del corpo umano è capace di accrescersi « per compensazione »: tale aumento compensatorio si verifica più rapidamente nei bambini e nei ragazzi che non negli adulti, probabilmente perché i primi sono naturalmente in fase di crescita; la compensazione si raggiunge infatti mediante un aumento del ritmo di crescita.

E' ampiamente dimostrato che l'allenamento fisico migliora negli adulti le funzioni degli organi preposti al trasporto dell'ossigeno: conseguentemente viene logico chiedersi se, mediante l'allenamento, i ragazzi aumentino o non aumentino più rapidamente degli adulti la loro capacità a trasportare ed utilizzare l'ossigeno. Il fatto che i ragazzi dai 10 ai 14 anni stiano ancora crescendo crea un problema particolare nella valutazione di risultati di questo tipo di ricerca. Infatti, in condizioni sperimentali costanti, gli adulti mostrano una capacità di lavoro fisico costante,

o che diminuisce molto lentamente. I risultati di un periodo di allenamento dell'adulto possono di conseguenza essere quantizzati da una variazione nella capacità al trasporto ed all'utilizzo dell'ossigeno, i cui valori precedenti erano relativamente costanti in funzione del tempo. Invece, durante la crescita morfologica dei ragazzi, la capacità di trasportare ed utilizzare l'ossigeno si modifica naturalmente; pertanto l'effetto prodotto da un qualsiasi periodo di allenamento si manifesta nei ragazzi come un aumento della capacità di trasportare ed utilizzare l'ossigeno maggiore di quello imputabile all'allenamento stesso. L'allenamento di adulti sedentari aumenta il massimo consumo d'ossigeno ( $\dot{V}_{O_2 \text{ max}}$ ) del 10-20% (Rowell, 1962; Saltin et al., 1968; Ekblom et al., 1968; Saltin et al., 1969; Kilbom e Åstrand, 1971); se si confrontano i valori ottenuti in questi studi con quelli ottenuti mediante l'allenamento di ragazzi sedentari, si deve considerare la variazione nel  $\dot{V}_{O_2 \text{ max}}$  corretto per l'influenza della crescita sul  $\dot{V}_{O_2 \text{ max}}$  durante il periodo di allenamento. Ossia: variazione effettiva di  $\dot{V}_{O_2 \text{ max}}$  da allenamento nei ragazzi = variazione totale di  $\dot{V}_{O_2}$  — fisiologica variazione del  $\dot{V}_{O_2}$  da crescita del ragazzo. Ora nei ragazzi l'aumento del  $\dot{V}_{O_2 \text{ max}}$  durante il periodo di allenamento, corretto per l'influenza della crescita, risulta del 15-20% circa, un dato che concorda con il valore riscontrato negli adulti. Di conseguenza, il processo di crescita non aumenta l'influenza dell'allenamento sul  $\dot{V}_{O_2 \text{ max}}$  dei ragazzi.

La ragione per cui non è confermabile l'ipotesi, correntemente data per certa, che i ragazzi aumentino il loro  $\dot{V}_{O_2 \text{ max}}$  più degli adulti va ricercata nei differenti fattori limitanti che influenzano la capacità aerobica. Il  $\dot{V}_{O_2 \text{ max}}$  è funzione del massimo ritmo cardiaco, del volume sistolico massimale e della differenza massimale artero-venosa di  $O_2$ : ciò significa che tali parametri interdipendenti limitano il  $\dot{V}_{O_2 \text{ max}}$ . La frequenza cardiaca massimale è leggermente più alta nei ragazzi che negli adulti, ma ciò ha un valore relativo dato che si osservano forti differenze individuali tra ragazzo e ragazzo (Robinson, 1938; Åstrand, 1952). Negli adulti l'allenamento diminuisce la frequenza cardiaca massimale: ma ciò si osserva anche nei ragazzi; quindi il fattore « massima frequenza cardiaca » non è discriminativo ai fini del  $\dot{V}_{O_2 \text{ max}}$  fra adulti e ragazzi.

La gittata sistolica è in assoluto chiaramente inferiore ai ragazzi rispetto agli adulti; tuttavia, se essa viene espressa in funzione dell'altezza, i due valori risultano simili. Un marcato aumento della gittata sistolica è stato osservato anche nei ragazzi in seguito ad allenamento; tale aumento è addirittura maggiore di quello osservabile negli adulti.

La massima differenza artero-venosa per l'ossigeno è regolata, tra l'altro, dalla concentrazione ematica di emoglobina che è più bassa nei bambini che negli adulti; ciò significa che è anche inferiore la relativa capacità del sangue di legare l' $O_2$ . Nei ragazzi la concentrazione di emoglobina rimane immutata dopo un congruo periodo di allenamento; di conseguenza, attraverso questo fattore, non si verifica alcun aumento nella differenza massima artero-venosa per l' $O_2$ : ciò indica che non vi è alcun aumento nell'estrazione dell'ossigeno dalla circolazione arteriosa muscolare. Pertanto, l'intero aumento del  $\dot{V}_{O_2 \text{ max}}$  dei ragazzi, dopo un periodo di

allenamento anche relativamente breve, è praticamente il risultato dell'aumento nella gittata sistolica: tale dato differenzia i ragazzi dagli adulti maschi i quali, dopo un periodo di allenamento relativamente breve, mostrano anche un aumento della differenza massima artero-venosa per l'O<sub>2</sub> (Rowell, 1962; Ekblom et al., 1968; Saltin et al., 1968). Ciò spiega perché l'aumento del  $\dot{V}_{O_2}$  max dei ragazzi non è maggiore che negli adulti, nonostante il maggior aumento della gittata sistolica. Pertanto l'asserzione corrente secondo cui, a seguito dell'allenamento, la capacità aerobica dei ragazzi aumenta più che negli adulti, deve ritenersi il frutto di rilievi soggettivi non convalidati da indagini sperimentali.

Una elevata capacità aerobica in età adulta presuppone una gittata sistolica elevata; se un sistematico allenamento viene iniziato durante la prepubertà, si potrebbe ipotizzare che la gittata sistolica raggiungibile nell'età adulta sia più alta che nel caso in cui l'allenamento sia iniziato meno precocemente. Tale ipotesi attende tuttora di essere confermata; tuttavia il notevole volume cardiaco riscontrato in giovani atleti d'alto livello agonistico (Åstrand et al., 1963) potrebbe contribuire indirettamente a confermare tale ipotesi. Inoltre Ekblom (1969), anche tenendo conto dell'effetto dell'accrescimento, ha riscontrato un aumento significativo nel volume cardiaco di ragazzi in seguito a 32 mesi di congruo allenamento. Tutte queste osservazioni presuppongono però di definire le relazioni tra gittata sistolica e volume cardiaco, per criticamente valutare se è correttamente possibile identificare l'aumento del volume cardiaco con l'aumento della gittata sistolica. Gli studi compiuti negli adulti hanno dimostrato che l'aumento nella gittata sistolica spesso non provoca un corrispondente aumento del volume cardiaco: ciò è stato osservato anche nei ragazzi. Perché ciò avvenga non è noto; una causa plausibile potrebbe essere individuata nella riduzione del volume fine-sistole delle cavità cardiache (end-systolic volume); fino ad ora, tuttavia, non sono stati effettuati studi per provare che l'allenamento produce questo effetto sull'uomo (Mitchell e Wildenthal, 1971; Roskamm e Reindell, 1972). Se tale spiegazione fosse esatta, ciò significherebbe che il volume cardiaco fine-sistole non può venire ulteriormente ridotto quando l'allenamento viene attuato per un lungo periodo di tempo e che, in tal caso, l'aumento nella gittata sistolica deve essere collegato ad un simultaneo aumento del volume del cuore. Tale ipotesi è confermata dalla buona correlazione tra  $\dot{V}_{O_2}$  max e volume del cuore di giovani atleti ben allenati per lunghi periodi di tempo (Åstrand et al., 1963).

Nei confronti della capacità anaerobica sono state osservate notevoli differenze tra ragazzi ed adulti (Åstrand, 1952; Karlsson, Diamant e Saltin, 1971), nel senso che nei primi si osserva una assai minore funzionalità del meccanismo anaerobico lattacido. La ragione della minor concentrazione del lattato muscolare, durante l'esercizio submassimale e massimale dei ragazzi, è stata attribuita a cause diverse, quali: (a) la minor capacità di produrre lattato; (b) un più attivo metabolismo intra- ed extra-muscolare; (c) un maggior livello di diluizione dovuto al fatto che il contenuto totale di acqua del corpo dei ragazzi è relativamente maggiore di quello degli adulti. Vanno però primariamente evidenziati i fattori biochimici: è

noto, ad es., come la fosfofruttocinasi (PFK) venga considerata l'enzima modulante la velocità della glicolisi (Danforth e Lyon, 1964). L'importanza di tali eventi biochimici è confermata dai più bassi valori di PFK e di lattato muscolari durante l'esercizio nei ragazzi. Tuttavia non è ancora chiaro perché i ragazzi abbiano questo limite, né si sa molto sui fattori che, passando il soggetto da ragazzo ad adulto, aumentano nei muscoli la concentrazione della PFK fino ai livelli degli adulti. D'altra parte non si sa quando tale aumento si verifichi durante la crescita; tuttavia, l'aumento in PFK non è solamente dovuto alla maturazione biologica. I risultati sperimentali ben evidenziano infatti come il ruolo dell'allenamento sia assai importante per indurre un netto incremento dell'enzima in questione (Eriksson, 1972). L'ipotesi che l'allenamento abbia un effetto locale nei confronti della capacità glicolitica, e che sia anche responsabile di una maggiore attività del meccanismo anaerobico lattacido, è avvalorata dai rilievi sperimentali. Nei ragazzi infatti, dopo un congruo periodo di allenamento, la concentrazione del lattato muscolare è maggiore rispetto a quella riscontrata prima dell'allenamento, per il medesimo carico di lavoro relativo, contrariamente a quanto avviene per la concentrazione del lattato ematico che non viene modificato dall'allenamento.

Per tanti anni i ragazzi sono stati ritenuti degli adulti in scala ridotta e sono stati allenati secondo questo presupposto: gli studi di biologia della prestazione hanno dimostrato però che esistono enormi differenze qualitative tra i ragazzi e gli adulti. Una di tali differenze è rappresentata dalla minore efficienza del meccanismo anaerobico lattacido; ora, se nella vita sedentaria tale differenza ha ovviamente un'importanza pratica trascurabile, essa diviene importante nel caso della pratica attiva di sports e di esecuzione di esercizi fisici. Di conseguenza, i ragazzi dovrebbero essere sottoposti ad attività fisiche che comportino esercizi brevi ed intensi nei quali entri in gioco soprattutto il meccanismo anaerobico lattacido, implicante cioè la funzionalità del pool dei fosfati labili (CP, ATP, ecc.). Nel caso di esercizi meno intensi ma con durata di lavoro superiore ai 10-20 sec, la componente di liberazione dell'energia attraverso la glicolisi diventa preminente e, di conseguenza, le capacità dei ragazzi risultano assai inferiori a quelle degli adulti. Molto confacente è invece l'allenamento dei ragazzi se l'esercizio ha una ancor più bassa intensità e supera i 3-4 min di durata, dato che la liberazione dell'energia avviene soprattutto attraverso il metabolismo aerobico: in questo caso, tra i ragazzi e gli adulti, non si riscontrano differenze notevoli.

In conclusione si può affermare che l'ipotesi di Tanner (1962) sul controllo genetico della crescita e della funzione degli organi deve essere modificata per quanto riguarda la funzione. Un adeguato livello di esercizio fisico è biologicamente necessario ed indispensabile per uno sviluppo somatico funzionalmente armonico; i ragazzi non-atleti esaminati scientificamente prima di essere sottoposti a cicli di allenamento presentano dei livelli di attività fisica inferiori al livello minimo necessario. Ciò porta a due conclusioni, una di natura teorica ed una pratica: la prima è che la capacità al trasporto ed all'utilizzo dell'ossigeno è una funzione somatica il cui sviluppo (in relazione ad altri aspetti dello sviluppo somatico) è controllato

sia da fattori endogeni genetici che da un ben preciso fattore esogeno, cioè il grado di attività fisica. La conclusione pratica è che, nella società urbanizzata e industrializzata, agli individui giovani deve essere fornita una larga possibilità di svolgere un'attività fisica che consenta di attuare un *efficace e razionale* allenamento, sia durante le ore di scuola che durante il tempo libero. Ciò implica ovviamente la necessità di riconoscere il ruolo di primaria importanza a quanti avviano, nella scuola e fuori dalla scuola, i giovani all'attività atletica. I docenti di educazione fisica, i tecnici e gli allenatori amministrano un patrimonio inestimabile che è rappresentato dal destino dello sviluppo biologico dei giovani, con tutte le implicazioni medico-sociali che ciò condiziona. E' chiaro che tale situazione implica la necessità di una notevole preparazione in campo di biologia dello sport. Non esistono infatti danni da sport nei giovani e nei giovanissimi: esistono *solo danni da non attuazione o da irrazionale attuazione* delle pratiche sportive nei giovani e nei giovanissimi.