

Effetti fisiologici e metabolici dell'allenamento in altitudine nelle specialità di endurance

Pier Luigi Fiorella
Elena Cavallazzi*
Simona Briglia*

Commissione Medico-Scientifica Federazione Italiana di Atletica Leggera
* Istituto di Medicina dello Sport, Bologna

Per molti anni i ricercatori sono stati attratti principalmente dallo studio del comportamento dell'uomo in alta montagna; gli studi sugli effetti della media altitudine (1500-3000m s.l.m.) sulla performance fisica, hanno subito una notevole accelerazione negli anni '60 in vista delle Olimpiadi di Città del Messico (situata a 2240m s.l.m.) con un'attenzione rivolta soprattutto ai fenomeni di adattamento in quota in funzione della performance in altitudine.

Solo negli anni successivi, in seguito al crescente dominio dei corridori degli altopiani africani nelle gare di mezzofondo e fondo, la ricerca si è indirizzata verso la valutazione degli effetti dell'allenamento alle medie altitudini sulla capacità di prestazione a livello del mare.

Mentre tutti i ricercatori concordano nel ritenere fondamentale il ruolo dell'allenamento in altitudine finalizzato alla performance in quota, esistono dati contraddittori

sull'efficacia dell'allenamento in ipossia in funzione della prestazione a livello del mare. Nonostante ciò, tale pratica continua a rivestire un ruolo chiave nella metodologia dell'allenamento degli atleti di élite negli sport di resistenza (fondisti, maratoneti, marciatori, ciclisti, nuotatori, sciatori di fondo etc..).

Diverse possono essere le cause di tale discrepanza, prima fra tutte la carenza di ricerche scientifiche su atleti di elevato livello.

Realizzare una ricerca metodologicamente corretta in atleti di élite è particolarmente difficoltoso a causa dell'esiguo numero di atleti, della mancanza di un gruppo di controllo comparabile, delle necessità di ordine tecnico che predominano sulle esigenze scientifiche etc.

Inoltre occorrerebbe chiedersi se i criteri normalmente utilizzati per la valutazione della significatività statistica nella ricerca biomedica, siano applicabili alla valutazione della performance negli atleti di elevato livello, laddove la differenza tra un vincitore di medaglia olimpica ed un finalista è minima.

Nel considerare poi l'allenamento in quota bisogna sempre tenere presente i due fattori fondamentali: l'allenamento e l'ipossia.

Il primo è condizionato dalla metodologia dell'allenamento i cui cardini sono ancor oggi la *specificità e l'individualizzazione del carico allenante*, diversi da specialità a specialità e da soggetto a soggetto. Ad esempio la preparazione dei 10.000 metri o della maratona implica una netta differenza in termini di volume/intensità del carico allenante, in particolare per quanto riguarda la percentuale d'utilizzo della massima potenza aerobica.

Occorre poi considerare la strutturazione generale dell'allenamento stesso, che usualmente comprende:

- il periodo "preparatorio" all'allenamento in ipossia: 2-3 giorni di allenamento con riduzione del volume e dell'intensità;
- il periodo di acclimatazione all'altitudine: 3-5 giorni o più in funzione della quota

scelta (e della presenza o meno di più fusi orari), in cui viene progressivamente incrementato il carico (volume/intensità) complessivo;

- il periodo di "carico": di circa 3 settimane in cui il volume e l'intensità dell'allenamento egualiano quello previsto a livello del mare;
- il periodo di "riacclimatazione" a livello del mare: di durata soggettiva, medianamente tra i 4-7 giorni;
- il periodo di "competizione": durante il quale si sfruttano gli effetti dell'allenamento in ipossia per il miglioramento della capacità di prestazione a livello del mare (sino a 30 giorni circa?).

È fondamentale ricordare che gli adattamenti al carico allenante in quota presentano *marcate differenze interindividuali*, in grado di determinare una diversa risposta finale; inoltre, una errata pianificazione del carico allenante in altitudine è

in grado di determinare effetti negativi a medio e lungo termine sulla capacità di prestazione.

Il *controllo dell'allenamento*, attraverso l'utilizzo di alcuni semplici parametri, permette di valutare in tempo reale l'intensità del carico di lavoro in altitudine rispetto a quello preventivato.

Effetti fisiologici

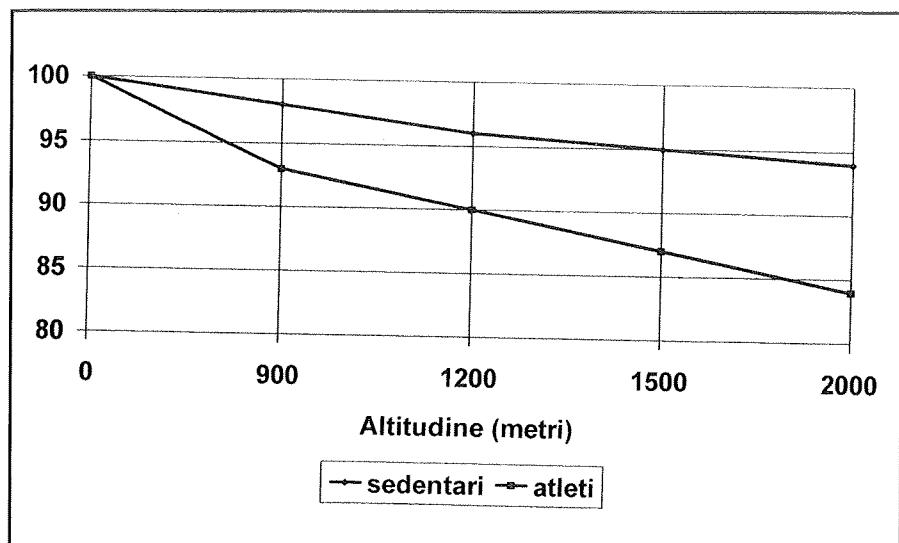
L'acclimatazione è caratterizzata da una serie di modificazioni fisiologiche e metaboliche che tendono a facilitare il trasporto e l'utilizzo dell'ossigeno; le più importanti riguardano il sistema respiratorio e cardiocircolatorio, l'equilibrio acido-base, la funzionalità eritropoietica e le modificazioni a livello cellulare.

Con l'aumento dell'altitudine si ha una riduzione della pressione barometrica e di conseguenza della pressione parziale dell'ossigeno. Questa porta ad una riduzione della tensione alveolare e della satura-

Figura 1 - Variazioni fisiologiche in funzione dell'altitudine.

Altitudine (metri)	Pb (mmHg)	PpO ₂ (mmHg)	PaO ₂ (mmHg)	SaO ₂ (mmHg)
0	760	159	100	97
500	716	150	90	97
1000	674	141	82	96
1500	634	133	76	95
2000	596	25	70	94
2500	560	117	64	93
3000	525	110	60	91

Figura 2 - Effetto dell'altitudine sulla riduzione del VO₂ max (da Terrados '92 modificato).



zione arteriosa dell'ossigeno con conseguente diminuzione della quantità d'ossigeno trasportata ai tessuti, in particolare al tessuto muscolare (Fig. 1). Per questo motivo durante l'attività fisica si assiste ad un decremento della massima potenza aerobica (VO_{2max}) che nei soggetti poco allenati è dell'ordine del 5-8% sino a 1500-2000 metri; negli atleti di endurance può raggiungere il 7-8% già a quote basse di circa 600-800 metri e può arrivare fino al 15% a 2000 metri (Fig. 2). Tale differenza sembra essere imputabile alla maggior desaturazione arteriosa d'ossigeno durante esercizio fisico massimale negli atleti d'élite.

Il rationale dell'allenamento in altitudine è che l'ipossia combinata al carico allenante possa potenziare gli effetti fisio-metabolici e determinare quindi, attraverso specifici adattamenti, un miglioramento della performance a livello del mare.

Le principali modificazioni indotte dall'allenamento in quota sono:

- un aumento della concentrazione dell'emoglobina e del numero dei globuli rossi;
- un aumento del VO_{2max};
- un incremento della capacità tampone della cellula muscolare;
- una maggior capillarizzazione delle fibre muscolari;
- un aumento della concentrazione della mioglobina;
- un aumento della densità mitocondriale;
- un aumento dell'attività degli enzimi del metabolismo aerobico (3-idrossiacil-CoA deidrogenasi, citrato-sintesi, malato-deidrogenasi);
- un'aumentata clearance del lattato.

Per quanto concerne gli adattamenti ematologici, un breve cenno merita la fisiologia dell'eritropoiesi.

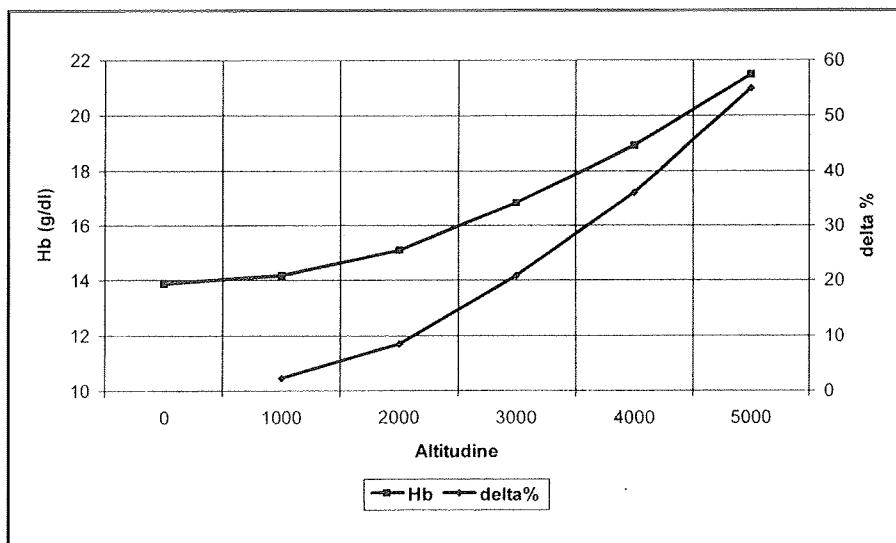
L'eritropoietina è l'ormone chiave delle modificazioni della funzionalità eritropoietica. È una glicoproteina prodotta dal rene, che agisce a livello del midollo osseo determinando la produzione dei globuli rossi. In condizioni normali occorrono circa sette giorni dalla stimolazione alla maturazione del globulo rosso, e l'ipossia non comporta modificazioni temporali del processo maturativo. Solo in condizioni sperimentali, dopo somministrazione di elevati dosaggi di eritropoietina, si è notata una riduzione di tale processo da 7 a 5 giorni circa.

I livelli plasmatici di eritropoietina sono compresi tra le 10-25 U/L e sembrano essere indipendenti dall'età e dal sesso; i dati da noi raccolti, in accordo con quelli della letteratura, evidenziano che gli atleti di endurance presentano valori plasmatici di eritropoietina ai limiti inferiori (8-10 U/L), in relazione probabilmente all'aumentata massa eritrocitaria.

Due fattori, capaci di determinare importanti variazioni quantitative nella secrezione dell'ormone, sono l'ipossia acuta e cronica.

La risposta dell'eritropoietina all'ipossia acuta, sia naturale che simulata, è caratterizzata da un rapido incremento nel giro di 3-4 ore dei suoi livelli plasmatici. È importante tener presente che pur essendo l'incremento di tipo esponenziale, sino ad un'altitudine di circa 3000 m si ha solo un lieve aumento del 20-25% dei livelli plasmatici. Essendo infatti l'aumento della secrezione funzione della pressione parziale dell'ossi-

Figura 3 - Concentrazione media dell'emoglobina nei residenti alle diverse altitudini (da Winslow '87, modificata).



geno alveolare, solo per pressioni parziali d'ossigeno inferiori (corrispondenti ad altitudini superiori ai 3000 m), la produzione di eritropoietina raggiunge livelli altamente significativi con un aumenti del 300-400%.

Parte dell'aumentata concentrazione emoglobinica osservabile durante l'acclimatazione è dovuta alla riduzione del volume plasmatico, conseguente alla riduzione dei liquidi intra ed extra-cellulari.

Perdurando lo stimolo ipossico, si assiste ad una progressiva riduzione della secrezione, con un ritorno entro 7-10 giorni ai livelli plasmatici basali.

Lo studio di soggetti residenti a varie altitudini ha messo in evidenza un aumento della concentrazione di emoglobina nel sangue in funzione dell'altitudine (Fig. 3). In realtà non è facile differenziare l'aumentata sintesi di globuli rossi ed emoglobina dalla riduzione del volume plasmatico.

Utilizzando tecniche più sofisticate per la valutazione della massa emoglobinica (metodo del "CO rebreathing" rispetto al metodo

Figura 4 - Valutazione della massa emoglobinica totale negli atleti dopo permanenza in ipossia.

Autori	n.	Controlli	Altitudine	Durata	Metodo	Risultati
Levine '91	6	Si	2500	4 w	EB	↑
Stray '92	10	No	2500	4 w	EB	↑
Harper '95	13	No	2500*	4 w	EB	↑
Levine '97	13	Si	2500*	4 w	EB	↑
Svedenhang '97	7	Si	1900	4 w	1311	→
Klausen '92	6	No	2000	6 d	CO	→
Friedmann '96	16	No	1800	3 w	CO	→
Telford '96	9	Si	1760	4 w	CO	→
Gore '98	8	No	2690	4 w	CO	→
Ashenden '99	6	Si	2650*	12 d	CO	→

delle emazie marcate) diversi autori hanno evidenziato l'assenza di un aumento significativo della massa emoglobinica totale in seguito all'esposizione a medie altitudini (Fig. 4).

La risposta eritropoietinica presenta inoltre una notevole variabilità interindividuale (probabilmente in funzione del livello basale di eritropoietina), motivo per cui gli atleti possono rispondere in maniera differente.

Per un'efficiente funzionalità eritropoietica è necessaria una buona disponibilità dei depositi di ferro, fondamentale per i processi di sintesi dell'emoglobina.

L'ipossia induce un aumento delle richieste e della mobilizzazione del ferro dai depositi corporei. Il fattore critico sembra essere la rapidità del-

biologia e allenamento

Tabella 1 - Parametri ematochimici in 16 atleti di endurance prima e dopo 25 giorni di permanenza a 2300 mt.

	Base	Ritorno	Diff. %
RBC	4.86 ± 0.3	5.05 ± 0.3	+3.9
Hb	14.7 ± 0.9	15.7 ± 1.0	+6.8*
Hct	42.4 ± 2.5	44.9 ± 2.4	+5.9*
MCV	87.3 ± 3.0	89.0 ± 2.9	+1.9
RET%	1.20 ± 0.2	1.34 ± 0.2	+11.6*
Ferro	100 ± 29.6	72.1 ± 23.2	-28.0*
TIBC	340 ± 45	339 ± 36	-0.3
Sat. % Trf	30.5 ± 10.5	21.4 ± 7.8	-29.8*

* $p < 0,05$.

la mobilizzazione piuttosto che la quantità presente nei depositi, e questo condiziona la risposta ematologica individuale allo stimolo ipossico. L'accertamento laboratoristico di un corretto bilancio del ferro è quindi una condizione indispensabile prima di un soggiorno in quota, in quanto uno stato ferro-carenziale comporterà sicuramente un'eritropiesi inefficace.

Allo stesso tempo una supplementazione a base di ferro sarà necessaria per tutto il periodo di allenamento in quota a causa della maggior richiesta da parte dell'organismo.

Infatti come evidenziato da una nostra esperienza (Tab. 1), gli atleti presentano al ritorno a livello del mare una significativa riduzione del ferro e della saturazione percentuale della transferrina, nonostante la supplementazione di ferro effettuata durante la permanenza in quota. In ogni caso il miglioramento del quadro ematologico non può essere da solo in grado di incrementare la

capacità di prestazione specie negli atleti di élite, ed inoltre una stimolazione significativa dell'eritropoiesi è da attendersi a partire dai 3000 metri di altitudine.

Per quanto riguarda gli adattamenti enzimatici a livello muscolare, l'allenamento di resistenza in ipossia determina un incremento dell'attività degli enzimi mitocondriali ossidativi e glicolitici. Sperimentalmente l'enzima citrato sintetasi (CS) è quello che sembra incrementare maggiormente (l'enzima citrato sintetasi e l'enzima citocromo ossidasi sono considerati marker della capacità ossidativa del muscolo). Si assiste inoltre ad un aumento del contenuto cellulare di mioglobina (dato questo non riportato da tutti gli autori).

Allenamento ed ipossia

Numerose sono state le metodologie proposte e sperimentate negli

anni, ed attualmente le condizioni di ipossia utilizzate possono essere così riassunte:

- *ipossia ipobarica in condizioni naturali di altitudine* (comprese tra i 1600 ed i 2500 m s.l.m.); in Colorado, Arizona, New Mexico, Francia, Spagna, Sud Africa, Namibia, Marocco, Kenya, Bulgaria, Italia etc. sono presenti numerose città situate a queste altitudini, dove gli atleti soggiornano e si allenano per periodi più o meno lunghi.
- *ipossia ipobarica in condizioni artificiali di altitudine*, mediante l'uso di camere ipobariche in cui l'atleta, in funzione delle dimensioni, soggiorna o si allena su ergometri specifici.
- *ipossia normobarica* attraverso una riduzione artificiale del volume di ossigeno ottenuto respirando miscele di gas a ridotta concentrazione di ossigeno; ad esempio le "nitrogen house" dove gli atleti vivono e si allenano, o le "tende ipossiche" trasportabili, dove l'atleta trascorre le ore di sonno, e le "maschere respiratorie" utilizzate durante l'allenamento su ergometri specifici, respirando aria a ridotta concentrazione di ossigeno.

I dati della letteratura non sembrano evidenziare differenze significative nei processi di adattamento dell'organismo alla permanenza e/o al-

l'allenamento in funzione del tipo di ipossia, naturale o artificiale. L'utilizzo e la combinazione di queste metodologie hanno dato luogo a diversi indirizzi di ricerca:

- *allenamento e permanenza in altitudine*: rappresenta la forma classica di allenamento in ipossia, e sicuramente quella più studiata. Gli atleti soggiornano e si allenano a quote variabili dai 1600 ai 2500 m per periodi compresi tra le tre e le sei settimane.
- *allenamento in ipossia artificiale e permanenza a livello del mare*: in questo caso viene utilizzata l'ipossia unicamente come stimolo allenante aggiuntivo; l'ipossia è realizzata attraverso l'utilizzo di camere ipobariche o attraverso la respirazione di miscele di gas a ridotto contenuto di ossigeno (generalmente il 10-15%). L'utilizzo della camera ipobarica permette un allenamento a differenti livelli di altitudine simulata (tra i 1000 e i 4000 m) combinato con allenamenti in normosia e condizioni di vita normale. Il limite è costituito dal fatto che l'allenamento è possibile solo su ergometri specifici con notevoli limitazioni tecniche.
- *permanenza in quota e allenamento al di sotto dei 1000m (living high and training low)*: in questo caso si cerca di sfruttare le reazioni di adattamento del-

l'organismo all'ipossia, mentre il carico allenante viene svolto in condizioni normali. L'altitudine può essere naturale (2000-2500 m), ed in questo caso gli atleti "scendono a valle" (generalmente al di sotto dei 1000 m) per l'allenamento, o artificiale (camere ipobariche o tende ipossiche dove gli atleti trascorrono la notte, o abitazioni munite di sistemi di aerazione a ridotto contenuto di ossigeno).

L'elemento determinante per la ricerca del miglioramento della prestazione è nei primi due casi l'allenamento in ipossia, mentre nell'ultimo sono le modificazioni ematologiche indotte dalla permanenza in ipossia (l'aumento della massa eritrocitaria ed ipoteticamente del $VO_{2\text{max}}$). Nessuno di questi protocolli ha sinora fornito dati certi circa l'incremento della capacità di prestazione a livello del mare.

Infine un breve cenno ai mezzi attualmente utilizzati per ricreare artificialmente le condizioni atmosferiche presenti in altitudine (quali le "nitrogen house" o le tende ipossiche).

Senza voler discutere le motivazioni etiche, il problema che si è posto a livello scientifico, è stato quello di confrontare le modificazioni fisiologiche ed ematologiche indotte dall'ipossia artificiale e dalla somministrazione di eritropoietina umana ricombinante.

I risultati ottenuti da un gruppo di ricercatori australiani evidenziano come sia l'incremento del massi-

mo consumo d'ossigeno che l'incremento dei valori ematici, siano significativamente maggiori nel gruppo sottoposto a trattamento farmacologico, a dimostrazione (qualora ce ne fosse bisogno!) della netta differenza in termini di risposta dell'organismo tra la stimolazione farmacologica e quella fisiologica.

Il controllo dell'allenamento

È nostro parere che il *controllo del carico allenante* svolga un ruolo determinante nello studio dei fenomeni di adattamento durante l'allenamento in ipossia.

Causa le marcate differenze interindividuali nella risposta all'allenamento in ipossia, le sensazioni soggettive dell'atleta possono differire notevolmente da quelle a livello del mare, per cui né il cronometro né "l'occhio dell'allenatore" sono sufficienti per valutare correttamente l'intensità del lavoro.

Per questo motivo sono stati utilizzati numerosi marker per il controllo dell'allenamento, tra i quali la misura del consumo d'ossigeno ($VO_{2\text{max}}$), la frequenza cardiaca, il lattato, l'azoto ureico, la creatininaso, le catecolamine plasmatiche o urinarie, e diversi altri ormoni.

Considerato che l'entità della riduzione del $VO_{2\text{max}}$ negli atleti di endurance non dipende solo dal grado di altitudine ma anche da altri fattori individuali, la *determinazione del $VO_{2\text{max}}$ in altitudine* assume una notevole importanza per l'individuazione del carico di lavoro. Gli atleti che mostrano un calo minore

possono utilizzare carichi di lavoro di maggior intensità, mentre coloro che presentano una marcata riduzione della massima potenza aerobica devono ridurre in misura maggiore l'intensità del lavoro. L'esperienza condotta negli ultimi 10 anni con numerosi fondisti, marciatori e maratoneti della Nazionale di atletica leggera ha permesso di raccogliere numerose informazioni circa le modificazioni di alcuni parametri metabolici prima, durante e dopo un ciclo di allenamento in altitudine.

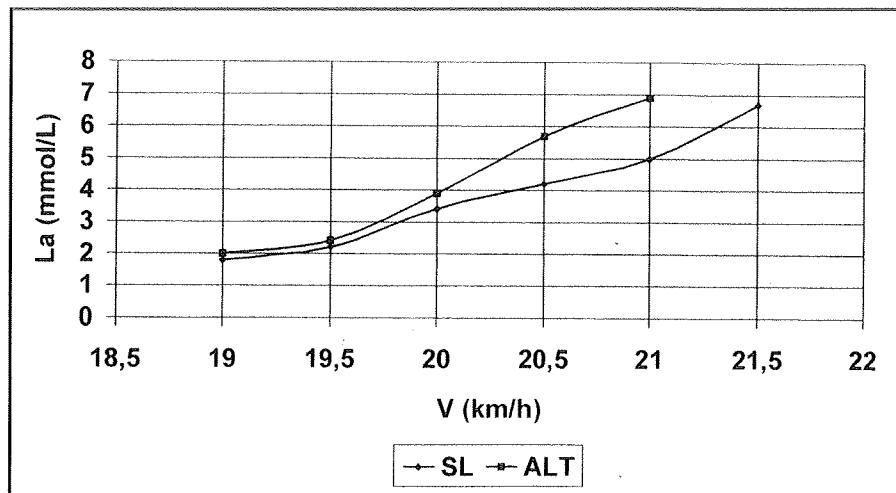
Il controllo del carico allenante è stato effettuato mediante il controllo della FC e del lattato ematico (in virtù della facilità d'esecuzione) in occasione di particolari sedute d'allenamento o di test specifici (*curva velocità-lattato*).

L'analisi della curva velocità-lattato si è rivelata di particolare utilità, poiché fornisce numerose informazioni sulla cinetica della FC e del lattato alle varie velocità, e soprattutto permette il confronto dei valori ottenuti in quota con quelli ottenuti a livello del mare.

Dato che uno dei problemi maggiori nell'allenamento in altitudine è proporre a ciascun atleta un'intensità relativa del carico pari a quella a livello del mare, utilizzando questi dati è possibile fornire all'allenatore precise indicazioni circa la riduzione, ad esempio, della velocità di corsa.

Si osserva generalmente una riduzione del 3-5% della FC massima, anche se alcuni atleti riescono a mantenere valori sovrapponibili a quelli registrati a livello del mare. Se si considerano invece i carichi sottomassimali, la FC presenta un

Figura 5 - Curva velocità-lattato in un maratoneta differenze in funzione della percentuale di utilizzo della massima potenza aerobica.



andamento opposto; a pari intensità di carico, durante la fase d'acclimatazione la FC è maggiore di quella a livello del mare, mentre a adattamento avvenuto tende a riportarsi agli stessi valori osservati in pianura.

L'utilizzo di un parametro così semplice da misurare come la FC presenta però alcuni limiti, poiché subisce influenze ambientali (ad esempio la temperatura), e soprattutto dimostra una minor sensibilità nel confronto tra le velocità inferiori a quella della soglia anaerobica. Più importanti sembrano essere le informazioni ottenibili utilizzando il lattato ematico quale marker dell'intensità del lavoro; anche in questo caso, più che le variazioni delle concentrazioni massimali di acido lattico, si rivelano importanti le modificazioni ai carichi sottomassimali.

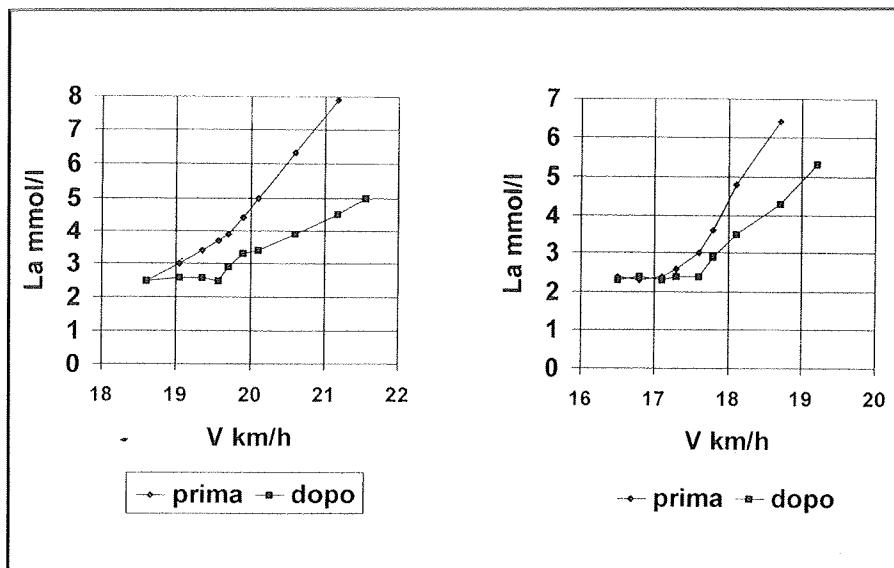
Durante la fase di acclimatazione vi è uno spostamento a sinistra della curva velocità-lattato; ciò significa che i valori di lattato sono, a pari

intensità di carico, più elevati. Col procedere del soggiorno i valori tendono a ridursi progressivamente sino, in alcuni atleti, a sovrapporsi a quelli ottenuti in pianura.

Un aspetto degno di nota è il differente impegno energetico in funzione della velocità di corsa in altitudine. Nell'esempio riportato in Fig. 5, la concentrazione del lattato non mostra differenze significative, tra il primo test effettuato a livello del mare ed il secondo effettuato a 2000 m, sino a velocità di poco inferiori alla soglia anaerobica, mentre aumenta decisamente per velocità oltre la soglia ad indicare un prevalente ricorso al metabolismo glicolitico.

Con il ritorno a livello del mare, si assiste ad un fenomeno particolarmente interessante: la curva velocità-lattato mostra uno spostamento a destra, in quanto i livelli di lattato sono, a parità di carico, più bassi rispetto a quelli rilevati prima dell'allenamento in altitudine (Fig. 6).

Figura 6 - Curva La/V in due maratoneti prima ed al ritorno da uno stage di 28 gg. di allenamento a 1800 m.



Ciò corrisponde ad un miglioramento della velocità corrispondente alla soglia anaerobica e ad una maggior efficienza energetica del sistema aerobico.

Tale fenomeno, evidenziato da numerosi Autori, sembra essere imputabile ad una maggior ossidazione del lattato da parte delle fibre muscolari, piuttosto che ad una sua ridotta produzione o ad un incremento del metabolismo lipidico.

Ovviamente occorre sempre ricordare che il tipo di risposta è il risultato di una corretta metodologia dell'allenamento in quota, per cui non è sufficiente "allenarsi in quota" per ottenere un incremento della capacità prestativa e/o un miglioramento delle qualità fisiologiche. Negli esempi riportati in Fig. 7 e 8 è ben evidente come nel primo atleta non si evidensi un miglioramento dopo il periodo di training in quota, contrariamente al secondo atleta

che mostra un significativo incremento (confermato anche dalla prestazione in gara) al ritorno al livello del mare. È ovvio che in questi esempi andrebbe analizzato il lavoro qualitativo/quantitativo svolto in altitudine.

Conclusioni

L'analisi dei dati della letteratura e l'esperienza pratica ci permette di trarre alcune conclusioni:

- non c'è accordo in letteratura sugli effetti dell'allenamento in ipossia ai fini del miglioramento della prestazione a livello del mare;
- il fattore principale causa delle modificazioni fisiologiche e metaboliche sembra essere non l'ipossia in sé, ma l'effetto sinergico tra ipossia ed allenamento,лад dove l'allenamento svolge sempre il ruolo principale;
- le principali modificazioni fisiologiche non sono quelle centrali a carico della funzionalità eritropoietica, ma quelle periferiche a livello cellulare muscolare;
- in ogni caso, un bilancio positivo del ferro è condi-

Figura 7 - Curva Velocità/Lattato in un marciatore della 20 km prima, durante uno stage a 2000 m, e due settimane dopo il ritorno.

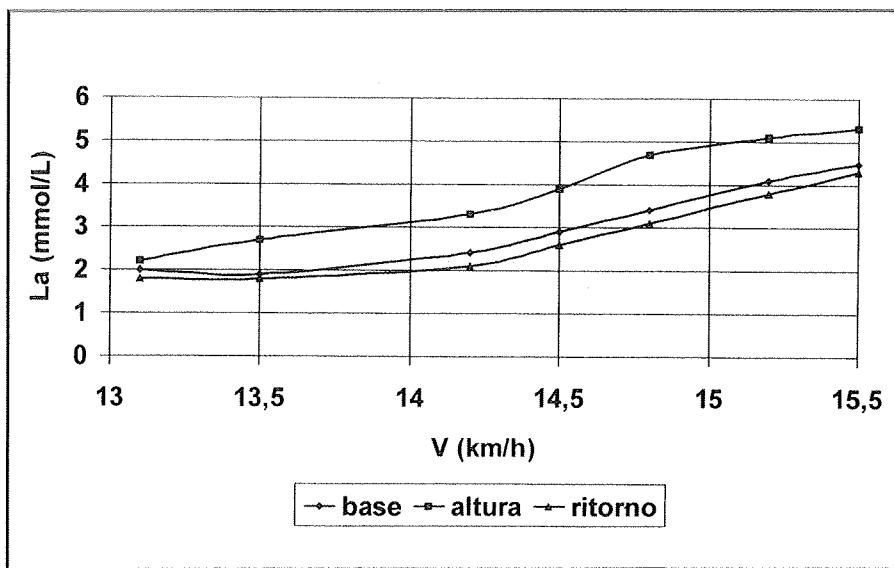
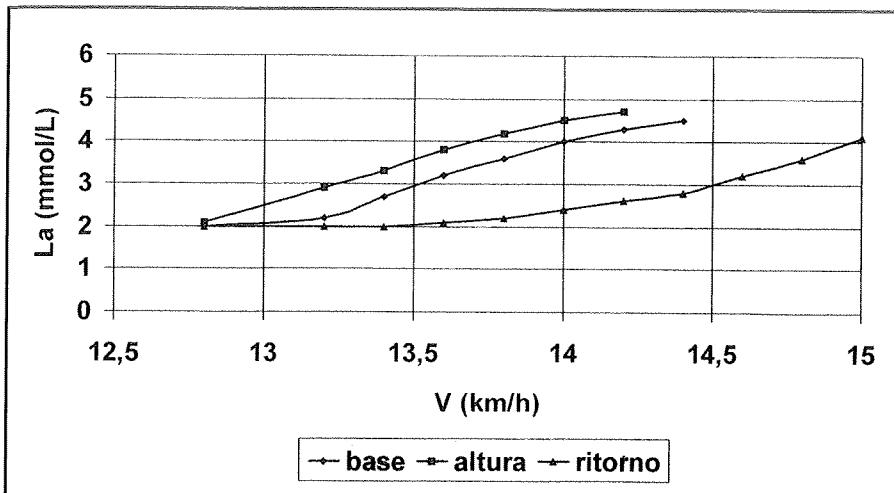


Figura 8 - Curva Velocità/Lattato in un marciatore della 50 km, prima, durante uno stage a 2000 m, e due settimane dopo il ritorno.



zione indispensabile prima e durante un periodo di allenamento in quota;
- la specificità e l'individuallizzazione del carico alle-

nante, rivestono un ruolo fondamentale in altitudine;
- il controllo dell'allenamento è basilare per il monitoraggio dei carichi allenanti,

e tra le varie possibilità, la curva velocità-lattato (grazie alla sua semplicità e facilità di esecuzione) sembra essere di particolare utilità nel monitoraggio dell'atleta;

- solo la reciproca collaborazione tra atleta, tecnico e medico dello sport (competente!) favorisce una programmazione ottimale dei carichi allenanti.

La complessità dell'argomento dimostra quanto ancora siamo lontani dalla esatta comprensione dei fenomeni legati alla scienza dell'allenamento, e non deve quindi stupire l'assenza di conclusioni definitive sugli effetti dell'allenamento in altitudine nelle specialità di endurance.

Bibliografia

- Ashenden MJ, Gore CJ, Dobson GP, Hahn AG. (1999) Live high, train low does not change the total haemoglobin mass of male endurance athletes sleeping at a simulated altitude of 3000 m for 23 night. *Eur J Appl Physiol* 80: 479-84.
- Ashenden MJ, Gore CJ, Martin DT, Dobson GP, Hahn AG: (1999) Effects of a 12 day live high, Train low camp on reticulocyte production and haemoglobin mass in elite female road cyclists. *Eur J Appl Physiol* 80: 472-478.
- Ashenden MJ, Hahn AG, Martin DT, Logan P, Parisotto R, Gore CJ. (2001) A comparison of the physiological response to simulated altitude exposure and r-
- HuEpo administration. *J Sports Sci.* Nov; 19 (11): 831-7.
- Bailey DM, Davies B: (1997) Physiological implications of altitude training for endurance performance at sea level: a review. *Br J Sports Med* 31: 183-90
- Bailey DM, Davies B, Romer L, Castell L, Newsholme E, Gandy G: (1998) Implications of moderate altitude training for sea level endurance in elite distance runners. *Eur J Appl Physiol* 78: 360-68
- Berglund B: (1992) High Altitude training (Aspects of haematological adaptation). *Sports Medicine* 14 (5): 289-303
- Burtscher M, Nachbauer P, Baumgartl P, Philadelphia M: (1996) Benefits of training at moderate altitude versus sea level training in amateur runners. *Eur J Appl Physiol* 74: 558-563
- Chapman RF, Stray-Gundersen J, Levine BD: (1998) Individual variation in response to altitude training. *J Appl Physiol* 85 (4): 1448-56
- Dehnert C, Hutler M, Liu Y, Menold E, Netzer C, Schick R, Kubanek B, Lehmann M, Boning D, Steinacker JM. (2002) Erythropoiesis and performance after two weeks of living high and training low in well trained triathletes. *Int J Sports Med.* Nov; 23 (8): 561-6

biologia e allenamento

- Dick FW: (1992) Training at altitude in practice. *Int J Sports Med* 13 S203-S205
- Geiser J, Vogt M, Billeter R, Zuleger C, Belforti F, Hoppeler H. (2001) Training high-living low: changes of aerobic performance and muscle structure with training at simulated altitude. *Int J Sports Med.* Nov; 22 (8): 579-85
- Gore CJ, Hahn AG, Scroop GC, et al.: Increased arterial desaturation in trained cyclists during maximal exercise at 580 m altitude. *J Appl Physiol* (1996) 80 (6): 2204-10
- Gore CJ, Little SC, Hahn AG et al.: Reduced performance of male and female athletes at 580 m altitude. *Eur J Appl Physiol* (1997) 75: 136-43
- Grassi B, Ferretti G, Kayser B, et al.: Maximal rate of blood lactate accumulation during exercise at altitude in humans. *J Appl Physiol* (1995) 79 (1): 331-39
- Hoppeler H, Vogt M. Hypoxia training for sea-level performance. Training high-living low. *Adv Exp Med Biol.* 2001; 502: 61-73
- Kayser B: Nutrition and energetics of exercise at altitude. *Sports Medicine* (1994) 17 (5): 309-23
- Kayser B: Lactate during exercise at high altitude. *Eur J Appl Physiol* (1996) 74: 195-205
- Levine BD, Stray-Gundersen J: A practical approach to altitude training. *Int J Sports Med* 13 (1992) S209-S212
- Levine BD, Stray-Gundersen J: Living high, training low: effect of moderate altitude acclimatization with low altitude training on performance. *J Appl Physiol* (1997) 83: 102-112
- Masuda K, Okazaki K, Kuno S, Asano K, Shimojo H, Katsuta S. Endurance training under 2500-m hypoxia does not increase myoglobin content in human skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol*. 2001 Sep; 85 (5): 486-90.
- Poulsen TD, Klausen T, Richalet JP, et al.: Plasma volume in acute hypoxia: comparison of a carbon monoxide rebreathing method and dye dilution with Evans' blue. *Eur J Appl Physiol* (1998) 77: 457-61
- Rodriguez FA, Casas H, Casas M, et al.: Intermittent hypobaric hypoxia stimulates erythropoiesis and improves aerobic capacity. *Med Sci Sports Exerc* (1999) 31 (2): 264-8
- Stray-Gundersen J, Chapman RF, Levine BD. "Living high-training low" altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *J Appl Physiol*. 2001 Sep; 91 (3): 1113-20
- Schmidt W, Heinicke K, Rojas J, Manuel Gomez J, Serrato M, Mora M, Wolfarth B, Schmid A, Keul J. Blood volume and hemoglobin mass in endurance athletes from moderate altitude. *Med Sci Sports Exerc.* 2002 Dec; 34 (12): 1934-1940
- Terrados N, Melichna J, Sylven C, Jansson E, Kaijser L: Effects of training at simulated altitude on performance and muscle metabolic capacity in competitive road cyclists. *Eur J Appl Physiol* (1988) 57: 203-09
- Terrados N, Jansson E, Sylven C, Kaijser L: Is hypoxia a stimulus for synthesis of oxidative enzymes and myoglobin? *J Appl Physiol* (1990) 68 (6): 2369-72
- Vallier JM, Chateau P, Guezennec CY: Effects of physical training in a hypobaric chamber on the physical performance of competitive triathletes. *Eur J Appl Physiol* (1996) 73: 471-78
- Wolski LA, McKenzie DC, Wenger HA: Altitude training for improvements in the sea level performance. *Sport Med* (1996) 22 (4): 251-63