

Effetti dell'high intensity interval training nelle discipline di endurance dell'atletica leggera

Luca Filipas¹, Antonio La Torre², Maria Francesca Piacentini³, Matteo Bonato²

1 Scuola di Scienze Motorie, Università degli Studi di Milano

2 Dipartimento di Scienze Biomediche per la Salute, Università degli Studi di Milano

3 Università degli Studi di Roma "Foro Italico"



Introduzione

L'interval training nella storia è stato uno dei mezzi di allenamento più utilizzati per il miglioramento della performance negli sport di endurance e in particolare nell'atletica leggera. Sono ancora tantissimi i campioni a utilizzarlo come mezzo fondamentale di preparazione per le gare più importanti: Farah, Bekele, Dibaba sono sicuramente i più famosi, ma anche il recente vincitore della maratona di New York, Wilson Kipsang, inserisce sedute di interval training nelle settimane precedenti la maratona.

I primi tentativi di interval training risalgono agli inizi del '900 da parte della scuola finlandese di mezzofondo. Dopo il secondo conflitto mondiale l'interval training si diffuse anche nel resto d'Europa: fu il cecoslovacco Emil Zátopek ad introdurlo nei suoi programmi di allenamento in preparazione della tripletta olimpica (5000m, 10000m e maratona) ad Helsinki 1952. Resta famosa la sua classica seduta di 100x400m con 200m di recupero, corsa probabilmente tra l'80 e il 90% della sua $v_{3p_{2max}}$.

Gli anni '60 furono caratterizzati dai primi studi sull'interval training ad opera dei fisiologi svedesi Åstrand e Christensen, che misero per la prima volta in evidenza i benefici indotti da questa tipologia di allenamento sulla performance.

A seguito di questi studi molti allenatori nei decenni successivi inserirono l'allenamento intervallato nei piani di allenamento dei loro atleti.

Di recente si è assistito alla rinascita del mezzofondo americano sotto la guida di Alberto Salazar, proprio grazie all'introduzione sistematica dell'interval training. Anche grazie a questo mezzo di allenamento il mezzofondo a stelle e strisce ha raccolto tre medaglie tra 5000m e 10000m ai Giochi Olimpici di Londra 2012.

L'allenamento intervallato ha preso piede anche in Africa, dove l'introduzione di questo mezzo di allenamento anche sul versante maratona ha permesso di portare il record mondiale di maratona a una media di 2'54" al km (2h02'57", Kimetto Berlino 2014), media possibile solo attraverso lavori di altissima intensità, abbinati a sedute lente di recupero. Questa nuova metodologia di allenamento ha preso il nome di allenamento polarizzato (Lindsay et al., 1996): grandi volumi di lavoro a bassa intensità, alternati a minori volumi di lavoro ad altissima intensità; si uniscono i benefici indotti dall'esercizio ad alta intensità con quelli apportati dall'alto volume di lavoro tipico degli sport di endurance.

Se si vuole trovare un denominatore comune nella storia dell'interval training questo sarebbe sicuramente la variabilità dell'intensità di corsa e di conseguenza la durata e la lunghezza delle prove. Non esiste quindi un modello storico riproducibile, se non quello di considerare intensità molto alte (dal 90% della $v_{3p_{2max}}$).

Proprio per questo crescente spostamento verso l'alta intensità che l'interval training negli anni 2000 ha subito una trasformazione ed è diventato in letteratura scientifica High Intensity Interval Training (HIIT), definito da Billat come "ripetizioni corte, me-

die e/o lunghe ad alta intensità alternate da momenti di recupero a bassa intensità o a riposo” (Billat, 2001).

Data la grande importanza che l’HIIT ha rivestito nel corso della storia dell’atletica leggera, abbiamo deciso di revisionare la letteratura scientifica allo scopo di individuare quali siano gli effetti di un allenamento di HIIT su atleti già allenati alla pratica della corsa di endurance. Questo per verificare se l’abitudine a svolgere uno sport di resistenza e quindi il maggiore livello di allenamento abbia un’incidenza negativa sul miglioramento degli stessi atleti.

Infatti è noto che l’allenamento di endurance provoca un aumento del $3p_{2max}$, della densità dei capillari, dell’attività ossidativa degli enzimi e del volume plasmatico in atleti non allenati (Magel et al., 1975; Blomqvist e Saltin, 1983). Tuttavia cambiamenti di questi fattori non avvengono quando atleti molto allenati incrementano il loro volume di allenamento a bassa intensità.

In questo lavoro di revisione della letteratura scientifica ci si aspetta di notare che atleti allenati subiscano l’influenza positiva dell’HIIT evidenziata in sedentari e/o sportivi non abituali, ma che questa sia inversamente proporzionale al livello di partenza degli atleti. Si pensa inoltre che ad incidere maggiormente sul miglioramento eventuale della performance di mezzofondo in atleti allenati possa essere un parametro come l’eco-

nomia di corsa, piuttosto che il $3p_{2max}$. Per quanto riguarda invece gli studi in acuto, l’obiettivo dello studio X vedere quali effetti provoca una seduta di HIIT in soggetti che sono già parzialmente o totalmente abituati a stimoli di questa intensità e di questa forma. Inoltre si vuole osservare se ci siano differenze rispetto agli adattamenti in cronico.

Materiali e metodi

Il materiale scientifico di riferimento per questo lavoro X stato individuato attraverso una ricerca sistematica su un database elettronico (www.pubmed.gov).

Per l’effettuazione di questo studio non X stato ritenuto necessario limitare l’arco temporale di riferimento, ma sono stati considerati eleggibili tutti i lavori presenti in letteratura. Alla fine la ricerca ha spaziato su articoli compresi tra gennaio 1989 e settembre 2014.

Le frasi più utilizzate nella ricerca della bibliografia sono state “high intensity interval training”, “high intensity intermittent exercise” e “running interval training”.

Come raffigurato nella figura 1, dopo una prima ricerca sono stati individuati 1749 studi. Di questi solamente 22 sono stati presi in considerazione per lo studio. Di questi 15 riguardavano protocolli di HIIT in cronico, mentre 7 protocolli di HIIT in acuto. Gli altri 1727 sono stati esclusi per uno o più dei seguenti motivi: riguardavano altri sport, i soggetti erano sedentari o non sportivi, i protocolli di allenamento utilizzati erano differenti dall’HIIT, includevano trattamenti nutrizionali e/o farmacologici, erano reviews generali e non specifiche, i soggetti erano animali, le condizioni ambientali condizionavano il risultato dello studio.

Per la realizzazione delle tabelle sono stati considerati gli studi che riguardavano protocolli di HIIT in cronico e in acuto. Il principale fattore limitante nella ricerca X stata la necessità di trovare protocolli che riguardassero atleti allenati nella pratica della corsa di resistenza. Erano presenti molti studi che prevedevano sessioni di allenamento di corsa, ma spesso si trattava di soggetti non idonei perché sedentari e/o sportivi praticanti altre discipline. Ai fini dello studio era necessario individuare atleti già consolidati nella pratica della corsa. E per questo X stato scelto come criterio inclusivo un valore arbitrario di $3p_{2max}$ di partenza, che doveva essere uguale o superiore a $50.0 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (Laursen e Jenkins, 2002).

Un altro criterio di inclusione X stata l’intensità minima del lavoro intervallato: abbiamo deciso di considerare quella fornita da Buchheit e Laursen (2013), corrispondente al 90% della $v3p_{2max}$.

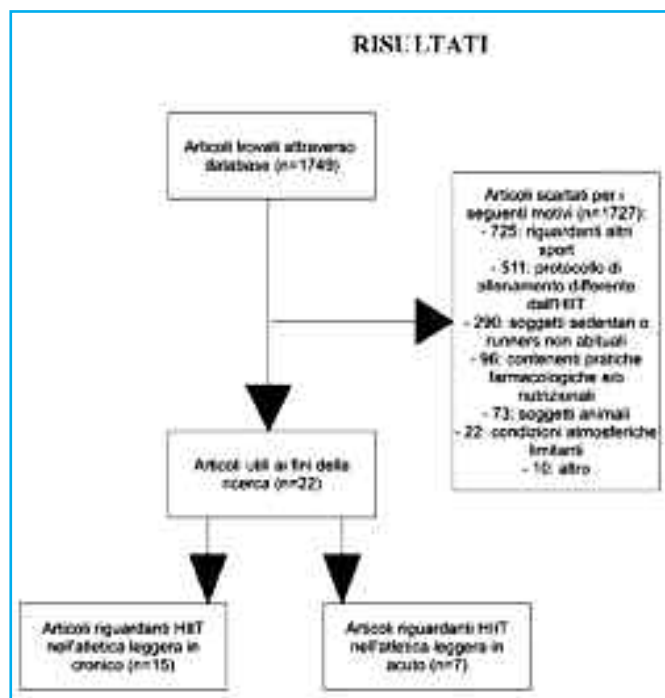


Figura 1 - Flow chart della letteratura scientifica.

RISULTATI in cronico

Studio	Scopo/ciclo studio	N	$\dot{V}O_{2max}$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	Settimane	Sessioni HIIT	Frequenza (settimanale) (sessioni / settimana)	Ripetizioni	Durata ripetizioni	Intensità ripetizioni	Durata recupero	Risultati
Mahoez et al., 2014	Effetti dell'allenamento polarizzato su alcuni parametri fisiologici della performance	32 M	64.1 ± 7.3	10	20	2	NP	NP	NP	NP	↓ tempo 10km
Stogel & Sperlich, 2014	Confronto tra allenamento polarizzato in soglia, ad alto volume e ad alta intensità.	48 M	63.6 ± 7.1	9	28	3-5	4	240 sec	90-95% FC _{max}	180 sec	↑ $\dot{V}O_{2max}$, ↓ HC
Ferley et al., 2013	Differenze fisiologiche tra HIIT in soglia e in plateau	32 M	65.9 ± 8.5	6	12	2	Da 10 a 14 (salite)	30 sec	↔ $\dot{V}O_{2max}$	65% FC _{max}	↔ $\dot{V}O_{2max}$, ↔ $\dot{V}O_{2max}$, ↔ $\dot{V}O_{2max}$, ↑ T_{lim}
Ferley et al., 2013	Differenze fisiologiche tra HIIT in soglia e in plateau	32 M	63.9 ± 8.5	6	12	2	Da 1 a 6	60% T_{lim}	↔ $\dot{V}O_{2max}$	65% FC _{max}	↔ $\dot{V}O_{2max}$, ↔ $\dot{V}O_{2max}$, ↔ $\dot{V}O_{2max}$, ↑ T_{lim}
Burnes et al., 2013	Effetti di differenti protocolli di HIIT in soglia su economia di corsa e performance	20 M	63.9 ± 5.9	6	12	2	Da 8 a 16 (salite)	40 sec	110% ↔ $\dot{V}O_{2max}$	1.5	↑ $\dot{V}O_{2max}$, ↑ $\dot{V}O_{2max}$, ↓ tempo 5000m
Gunnarsson & Bangsbo, 2012	Effetti sulla performance in un allenamento 10, 20-30	12 M 6 F	52.2 ± 1.5	7	21	3	Da 3 a 4	300 sec	NP	120 sec	↑ $\dot{V}O_{2max}$, ↓ tempo 1500m, ↓ tempo 5000m, ↑ LLDL
Bangsbo et al., 2009	Effetti miscelati dell'allenamento dell'intensità degli	17 M	63.0 ± 1.9	Da 6 a 9	Da 15 a 22	2-5	Da 8 a 12	30 sec	95% T_{50} sec	180 sec	↓ tempo 10km, ↓ tempo 3000m, ↔ $\dot{V}O_{2max}$, ↑ espressione della

	alleanamenti e di una riduzione del suo volume																	pompa al Na-K, l'espressione della pompa al Na-K, concentrazione K nel plasma, JEC
Iata et al., 2009	Effetti misocelimi dell'aumento dell'intensità degli allenamenti e di una riduzione del suo volume	17 M	55.5 ± 1.4	4	14	3.5	Da h a 12	30 sec	90-95% T_{max}	180 sec								↔VO _{2max} , TUCP3, fibre FTx, ↔tempo 10km, JQR, JEC
Iata et al., 2007	Effetti dell'aumento dell'intensità degli allenamenti e di una riduzione del suo volume	15 M	55.8 ± 1.3	4	14	3.5	Da h a 12	30 sec	90-95% $T_{10 sec}$	180 sec								↔VO _{2max} , ↔tempo 10km, l'espressione della pompa al Na-K, 1NHFL, concentrazione K nel plasma
Esforjani & Laursen, 2007	Effetti dell'IHIT su VO _{2max} soglia del lattato e prestazione sui 3000m	17 M	51.6 ± 2.3	10	20	2	8	60% T_{max}	100% vVO _{2max}	60% T_{max}								TVO _{2max} , T_{v1} , T_{v2} , T_{v3} , tempo 3000m
Esforjani & Laursen, 2007	Effetti dell'IHIT su VO _{2max} soglia del lattato e prestazione sui 3000m	17 M	51.6 ± 2.3	10	20	2	12	30 sec	130% vVO _{2max}	270 sec								VO _{2max} , T_{max} , tempo 3000m, ↔v1, ↔v2
Smith et al., 2003	Ottimizzare l'alleanamento ad alta intensità usando vVO _{2max} e T_{max}	9 M	61.4 ± 1.0	4	8	2	5	70% T_{max}	vVO _{2max}	12								T_{Tmax} ↔tempo 3000m, ↔VO _{2max} ↔vVO _{2max}
Smith et al., 2003	Ottimizzare l'alleanamento ad alta intensità usando vVO _{2max} e T_{max}	9 M	61.4 ± 1.0	4	8	2	6	60% T_{max}	vVO _{2max}	12								T_{Tmax} tempo 3000m, ↔VO _{2max} , ↔vVO _{2max}
Dillat et al., 2002	Effetti dell'alleanamento su alcuni parametri	5 M 4 F	66.3 ± 9.2	8	16	2	Da 3 a 20	Da 40km a 2000m	v10000m / v3000m	Da 45 sec a 120 sec								T_{v1}

Stamati et al., 1999	Effetti di un allenamento basato su $\dot{V}O_{2max}$ e T_{rec}	5 M	61.5 ± 6.1	4	8	2	5	60-75% T_{rec}	100% $\dot{V}O_{2max}$	1:2	$\dot{V}O_{2max}$, $\dot{V}VO_{2max}$ T_{rec} , tempo 3000m
Franch et al., 1998	Effetti dell'aumento dell'intensità su economia di corsa e parametri ventilatori	36 M	5 ± 8 = 3.0	6	18	3	Dg 4 a 6	2-40 sec	93-94% FC_{max}	120 sec	$\dot{V}O_{2max}$, $\dot{V}VO_{2max}$, JEC
Franch et al., 1998	Effetti dell'aumento dell'intensità su economia di corsa e parametri ventilatori	36 M	5 ± 8 = 3.0	6	18	3	Da 30 a 40	15 sec	93-95% FC_{max}	15 sec	$\dot{V}O_{2max}$, $\dot{V}VO_{2max}$ → JEC
Zavensky et al., 1998	Effetti dell'HIIT sull'economia di corsa al variare dei recuperi	12 M	72.5 ± 4.3	2	3	NP	10	NP	96% $\dot{V}O_{2max}$	Da 60 sec a 180 sec	JQR, JEC
Accvedo & Golefarb, 1989	Effetti dell'aumento dell'intensità dagli allenamenti su alcuni parametri fisiologici della performance	7 M	65.3 ± 2.3	8	24	3	NP	NP	90-95% FC_{max}	NP	tempo 10km, $\dot{V}VO_{2max}$

Tabella 1 - descrizione e risultati degli studi in cronico inclusi nello studio. $\dot{V}O_{2max}$: massimo consumo d'ossigeno; $\dot{V}VO_{2max}$: velocità associata al massimo consumo d'ossigeno; FC_{max} : massima frequenza cardiaca; EC: economia di corsa; QR: quoziente respiratorio; T_{max} : tempo di esaurimento a $\dot{V}O_{2max}$; $\dot{V}LT$: velocità alla soglia del lattato; LDL: colesterolo LDL; $T_{30 sec}$: tempo sui 30 secondi di sprint; $v10000/3000$: velocità sui 10000/3000; NP: dato non presente.



Discussione

La letteratura scientifica ci suggerisce che l'HIIT in soggetti sedentari abbia effetti positivi a livello metabolico (Tabata et al., 1996; MacDougall et al., 1998; Esfarjani e Laursen, 2007; Macpherson et al., 2011; Roxburgh et al., 2014), biochimico (Gibala, 2009; Terada et al., 2005; Perry, 2008; Burgomaster et al., 2005; Burgomaster et al., 2006; Jacobs et al., 2013) e muscolare (Simoneau et al., 1985; Kohn et al., 2011).

Effetti a livello metabolico

I valori di partenza di $3p_{2max}$ sono compresi tra un minimo di $51.6 \text{ mlkg}^{-1}\text{min}^{-1}$ e un massimo di $72.5 \text{ mlkg}^{-1}\text{min}^{-1}$. La media $3p_{2max}$ dei diversi studi considerati X di $60.0 \text{ mlkg}^{-1}\text{min}^{-1}$.

Con l'allenamento attraverso l'HIIT nel 50% dei casi il $3p_{2max}$ X migliorato, mentre nel restante 50% X restato invariato. Il miglioramento medio, considerando come 0% quello che non X variato con l'HIIT, X stato del 2.7%.

Andando invece a dividere gli studi che presentavano un valore di $3p_{2max}$ compreso tra $50.0 \text{ mlkg}^{-1}\text{min}^{-1}$ e $60.0 \text{ mlkg}^{-1}\text{min}^{-1}$ (41.2%) da quelli con $3p_{2max}$ superiore a $60.0 \text{ mlkg}^{-1}\text{min}^{-1}$ (58.8%), si pu  notare come nei primi il miglioramento medio del $3p_{2max}$ sia stato del 4.1%, mentre nei secondi dell'1.5%.

Il parametro collegato al $3p_{2max}$ X la $v3p_{2max}$, ovvero la velocit  associata al massimo consumo d'ossigeno. Nel 100% degli studi che hanno analizzato la risposta metabolica all'HIIT, a seguito di un miglioramento nel $3p_{2max}$, corrispondeva anche un miglioramento nella $v3p_{2max}$. Analogamente a quanto successo per la $v3p_{2max}$, anche il T_{max} , ov-

vero il tempo di esaurimento a $v3p_{2max}$, migliorava nel 100% dei casi in cui migliorava la $3p_{2max}$. Inoltre questo valore risultava aumentato anche in altri 2 studi in cui il $3p_{2max}$ non subiva variazioni a seguito dell'allenamento.

La performance di mezzofondo X un altro parametro analizzato negli studi presi in considerazione per questa review. Le distanze del mezzofondo sono state divise nelle due categorie principali di "mezzofondo veloce" e "mezzofondo prolungato": nella prima sono stati inseriti i 1500m e 3000m, nella seconda invece i 5000m e 10000m. Questa divisione X stata fatta in modo arbitrario, solo in funzione dell'analisi dei risultati, che, presi singolarmente, non offrivano una possibilit  di confronto significativa.

La performance di mezzofondo X stata analizzata nel 63.2% degli articoli trovati. Nel 41.7% di questi articoli si trattava di mezzofondo veloce, nel 41.7% di mezzofondo prolungato e nel 16.6% restante erano presenti prestazioni sia su distanze di mezzofondo veloce che di mezzofondo prolungato.

Dopo allenamento con HIIT la prestazione sui 1500m e 3000m X migliorata nell'85.7% degli studi (nel 14.3% non X cambiata) e complessivamente X migliorata del 3.6%. Sulle distanze del mezzofondo prolungato (5000m e 10000m) la prestazione ha subito un miglioramento nel 71.4% dei casi, con un abbassamento del 2.2% sul tempo sulla distanza.

In generale la performance di mezzofondo X risultata migliorata sia che i soggetti presentassero un valore di $3p_{2max}$ compreso tra $50.0 \text{ mlkg}^{-1}\text{min}^{-1}$ e $60.0 \text{ mlkg}^{-1}\text{min}^{-1}$, sia che presentassero un valore superiore a $60.0 \text{ mlkg}^{-1}\text{min}^{-1}$. Nei primi il miglioramento X risultato essere del 3.5%, nei secondi del 2.5%.

Oltre ai parametri metabolici quali $3p_{2max}$, $v3p_{2max}$ e T_{max} , e quelli relativi alla prestazione di mezzofondo, dagli studi sono emersi altri cambiamenti post-allenamento ad alta intensit .

Il primo di questi X l'economia di corsa (EC), misurata in $3p_{2}\text{kg}^{-1}\text{km}^{-1}$, che X migliorata nell'83.3% degli studi che andavano ad esaminarla. Nel restante 16.6% questa non ha subito cambiamenti. In 2 di questi studi X stato misurato anche il quoziente respiratorio (R): entrambi gli studi hanno riscontrato una diminuzione di questo valore, ad indicare uno sbilanciamento verso l'utilizzo di lipidi (Rf 0.7) rispetto ai carboidrati (Rf 1.0) (Toda et al., 2002; Westerterp, 1993).

Per quanto riguarda la velocità associata alla soglia del lattato (v_{LT}), nel 40% dei casi si assistette a un miglioramento di questa velocità, mentre nel restante 60% degli studi che l'hanno analizzata non sono stati osservati cambiamenti significativi.

Effetti a livello biochimico

Si sono registrati miglioramenti nell'espressione della pompa α_1 +a-K (2 studi) e α_2 +a-K (1 studio),

nella concentrazione di +HE1 (1 studio) e 2 CP3 (1 studio). Inoltre in altre 2 ricerche c'è stata una riduzione della concentrazione di K nel plasma e un abbassamento dei livelli di colesterolo LDL in circolo.

Effetti a livello muscolare

L'unico effetto riscontrato è stato a livello delle fibre bianche FTx, che in 1 studio sono aumentate in numero rispetto al gruppo di controllo.

RISULTATI in acuto								
Studio	Scopo dello studio	N	VO_{2max} (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)	Ripetizioni	Durata ripetizione	Intensità ripetizione	Durata recupero	Resultati
Bilal et al. 2010	Effetti in acuto dell'HIIT sul VO_2	8 M	59.8 ± 5.4	ad esaurimento	30 sec	100% vVO_{2max}	30 sec al 30% vVO_{2max}	Tempo al VO_{2max} ↓ [La]
Bilal et al. 2010	Effetti in acuto dell'HIIT sul VO_2	7 M	52.1 ± 6.5	ad esaurimento	15 sec	90% vVO_{2max}	15 sec al 30% vVO_{2max}	Tempo al VO_{2max} ↓ [La]
Bilal et al. 2010	Effetti in acuto dell'HIIT sul VO_2	7 M	52.1 ± 6.7	ad esaurimento	15 sec	100% vVO_{2max}	15 sec al 30% vVO_{2max}	Tempo al VO_{2max} ↓ [La]
James & Doust, 2008	Effetti in acuto dell'HIIT sul tempo di esaurimento	7 M	61.0 ± 7.2	6	300m	90-95% vVO_{2max}	180 sec	↑ VO_2
Collins et al. 2010	Effetti in acuto dell'HIIT	7 M	72.3 ± 5.3	10	400m	NP	60 sec	↑ VO_2 , ↑ EC
Collins et al. 2010	Effetti in acuto dell'HIIT	7 M	72.3 ± 5.3	10	400m	NP	120 sec	↑ VO_2 , ↑ EC
Collins et al. 2010	Effetti in acuto dell'HIIT	7 M	72.5 ± 5.3	10	400m	NP	180 sec	↑ VO_2 , ↑ EC
James & Doust, 1998	Effetti in acuto dell'HIIT sul VO_2	8 M	62.9 ± 1.7	6	300m	90-95% vVO_{2max}	180 sec	↑ VO_2 , ↑ FC, ↑ QR
Zaworsky et al., 1998	Analisi del recupero nell'HIIT sull'economia di corsa	12 M	72.5 ± 4.3	10	400m	NP	60 sec	↑ VO_2 , ↑ FC, ↑ QR
Zaworsky et al., 1998	Analisi del recupero nell'HIIT sull'economia di corsa	12 M	72.5 ± 4.3	10	400m	NP	120 sec	↑ VO_2 , ↑ FC, ↑ QR
Zaworsky et al., 1998	Analisi del recupero nell'HIIT sull'economia di corsa	12 M	72.5 ± 4.3	10	400m	NP	180 sec	↑ VO_2 , ↑ FC, ↑ QR
Brackman et al., 1991	Analisi del recupero nell'HIIT sul VO_2	7 F	61.0 ± 7.2	NP	120 sec	90% vVO_{2max}	120 sec	↑ recupero VO_2

Tabella 2 - descrizione e risultati degli studi in acuto inclusi nello studio. VO_{2max} : massimo consumo d'ossigeno; vVO_{2max} : velocità associata al massimo consumo d'ossigeno; VO_2 : consumo d'ossigeno; FC: frequenza cardiaca; EC: economia di corsa; [La]: concentrazione di lattato; QR: quoziente respiratorio; NP: dato non presente.

Discussione

La tabella 2 mostra invece i risultati dei protocolli HIIT in acuto. I valori di partenza di $3p_{2max}$ sono compresi tra un minimo di 52.1 mlkg⁻¹min⁻¹ e un massimo di 72.5 mlkg⁻¹min⁻¹. La media del massimo consumo d'ossigeno dei diversi studi considerati è di 65.3 mlkg⁻¹min⁻¹.

ogni studio presentava una differente tipologia di seduta ad alta intensità. Le variabili che differenziavano i vari studi erano il numero, la durata e l'intensità delle ripetizioni, la durata del recupero.

I risultati invece sono evidenziati nell'ultima colonna della tabella. A seguito di una seduta di HIIT si sono osservati i seguenti cambiamenti durante

e post-esercizio rispetto al gruppo di controllo che eseguiva una sessione a carattere continuo:

- b + el 100% dei casi il tempo totale di corsa a $3p_{2max}$ era maggiore nel gruppo che eseguiva HIIT (3 studi)
- b + el 62.5% degli studi il gruppo con HIIT raggiungeva un consumo di ossigeno maggiore in un successivo test incrementale (nel restante 37.5% nessuna variazione di consumo d'ossigeno)
- b In 1 studio X stato analizzato il recupero del $3p_2$, che X risultato piú veloce rispetto ad esercizio simile a carattere continuo
- b + el 100% dei casi si assiste ad un valore di FC post-esercizio piú alto rispetto al gruppo di controllo (4 studi)
- b + nessuna modificazione per quanto riguarda l'economia di corsa (3 studi)
- b Diminuzione della quantità di lattato presente al termine della seduta rispetto ad un esercizio simile continuo (3 studi)
- b In 4 studi, al contrario di quanto osservato nei risultati in cronico, il quoziente respiratorio X aumentato, ad indicare uno sbilanciamento verso l'utilizzo di carboidrati (. Rf 1.0) rispetto ai lipidi (. Rf 0.7).

Conclusioni

Dai risultati degli studi in acuto e in cronico si può notare come l'HIIT in soggetti allenati alla corsa non abbia effetti completamente analoghi rispetto a soggetti sedentari, poco allenati e/o sportivi di altre discipline. L'abitudine ad allenarsi a velocità e intensità vicine a quelle dell'HIIT tende a diminuirne la portata degli effetti allenanti. È noto infatti che la maggior parte dei runners allenati inseriscano nei propri programmi sedute ad alta intensità, sia a carattere continuo che intervallato, e questo potrebbe essere un fattore che contribuisce ad attenuare i miglioramenti in questi soggetti. Un ulteriore motivo potrebbe risiedere nel livello stesso degli atleti: soggetti piú allenati presentano margini di miglioramento minori di atleti meno allenati. Per questo anche in questa review X stato analizzato l'effetto dell'HIIT in relazione al $3p_{2max}$ di partenza dei soggetti presi in esame negli studi. Si X visto che all'aumentare del livello degli atleti (ovvero all'aumentare del $3p_{2max}$) tenda a diminuire l'effetto di un protocollo di HIIT sullo stesso $3p_{2max}$ e sulla performance di mezzofondo.

La relazione tra le due variabili ci permette però di osservare come la tendenza a diminuire sia mol-

to minore nella performance di mezzofondo. Questo perché il valore di $3p_{2max}$ X parzialmente definito geneticamente, mentre la performance di mezzofondo X influenzata da molte piú variabili. È noto infatti che in atleti d'élite il valore di $3p_{2max}$ non sia piú un parametro discriminante, ma siano altri i parametri da considerare nel miglioramento della performance: uno di questi X sicuramente l'economia di corsa (Conley e Krahenbuhl, 1980), che, dai dati presentati, risulta migliorata nell'83% degli studi in cronico.

Andando nel dettaglio ad analizzare i vari protocolli di HIIT, non X possibile definire un protocollo ideale di lavoro. Infatti si nota come ci siano risultati positivi con ogni tipologia di lavoro utilizzato e come, allo stesso tempo, non sempre lo stesso protocollo di allenamento generi lo stesso miglioramento in atleti diversi e di diverso livello di partenza.

La soluzione migliore che si può quindi proporre X quella di variare lo stimolo allenante costantemente, in modo da generare la piú grande variabilità di adattamenti. Parallelamente a questo un atleta d'élite deve prevedere giorni di recupero tra un allenamento ad alta intensità e l'altro, in cui i protagonisti dovranno per forza di cose essere il volume di lavoro e la bassa intensità. Questa accoppiata (HIIT e volume alto di lavoro nelle sedute complementari) sembrerebbe la via piú indicata per massimizzare i benefici dell'HIIT.

Su questa linea si stanno infatti muovendo i nuovi studi sull'allenamento polarizzato: abbinare a sedute ad alta intensità grandi volumi di lavoro a bassa intensità (Stöggl e Sperlich, 2014), in atleti giú allenati alla corsa di endurance, sembrerebbe la via migliore per migliorare ulteriormente le variabili performance, $3p_{2max}$ ed economia di corsa.

Si può concludere che l'HIIT in soggetti allenati alla pratica della corsa di endurance nell'atletica leggera provochi un miglioramento della performance, del metabolismo aerobico e anaerobico, dell'economia di corsa e, in misura minore, di altri fattori collegati alla prestazione di resistenza. Le cause di questi miglioramenti non sono ancora ben definite, ma si può presupporre che risiedano proprio nella capacità di poter sollecitare ad alte intensità l'organismo senza necessariamente minarne l'integrità o la continuità negli allenamenti. Una combinazione delle diverse tipologie di HIIT, abbinata ad un alto volume di lavoro nelle sedute di recupero, garantirebbe il miglior stimolo allenante in atleti di alto livello.

Bibliografia

- Acevedo E, Goldfarb AH; Increased training intensity effects on plasma lactate, ventilatory threshold, and endurance; *Med Sci Sports Exerc.* 1989, 21 (5): 563-8
- Bacon AP, Carter RE, Gle EA, Joyner MJ; $\dot{V}_{O_{2\max}}$ trainability and high intensity interval training in humans: a meta-analysis; *PLoS One* 2013, 8 (9): e73182
- Bangsbo J, Gunnarsson TP, Wendell J, Nybo L, Thomassen M; Reduced volume and increased training intensity elevate muscle α -K α pump α 2-subunit expression as well as short- and long-term work capacity in humans; *J Appl Physiol* 2009, 107 (6): 1771-80
- Barnes KR, Hopkins WG, McGuigan MR, Kilding AE; Effects of different uphill interval-training programs on running economy and performance; *Int J Sports Physiol Perform.* 2013, 8 (6): 639-47
- Billat G; Interval training for performance: a scientific and empirical practice; *Sports Med* 2001, 31 (1): 13-31
- Billat G, Demarle A, Paiva M, Koralsztejn JP; Effect of training on the physiological factors of performance in elite marathon runners (males and females); *Int J Sports Med.* 2002, 23 (5): 336-41
- Billat G, Slawinski J, Bocquet G, Chassaing P, Demarle A, Koralsztejn JP; 3ery short (15s-15s) interval-training around the critical velocity allows middle-aged runners to maintain $\dot{V}_{O_{2\max}}$ for 14 minutes; *Int J Sports Med.* 2001, 22 (3): 201-8
- Billat G, Slawinski J, Bocquet G, Demarle A, Lafitte L, Chassaing P, Koralsztejn JP; Intermittent runs at the velocity associated with maximal oxygen uptake enables subjects to remain at maximal oxygen uptake for a longer time than intense but submaximal runs; *Eur J Appl Physiol.* 2000, 81 (3): 188-96
- Blomqvist CG, Saltin B; Cardiovascular adaptations to physical training; *Annu Rev Physiol* 1983; 45: 169-89
- Brockman L, Berg K, Latin R; \dot{V}_{O_2} uptake during recovery from intense intermittent running and prolonged walking; *J Sports Med Phys Fitness.* 1993, 33 (4): 330-6
- Buchheit M, Laursen PB; High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle (Part I); *Sports Med* 2013, 43: 313-338
- Burgomaster KA, Hughes SC, Heigenhauser GJ, Bradwell S, Gibala MJ; Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans; *J Appl Physiol* 2005, 98 (6): 1985-90
- Burgomaster KA, Heigenhauser GJ, Gibala MJ; Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-trial performance; *J Appl Physiol* 2006, 100 (6): 2041-7
- Christensen EH, Hedman R, Saltin B; Intermittent and continuous running; *Acta Physiol Scand* 1960, 50: 269-86
- Collins MH, Pearsall DJ, Zavorsky GS, Bateni H, Turcotte RA, Montgomery DL; Acute effects of intense interval training on running mechanics; *J Sports Sci.* 2000, 18 (2): 83-90
- Conley DL, Krahenbuhl GS; Running economy and distance running performance of highly trained athletes; *Med Sci Sports Exerc.* 1980, 12 (5): 357-60
- Daniels JT, Scardina R, Hayes J, Foley P; Elite and subelite female middle- and long-distance runners; *Human Kinetics Publishers* 1986, 57-72
- Esfarjani F, Laursen PB; Manipulating high-intensity interval training: effects on $\dot{V}_{O_{2\max}}$, the lactate threshold and 3000m running performance in moderately trained males; *Journal of Science and Medicine in Sport* 2007, 10: 27-35
- Ferley DD, Sborn RW, Zukovich MD; The effects of uphill vs. level-grade high-intensity interval training on $\dot{V}_{O_{2\max}}$, $\dot{V}_{O_{2\max}}$, $\dot{V}_{O_{2\max}}$, $\dot{V}_{O_{2\max}}$, and T_{\max} in well-trained distance runners; *J Strength Cond Res.* 2013, 27 (6): 1549-59
- Franch J, Madsen K, Djurhuus MS, Pedersen PK; Improved running economy following intensified training correlates with reduced ventilatory demands; *Med Sci Sports Exerc.* 1998, 30 (8): 1250-6
- Gibala MJ; Molecular responses to high-intensity interval exercise; *Appl. Physiol. + utr. Metab.* 2009, 34: 428-432
- Gunnarsson TP, Bangsbo J; The 10-20-30 training concept improves performance and health profile in moderately trained runners; *J Appl Physiol* 2012, 113 (1): 16-24
- Laia FM, Hellsten G, Nielsen JJ, Fernström M, Sahlin K, Bangsbo J; Four weeks of speed endurance training reduces energy expenditure during exercise and maintains muscle oxidative capacity despite a reduc-

tion in training volume; *J Appl Physiol* 2009, 106 (1): 73-80

laia FM, Thomassen M, Kolding H, Gunnarsson T, Wendell J, Rostgaard T, +ordsborg +, Krstrup P, +ybo L, Hellsten 6, Bangsbo J; Reduced volume but increased training intensity elevates muscle +a+-K+ pump alpha1-subunit and +HE1 expression as well as short-term work capacity in humans; *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2008, 294 (3): R966-74

Jacobs RA, Flück D, Bonne TC, Bürgi S, Christensen PM, Toigo M, Lundby C; Improvements in exercise performance with high-intensity interval training coincide with an increase in skeletal muscle mitochondrial content and function; *J Appl Physiol* 2013, 115 (6): 785-93

James D3, Doust JH; Time to exhaustion during severe intensity running: response following a single bout of interval training; *Eur J Appl Physiol*. 2000, 81 (4): 337-45

James D3, Doust JH; ,xygen uptake during moderate intensity running: response following a single bout of interval training; *Eur J Appl Physiol , ccup Physiol*. 1998, 77 (6): 551-5

Kohn TA, EssVÅ-Gustavsson B, Myburgh KH; Specific muscle adaptations in type II fibers after high-intensity interval training of well-trained runners; *Scand J Med Sci Sports* 2011, 21 (6): 765-72

Laursen PB, Jenkins DG; The scientific basis for high-intensity interval training; *Sports Med* 2002, 32 (1): 53-73

MacDougall JD, Hicks AL, MacDonald JR, McKelvie RS, Green HJ, Smith KM; Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training; *Journal of Applied Physiology* 1998, 84: 2138-2142

Macpherson RE, Hazell TJ, , lver TD, Paterson DH, Lemon PW; Run sprint interval training improves aerobic performance but not maximal cardiac output; *Med Sci Sports Exerc* 2011, 43: 115-122

Magel JR, Foglia GF, McArdle WD, Gutin B, Pechar GS, Katch FI; Specificity of swim training on maximum oxygen uptake; *J Appl Physiol*. 1975, 38 (1): 151-5

Muñoz I, Seiler S, Bautista J, España J, Larumbe E, Esteve-Lanao J; Does polarized training improve performance in recreational runners. ; *Int J Sports Physiol Perform*. 2014, 9 (2): 265-72

Perry CGR, Heigenhauser GJF, Bonen A, Spriet LL; High-intensity aerobic interval training increases fat and carbohydrate metabolic capacities in human skeletal

muscle; *Appl. Physiol. +utr. Metab*, 2008; 33: 1112-1123

Reindell H, Roskamm H; Ein beitrage zu den physiologischen grundlagen des intervall training unter besonderer berücksichtigungdes kreilaufes; *Schweiz 7 Sportmed* 1959, 7: 1-8

Reindell H, Roskamm H, Gerschler W; Das intervall training; John Ambrosius Barth Publishing 1962

Roxburgh BH, +olan PB, Weatherwax RM, Dalleck LC; Is moderate intensity exercise training combined with high intensity interval training more effective at improving cardiorespiratory fitness than moderate intensity exercise training alone. ; *J Sports Sci Med*. 2014, 13 (3): 702-7

Simoneau JA, Lortie G, Boulay MR, Marcotte M, Thibault MC, Bouchard C; Human skeletal muscle fiber type alteration with high-intensity intermittent training; *European Journal of Applied Physiology and , ccupational Physiology* 1985, 54 (3): 250-253

Smith TP, Coombes JS, Geraghty DP; , ptimising high-intensity treadmill training using the running speed at maximal , (2) uptake and the time for which this can be maintained; *Eur J Appl Physiol*. 2003, 89 (3-4): 337-43

Smith TP, Mc+ aughton LR, Marshall KJ; Effects of 4-wk training using 3max/Tmax on 3, 2max and performance in athletes; *Med Sci Sports Exerc*. 1999, 31 (6): 892-6

Stöggel T, Sperlich B; Polarized training has greater impact on key endurance variables than threshold, high intensity, or high volume training; *Front Physiol*. 2014, 4: 5-33

Tabata I, +ishimura K, Kouzaki M, Hirai 6, , gita F, Miyachi M, 6amamoto K; Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and 3, 2max; *Med. Sci. Sports Exerc*. 1996, 28 (10): 1327-30

Toda K, , shida 6, Tokudome M, Manzai T, Sato 6; Effects of moderate exercise on metabolic responses and respiratory exchange ratio (RER); + agoya *J Med Sci*. 2002, 65 (3-4): 109-13

Westerterp KR; Food quotient, respiratory quotient, and energy balance; *Am J Clin +utr*. 1993, 57 (5): 759S-764S

7avorsky GS, Montgomery DL, Pearsall DJ; Effect of intense interval workouts on running economy using three recovery durations; *Eur J Appl Physiol , ccup Physiol*. 1998, 77 (3): 224-30