



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA
"TOR VERGATA"**

FACOLTA' DI MEDICINA E CHIRURGIA

DOTTORATO DI RICERCA IN

SCIENZE DELLO SPORT

XXII
CICLO DEL CORSO DI DOTTORATO

Il costo energetico di varie forme di locomozione umana :
implicazioni teoriche e pratiche

dottorando: Antonio Buglione

A.A. 2009/2010

Docente Guida/Tutor: Prof. Pietro Enrico di Prampero

Coordinatore: Prof. Antonio Lombardo

Indice

Ringraziamenti	pag. 3
Articoli pubblicati durante il corso del dottorato	pag. 4 - 5
Obiettivo del dottorato di ricerca	pag. 6
Cenni storici del costo energetico delle forme di locomozione umana studiate nel corso dei tre anni di dottorato : cammino, corsa e kayak	pag. 7 - 10
Materiali e Metodi	pag. 11- 19
I studio : Il costo energetico della corsa a navetta continua ed intermittente; (pubblicato in parte su SdS n. 72)	pag. 20 - 31
II studio : Effetti di 5 settimane di allenamento a navetta intermittente sul costo energetico; (pubblicato in parte su Scienza e Sport n. 5 e 6)	pag. 32 - 43
III studio : Il costo energetico della corsa di calciatori professionisti prima e dopo 2 mesi di allenamento; (pubblicato in parte su Scienza e Sport n. 5 e 6)	pag. 44 - 52
IV studio : Il costo energetico e lo yo-yo endurance test di calciatori professionisti (C1) prima della preparazione e dopo sei mesi di allenamento e gare; (pubblicato in parte su Scienza e Sport n. 5 e 6)	pag. 53 - 60

V studio :

Differenza tra il costo energetico della corsa continua in linea

ed intermittente a navetta di calciatori e maratoneti;

(pubblicato in parte su Scienza e Sport n. 5 e 6)pag. 61 - 66

VI studio :

Il costo energetico del cammino in piano ed in salita di maschi e femmine e

gli effetti di due metodiche di allenamento differenti, continua ed intermittente,

sul costo energetico del cammino;pag. 67 - 78

VII studio :

Energetica della prestazione migliore di kayakers e canoisti d'elite

(pubblicato in parte sulla rivista SdS n.80)

(l'articolo è stato sottoposto alla rivista Medicine and Science in Sports and Exercise)-pag. 79 - 106

Discussioni e conclusioni generali.....pag. 107 -111

Bibliografiapag. 112 - 116

Ringraziamenti

Innanzitutto ringrazio la mia famiglia natia, Papà, Mamma, Paola, e la nuova, Maria Teresa e Giorgia, per avermi sostenuto durante questi anni di studio;

il Prof. Roberto Colli, per avermi insegnato tanto, nel corso degli anni di attività svolte, come cultore della materia “Metodologia dell’Allenamento” presso il corso di Laurea in Scienze Motorie e lo Human Performance and Trainig Lab “ Carmelo Bosco” dell’Università degli Studi di Roma Tor Vergata;

il Prof. Stefano D’Ottavio per avermi dato la possibilità di svolgere attività di ricerca presso lo Human Performance and Trainig Lab “ Carmelo Bosco”, di cui è direttore, e d’insegnare presso il corso di Laurea in Scienze Motorie dell’Università degli Studi di Roma Tor Vergata, e l’opportunità di fare delle valutazioni su squadre di calcio di professionistiche;

il Prof. Antonio Lombardo, che mi ha dato la possibilità di frequentare il dottorato di ricerca;

il Prof. Attilio Sacripanti per aver concesso allo Human Performance and Trainig Lab “ Carmelo Bosco” l’utilizzo del metabolometro (K4b²), grazie al quale sono stati possibili tutti gli studi effettuati;

tutti i dottori di ricerca ed i dottorandi in scienze dello sport, gli studenti che ho seguito durante le tesi di laurea triennale, master e specialistica, grazie ai quali ho migliorato, continuamente, il livello delle mie conoscenze; e tutti i ragazzi e le ragazze, atleti ed atlete, che hanno partecipato, volontariamente, ai protocolli di ricerca;

“last but not least “, un ringraziamento particolare va al Prof. Pietro Enrico di Prampero per aver accettato di essere la guida ufficiale del dottorato, ed avermi concesso la possibilità di frequentare il suo laboratorio di ricerca, permettendomi di partecipare ad una delle sue sperimentazioni sul costo energetico, e per aver migliorato, grazie alle sua “magnitudo”, la qualità delle mie ricerche effettuate.

Articoli Pubblicati durante il corso del dottorato:

Energetics of best performances in elite kayakers and canoeists

Antonio Buglione, Stefano Lazzer, Roberto Colli, Elisabetta Introini, Pietro Enrico di Prampero

articolo sottoposto alla rivista Medicine and Science in Sports and Exercise

I cambi di senso e direzione negli sport di squadra - Aspetti biomeccanici e metabolici (seconda parte)

Roberto Colli, Antonio Buglione, Luigi Lucarini, Vito Azzone

Scienza & Sport Anno II numero 6 Aprile/Giugno 2010 pag. 72-77

I cambi di senso e direzione negli sport di squadra - Aspetti biomeccanici e metabolici (prima parte)

Roberto Colli, Antonio Buglione, Luigi Lucarini, Vito Azzone

Scienza & Sport Anno II numero 5 Gennaio/Marzo 2010 pag. 66-71

Dalla valutazione aerobica delle 4 mMol di Mader ai metodi attuali: l'applicazione pragmatica dell'allenatore e la verifica teorica successiva

Roberto Colli, Antonio Buglione, Fabio De Sisti, Elisabetta Introini

Elav Journal Anno II numero 8 Dicembre 2009 pag. 48-57

Modelli di prestazione del calcio e match analysis: un'analisi critica

Roberto Colli, Vito Azzone, Luigi Lucarini, Antonio Buglione

Elav Journal Anno II numero 7 Settembre 2009 pag. 12-17

Il costo energetico nella canoa-kayak

Roberto Colli, Elisabetta Introini, Antonio Buglione, Vito Azzone, Michele Paternoster

SdS - Scuola dello Sport Anno XXVIII , nuova serie, numero 80 Gennaio-Marzo 2009 pag. 55-66

Valutazione del costo energetico e del V'O₂ max nel kayak al pagaierometro e in barca

Roberto Colli, Elisabetta Introini, Antonio Buglione, Vito Azzone, Michele Paternoster

Nuova Canoa Ricerca Federazione Italiana Canoa Kayak

Anno XXII numero 66 Agosto/Novembre 2008 pag 3-20

Plasma nefa variations induced by three different short-term exercises

S. Masini, A. Buglione, R. Colli, S. D'Ottavio, G. Fucci, K. Piccoli, R. Massoud, G. Federici,
S. Bernardini

Poster 40° Congresso Nazionale SIBioC 2008

riassunto poster, biochimica clinica, 2008, vol. 32, n°5, p.469

L'allenamento intermittente tra scienza e prassi

Roberto Colli, Antonio Buglione, Elisabetta Introini, Stefano D'Ottavio

SdS - Scuola dello Sport Anno XXVI , nuova serie, numero 72 Gennaio-Marzo 2007 pag. 45-52

Obiettivo del dottorato di ricerca

Lo scopo principale del dottorato è stato quello di studiare il costo energetico di varie forme di locomozione umana. Alcune di queste sono state valutate prima e dopo un periodo di allenamento, su un numero limitato di soggetti, per analizzare le eventuali variazioni dovute all'esercitazioni effettuate.

Le forme di locomozione studiate sono state:

- a) la corsa in piano, in linea ed a navetta, con metodica continua ed intermittente;
- b) la corsa a navetta intermittente con cambi di senso normali e rapidi e gli effetti di 5 settimane di allenamento sul costo energetico della corsa in linea ed a navetta intermittente;
- c) la corsa continua in linea ed a navetta intermittente di calciatori professionisti prima e dopo un periodo di allenamento;
- d) lo yo-yo endurance test ed il costo energetico della corsa in linea di calciatori professionisti prima e dopo un periodo di allenamento;
- e) la differenza tra il costo energetico della corsa in linea ed a navetta di calciatori professionisti e di maratoneti amatori di buon livello;
- f) il cammino in piano ed in salita, di soggetti, maschi e femmine, fisicamente attivi e gli effetti dell'allenamento sul costo energetico del cammino in piano ed in salita;
- g) la pagayata di kayakers e canoisti (canoa canadese) d'elite;

Cenni storici sul costo energetico delle forme di locomozione studiate nel corso dei tre anni di dottorato: cammino, corsa e kayak

Costo energetico del cammino

Nella seconda metà del 19° secolo, Smith (1859), Gruber (1891), Sonden e Tigersted(1895) hanno misurato il costo energetico del cammino in piano a velocità comprese tra 3,2 e 4,8 km · h⁻¹. I valori riportati da questi autori sono compresi tra 0,32 e 0,52 kcal · kg⁻¹ · km⁻¹, e sorprendentemente sono vicini a quelli attualmente misurati.

All'inizio del 20° secolo, Bresina e Kolmer (1912) e Bresina e Reichel (1914) hanno stabilito che il costo energetico del cammino, per kilogrammo di peso trasportato ed unità di distanza, incrementa in maniera molto evidente a circa 4,8 km · h⁻¹. Kantzenstein (1891), Schumburg e Zuntz (1896), e Loewy ed altri (1897) hanno indagato sul costo energetico del cammino in salita ed hanno calcolato l'efficienza del potenziale energetico degli scambi metabolici, ottenendo valori compresi tra 20% e 37%. Galeotti ed Altri (1914) hanno determinato il costo energetico del cammino in altitudine (2900m) presso il laboratorio A. Mosso sul Monte Rosa. I valori ottenuti sono compresi tra 0,37 e 0,55 kcal · kg⁻¹ · km⁻¹ e risultano simili a quelli misurati da altri autori, a livello del mare.

I primi studi effettuati in maniera ampia sul costo energetico del cammino sono stati svolti da Margaria nel 1938 a velocità comprese tra 0,5 e 9,5 km⁻¹ · h⁻¹ e pendenza compresa tra + 40% e - 40% (di Prampero, 1986).

Cavagna e Coll. (1983) hanno evidenziato che per ogni inclinazione esiste una velocità ottimale, che si riduce con il diminuire della statura, alla quale il costo energetico risulta minimo. A velocità comprese tra 0,69 e 2,08 m · s⁻¹, il costo energetico è minimo alla velocità corrispondente alla frequenza del passo scelta spontaneamente dal soggetto (Minetti e Coll., 1995).

Minetti e Coll. (1995) hanno confermato, i dati di Margaria (1938), secondo i quali la pendenza più economica sia in salita che in discesa è intorno al 25% .

Menier e Pugh (1968) indicano che il costo energetico della marcia competitiva, per velocità superiori ai 2 m · s⁻¹, è inferiore a quello della marcia ordinaria. Tuttavia, a massima velocità raggiungibile, circa 4 m · s⁻¹, il costo energetico della marcia competitiva è del 20% superiore a quello della corsa alla stessa velocità.

Costo energetico della corsa

Il costo energetico della corsa è stato determinato da Waller (1919) e da Liljestränd e Stenström (1919), riportando valori compresi tra 0,8 ed 1,3 kcal · kg⁻¹ · km⁻¹, che non sono molto lontani da quelli accettati attualmente. Hill (1927) è stato, probabilmente, il primo autore, che ha studiato gli effetti della resistenza dell'aria durante la corsa (di Prampero, 1986)

Uno studio approfondito sul costo energetico della corsa, così come nel cammino, è stato svolto da Margaria nel 1938 a velocità comprese tra 6,5 e 15 km⁻¹ · h⁻¹ e pendenza tra + 5% e - 30%.

Il costo energetico (C_r) della corsa, secondo alcuni autori prestigiosi, è indipendente dalla velocità di corsa, fino a velocità di 22 km/h, e può essere considerato costante e dell'ordine di 3,8 kJ per kg e per km di percorso (0,9 kcal⁻¹ · kg⁻¹ · km⁻¹) Margaria (1938), Margaria ed Altri (1963), di Prampero (1986, 2002). Åstrand nel 1956 ha osservato che tra gli adulti le variazioni del costo energetico della corsa sono abbastanza piccole, ed il consumo d'ossigeno per kg di peso corporeo è simile a prescindere dal sesso e dal livello atletico. Fox e Costill (1972) hanno riportato che il costo energetico dei mezzofondisti è del 5-10% superiore a quello dei maratoneti, le valutazioni sono state fatte sui migliori atleti del tempo nelle due specialità. Le differenze del C_r per kg di peso e metro percorso, in eccellenti corridori, sono molto piccole, Margaria e Altri (1975); in atleti ben allenati, che corrono a 20 km/h in piano varia solo tra 67 e 71 ml⁻¹ · min⁻¹ · kg⁻¹, Karlsson ed Altri (1972). La variabilità intersoggettiva del costo energetico della marcia e della corsa, in soggetti adulti, quando C_r è espresso per kg di massa corporea, è molto ridotto, dell'ordine del ± 5 % , di Prampero (2002). Questo probabilmente è dovuto al fatto che i meccanismi nervosi di controllo della marcia e della corsa , locomozioni naturali per antonomasia, lasciano ben poco margine a possibili modificazioni acquisite. Infatti, anche in atleti di grande esperienza ed eccellente prestazione, il costo energetico della corsa non si allontana molto dai valori medi osservati in soggetti sedentari, di Prampero (2002).

Costo energetico del kayak:

Il kayak K1 standard Olimpico è stato studiato da Tesch ed Altri (1976), invece il costo energetico del kayak standard e da slalom è stato valutato da Pendergast ed Altri (1989). Successivamente Zamparo e Altri (1999) hanno misurato il costo energetico di kayaker di basso livello, mentre Pendergast ed Altri (2003) hanno analizzato i fattori che incidono su C in diverse forme di locomozione umana in acqua, compreso il kayak .

Il costo energetico della locomozione umana

La locomozione umana, come qualsiasi mezzo di trasporto a motore, necessita di una data quantità di energia, per poter percorrere una certa distanza: come una comune automobile consuma alcuni litri di benzina per percorrere determinati chilometri, così anche l'uomo necessita di un quantitativo di energia per percorrere una determinata distanza. Il costo energetico come nell'automobile indica i litri consumati (esempio 25 km con 1 litro di carburante), allo stesso modo nell'uomo il costo energetico (C) denota l'energia necessaria per la percorrenza di una certa distanza (m o km) e può essere espresso in , Joule (J), kiloJoule (kJ), calorie (cal), kilocalorie (kcal), watt (w), kilowatt (kw), litri o millilitri di ossigeno ((L o ml di O₂). Per poter convertire una unità di misura in una altra, basta ricordare che nel corpo umano 1 L di O₂ consumato sviluppa 5 kcal o 21 kJ . Normalmente C viene espresso al netto, cioè al di sopra del valore di riposo, perché, se, invece di percorre una certa distanza nello stesso tempo, il soggetto fosse rimasto in una posizione di riposo, avrebbe consumato, comunque, una quantità di energia necessaria alle sue funzioni vitali. Infatti, come una automobile, ferma sul posto, con il motore acceso, consuma una quantità minima di carburante, che consenta al motore di girare al minimo, senza spegnersi, così anche l'essere umano, a riposo, ha bisogno di una quantità minima di energia, che gli permetta di vivere. Questa energia aumenta, se la persona riposa ferma, da posizione decubita supina, seduta, in piedi o seduta su un kayak (K1) in acqua piatta.

Sulla base di quanto è stato espresso, l'energetica della locomozione umana descrive quantitativamente il dispendio energetico dell'uomo in movimento.

C è la quantità di energia necessaria a percorrere una distanza unitaria e generalmente si esprime in $\text{kJ} \cdot \text{km}^{-1}$ o $\text{J} \cdot \text{m}^{-1}$ oppure in valori relativi al peso corporeo $\text{kJ} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ o $\text{J} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Il dispendio energetico per unità di tempo, definito potenza metabolica \dot{E} , è dato dal prodotto del costo energetico (C) per la velocità (di Prampero 1985, 1986):

$$\dot{E} = C \cdot v \quad (1)$$

da questa equazione per una semplice trasposizione di termini si ottiene:

$$v = \dot{E} / C \quad (2)$$

\dot{E} risulterà in kW, quando C viene espresso in $\text{kJ} \cdot \text{km}^{-1}$ e v in $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ invece

\dot{E} risulterà in $\text{kcal} \cdot \text{h}^{-1}$, quando C viene espresso $\text{kcal} \cdot \text{km}^{-1}$ e v in $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$

La massima velocità (v^{\max}) di ogni forma di locomozione umana è data dal rapporto tra la potenza metabolica massima (\dot{E}^{\max}) del soggetto divisa per il costo energetico della locomozione in questione, che, a sua volta, è funzione della velocità.

$$v^{\max} = \dot{E}^{\max} / C \quad (3)$$

L'equazione 3 è valida quali che siano le fonti energetiche del lavoro muscolare, ma è particolarmente utile in condizioni aerobiche, nel lavoro di lunga durata. In questo caso la massima potenza muscolare è ben definita ed è rappresentata dal massimo consumo di ossigeno ($V'O_2^{\max}$), una caratteristica individuale facile da determinare in laboratorio o sul campo. Quindi

$$v_a^{\max} = F \cdot V'O_2^{\max} / C \quad (4)$$

nell'equazione 4 v_a^{\max} rappresenta la massima velocità in condizioni aerobiche ed F è la frazione del $V'O_2^{\max}$ effettivamente utilizzabile durante l'esercizio (di Prampero 1985, 1986).

Materiali e Metodi

In tutti gli studi effettuati, durante il corso del dottorato, sono state utilizzate sempre le stesse attrezzature e le stesse metodologie di applicazione, ad eccezione di quelle espressamente specificate.

Consenso Informato

I soggetti sono stati informati sulle prove da svolgere ed hanno dato il loro consenso informato allo svolgimento delle stesse; i minorenni, invece, sono stati autorizzati dai propri genitori allo svolgimento delle prove.

Familiarizzare con le attrezzature utilizzate nelle prove da effettuare

Prima dello svolgimento delle prove, i soggetti hanno familiarizzato con le attrezzature e le modalità concernenti lo svolgimento delle rispettive prove.

Riscaldamento

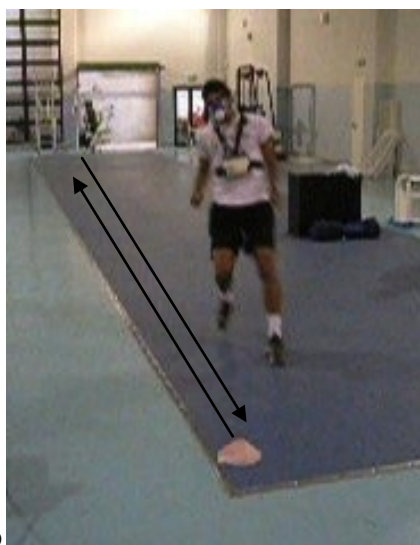
Prima delle prove non veniva effettuato nessun riscaldamento, perché la prima delle prove svolte era sub massimale; esempio 6' di corsa continua uniforme in linea sul nastro ad 8 o 10 km/h.

Consumo di ossigeno

Per misurare il consumo di ossigeno ($\dot{V}O_2$), è stato utilizzato il metabolimetro portatile K4b² Cosmed, Italia, che analizza gli scambi ventilatori e respiratori respiro per respiro (foto 1a,b,c).



1a



1b



1c

Nella Foto1 il K4b² è utilizzato durante: corsa e cammino in linea, 1a; corsa a navetta,1b; kayak, 1c.

Prima di ogni singola misura, sono state utilizzate tutte le procedure di calibrazione indicate dalla casa costruttrice. I sensori dell'ossigeno (O_2) e dell'anidride carbonica (CO_2) sono stati calibrati con i gas noti di riferimento (16% O_2 e 5% CO_2); la turbina è stata tarata con una siringa da 3 L, ed il tempo di ritardo (delay) dei gas, dalla bocca all'analizzatore, è stato calcolato insufflando aria al segnale sonoro stabilito.

Durante le valutazioni, il metabolimetro è stato collocato nell'apposito zaino sulle spalle del soggetto. I dati venivano registrati dall'unità centrale, e visualizzati, in tempo reale, sul personal computer tramite l'invio del segnale in telemetra.

Il consumo di ossigeno è stato misurato continuamente durante lo svolgimento di ogni prova e, nel corso dei primi 6' di recupero, dopo la fine della prova stessa.

I criteri adottati per determinare il massimo consumo di ossigeno ($V'O_2^{max}$) sono stati: RER pari o superiore a 1.1 e/o lattato ematico pari o superiore a 8 mM e/o raggiungimento della frequenza cardiaca al valore massimo calcolato in base all'età del soggetto ($220 - \text{età}$). Nei casi in cui il $V'O_2$ misurato non rispettasse almeno uno dei criteri sopra elencati, si valutava il picco del consumo di ossigeno misurato ($V'O_2^{peak}$).

I dati del $V'O_2$, per calcolare il costo energetico, sono stati analizzati con il filtraggio ogni minuto; invece per valutare il $V'O_2^{max}$, i dati sono stati mediati ogni 15 secondi, tranne nei protocolli sul cammino in salita delle femmine, in cui i valori sono stati analizzati ogni minuto.

Frequenza Cardiaca

La frequenza cardiaca (F.c.) è stata misurata e registrata, utilizzando i cardiofrequenzimetri, a fascia toracica, polar team system, Finlandia (foto 2). Per misurare la frequenza cardiaca massima sono stati analizzati i dati ogni 5 secondi.



Foto 2, cardiofrequenzimetro a fascia toracica polar

Lattato Ematico

Il lattato ematico è stato analizzato con il lattacidometro Arkray Lactate Pro, Tokyo Giappone, (foto3a) tramite microprelievo di una goccia di sangue dal lobo dell'orecchio (foto 3b). Il prelievo è stato effettuato subito dopo la fine della prova oppure al terzo minuto di recupero dopo la fine della prova stessa e sarà sempre specificato in tutti gli studi.



3a



3b

Foto 3: lattacidometro Arkray Lactate Pro, 3a; prelievo al lobo dell'orecchio, 3b.

Velocità di corsa in linea ed a navetta, continua ed intermittente

la corsa continua uniforme in linea

La corsa continua uniforme, in linea, è stata svolta sul nastro trasportatore, Technogym Excite 900 oppure Run Race, il quale viene sempre specificato (Foto 4 a e b).



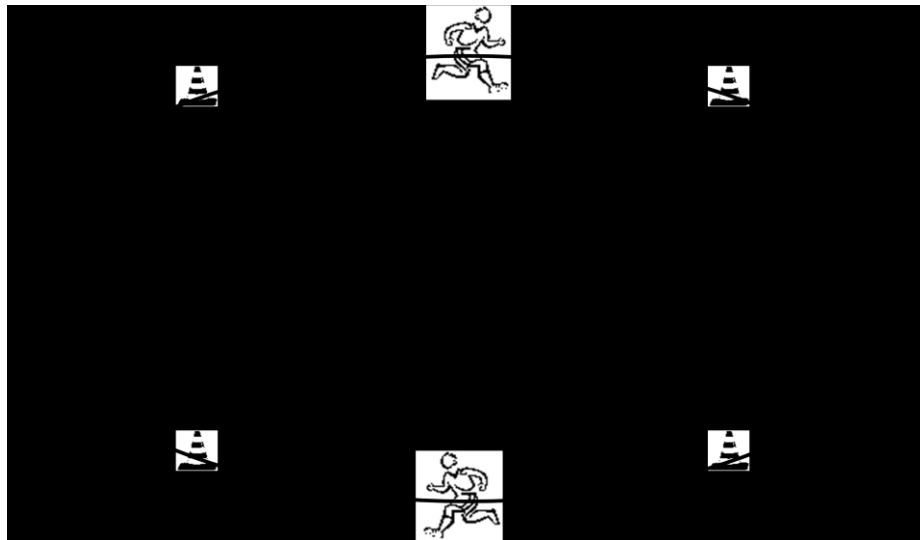
Foto 4a: run race



Foto 4b: excite 900

La velocità del nastro è stata controllata periodicamente, tramite misura cronometrica della distanza percorsa (lunghezza del nastro) in 60 secondi, a due velocità con il soggetto che correva sul nastro. Per le valutazioni, prima e dopo un periodo di allenamento, è stato utilizzato sempre lo stesso nastro trasportatore, possibilmente, nelle stesse condizioni.

La corsa continua uniforme, in linea, al suolo, è stata effettuata su un percorso a forma di un anello ovale di 80 metri di circonferenza, con coni posti a terra ogni 20m (figura 5)



Nella figura 5 è disegnato il percorso a forma di un anello ovale di 80 metri di circonferenza.

La velocità è stata regolata da un dettato sonoro computerizzato, diffuso per mezzo di casse acustiche, che scandiva il tempo e quindi la velocità di percorrenza, su una distanza determinata (20m), permettendo di mantenere e controllare la velocità richiesta; al suono il soggetto doveva trovarsi in corrispondenza del cono stabilito.

Corsa a navetta continua ed intermittente

La corsa a navetta con metodica continua ed intermittente è stata svolta su un tratto lineare, delimitato da due coni, posti ad una distanza fissa, che è sempre specificata (esempio 20 metri), da percorrere a navetta, avanti ed indietro, in un determinato tempo, anch'esso sempre specificato (esempio 7 secondi), ed al suono (beep) il soggetto, come nella corsa in linea, doveva trovarsi in corrispondenza del cono stabilito (figura 6)



La Figura 6 descrive la corsa a navetta

Corsa a navetta intermittente con cambio di senso normale e rapido

La corsa a navetta intermittente è stata svolta con due modalità esecutive differenti: con cambio di senso normale e rapido.

Nel cambio di senso normale, il soggetto iniziava la corsa con una normale accelerazione, tale da consentire di mantenere la velocità media richiesta, sul tratto stabilito, ed effettuava il cambio di senso in maniera soggettiva, ma graduale; invece, nel con cambio di senso rapido, il soggetto cominciava la corsa, accelerando, al massimo, per i primi 4-5m, e successivamente manteneva la velocità media richiesta, al beep cambiava senso nella maniera più rapida possibile ed accelerava al massimo per 4-5m, mantenendo, poi, la velocità media richiesta.

Test Incrementali

a) Yo-Yo- endurance test livello 1

Lo Yo-Yo endurance test livello 1 è una prova incrementale massimale e si svolge correndo a navetta su 20m. Il test inizia da una velocità di 8 km/h, dettata da un beep sonoro, che viene incrementata di 0,5 km/h ogni minuto, fino ad esaurimento del soggetto, consistente nell'impossibilità di mantenere la velocità richiesta. Però, dal momento che è stato svolto sempre dopo due prove di 6' a intensità, sub massimali, diverse, la velocità iniziale del test, durante tutti gli studi effettuati, è stata di 10 km/h, corrispondente allo step 5 dello yo-yo endurance test livello 1.

b) Test incrementale di corsa sul nastro trasportatore

Il test incrementale sul nastro trasportatore iniziava da una velocità di 10 km/h, che veniva incrementata di 1 km/h ogni minuto, fino ad esaurimento del soggetto.

c) Test incrementale di cammino sul nastro trasportatore

Il protocollo incrementale sul cammino, che è stato effettuato solamente dalle femmine, consisteva in tre prove di 4 minuti alla velocità costante di 5 km/h e ad inclinazione differente 5, 10 e 15% oppure in tre prove di 4 minuti a differenti velocità ed inclinazioni 4 km/h - 4% , 5km/h - 5% e 6

km/h - 6%; al termine dell'ultima di queste tre prove, mantenendo invariata la velocità del cammino, (5 o 6 km/h) l'inclinazione veniva aumentata dell'1% ogni minuto fino ad esaurimento del soggetto.

Nei tre test incrementati su indicati, sono stati misurati i seguenti parametri: il massimo consumo di ossigeno o il picco ($\dot{V}O_2^{\max}$ oppure $\dot{V}O_2^{\text{peak}}$), la frequenza cardiaca massima (F.c.^{max}) e la massima velocità e distanza raggiunta.

Calcolo del costo energetico

Il costo energetico (C), a velocità sub massimali, è supportato dall'energia prodotta dal metabolismo aerobico, e viene calcolato dividendo il consumo di ossigeno, misurato allo stato stazionario, ad una certa velocità, per la velocità stessa (Margaria, 1938, 1963; di Prampero, 1985, 1986). Invece, a velocità massimali e sopra massimali, non è più possibile calcolare C dallo stato stazionario, perché è sostanziale l'intervento dei sistemi anaerobici, alattacido e lattacido. Per questo motivo C, nel presente lavoro viene calcolato, misurando tutte e tre le componenti, aerobica, anaerobica alattacida ed anaerobica lattacida, secondo la metodica proposta dal Prof. di Prampero (1973, 1993). Questa metodica prevede la misura del consumo di ossigeno durante l'esercizio e nei primi 6 minuti di recupero successivi. Il consumo di ossigeno è valutato al netto del valore di riposo, ottenuto sottraendo il $\dot{V}O_2$ pre-esercizio (assunto pari a 3,5 ml/min/kg).

La componente aerobica (Aer) è stata ottenuta, misurando l'integrale dal tempo 0 fino alla fine dell'esercizio, il $\dot{V}O_2$ netto durante l'esercizio (media ogni 60 secondi); Il dispendio energetico anaerobico alattacido (AnAl) è stato ottenuto dalla cinetica del $\dot{V}O_2$ determinata nei primi sei minuti di recupero. I valori netti di $\dot{V}O_2$, ottenuti dal 4 al 6 minuto di recupero, sono stati interpolati linearmente. La funzione ottenuta, tramite una regressione lineare dal sesto minuto, fino al tempo di recupero pari a zero, ha permesso di stimare per sottrazione la componente rapida del pagamento del debito alattacido di O_2 , l'integrale di questo ha prodotto AnAl (di Prampero a Altri, 1993). Il valore del contributo anaerobico lattacido è stato calcolato moltiplicando le millimoli di lattato netto (assumendo 1 mM di lattato a riposo) per 3 ml di ossigeno per kg di peso corporeo ($3,0 \text{ ml}O_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{mM}^{-1}$) Margaria, 1963 (figure 1a, 1b).

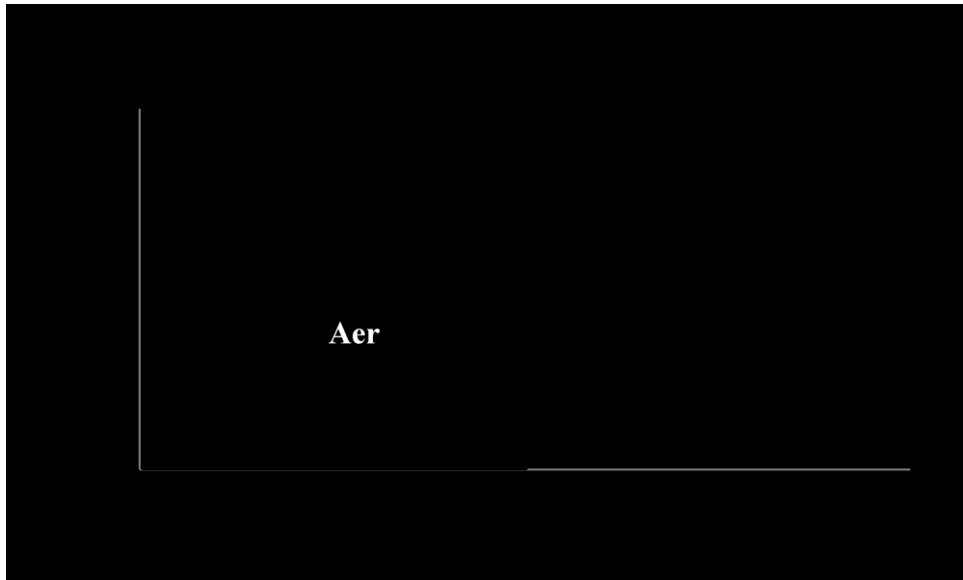


Figura 1a

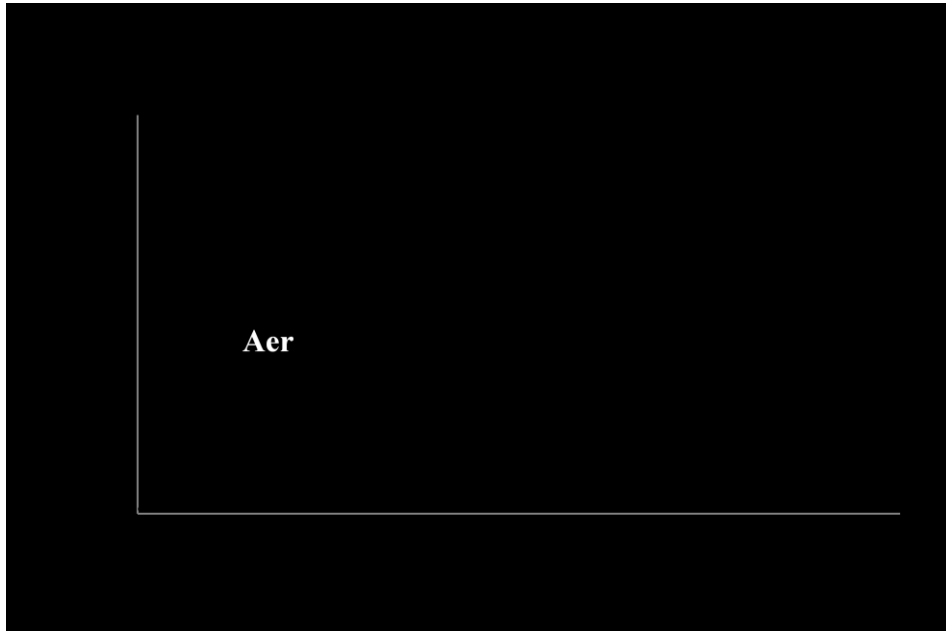


Figura 1b

Nelle figure 1a ed 1b , è descritta la metodica per calcolare il costo energetico in un esercizio di 6 minuti, ad intensità sub massimale, nel quale C può essere determinato anche dallo stato stazionario(figura 1a), ed in uno di due minuti ad intensità sopra massimale (figura 1b);
 componente aerobica (Aer) ; anaerobica lattacida (AnAl);
 componente lenta del debito d'ossigeno (componente lenta del $V'O_2$).

Le prove di corsa, per calcolare il costo energetico, sono state sempre della durata di 6 minuti, tranne in alcune corse intermittenti a navetta, che sono state di 4 minuti, e la durata di queste viene sempre specificata.

Invece, il costo energetico del cammino, in piano ed in salita, è stato calcolato dallo stato stazionario, utilizzando la media degli ultimi due minuti nelle prove della durata di 4 minuti.

Il recupero dopo le singole prove e tra le ripetizioni dell'esercizio intermittente

Il recupero alla fine di ogni prova è stato fatto, sempre, con il soggetto da posizione ferma e seduta, per consentire la misura del consumo di ossigeno nei primi sei minuti dopo l'esercizio; tra le singole ripetizioni delle prove degli esercizi intermittenti, il recupero è stato svolto in posizione ferma in piedi.

Analisi Statistica

Di ogni parametro esaminato è stata valutata la media e la deviazione standard.

Per analizzare la differenza tra le medie, e verificare la significatività statistica, è stato utilizzato il test t di Student (code 2, tipo 1).

Le relazioni tra i dati sono state analizzate, utilizzando il coefficiente di correlazione di Pearson (r).

La significatività statistica è stata posta al valore di $P \leq 0,05$ (5%).

Energia Cinetica

Il costo energetico della corsa, per kilogrammo e per kilometro, è indipendente dalla velocità, almeno fino a 22-25 km/h (Margaria 1938, 1963; di Prampero, 1985, 1986; Cerreteli, 2001), ma questo riguarda il costo di mantenimento della velocità di corsa a velocità costante, e non il costo del raggiungimento di una data velocità.

Infatti, il costo energetico è funzione lineare della velocità, e l'energia cinetica è proporzionale al quadrato della velocità (v).

$$\text{Energia Cinetica} = 1/2 \times mv^2$$

Quindi, un soggetto, che accelera il suo corpo, consuma una quantità di energia pari a $1/2 \times mv^2$, e questa, poiché viene acquisita in virtù del suo moto, è detta energia cinetica.

Invece, di considerare, poi, solo la velocità media della corsa a navetta intermittente, abbiamo calcolato anche l'energia cinetica, che il soggetto deve mettere in gioco, per accelerare e decelerare

ad ogni navetta, assumendo un aumento e decremento lineare della velocità di forma triangolare con un picco, che, indipendentemente dal disegno geometrico, descrive il vertice del triangolo, è sempre il doppio della velocità media che abbiamo sulla distanza in oggetto.

In base alla geometria piana, se costruiamo un rettangolo con la base, delimitata dalla distanza di due coni, e l'altezza uguale alla velocità media della corsa, si può calcolare l'area del rettangolo; invece, l'area del triangolo è uguale alla distanza (base) per la velocità picco (altezza) diviso due. Dal momento che le aree delle due figure geometriche devono essere uguali, è necessario calcolare l'altezza del triangolo, indicata dalla velocità picco, per ricavarne l'area.

Calcolo della velocità di picco:

$$\text{Velocità media} \times \text{distanza} = \text{velocità picco} \times \text{distanza} / 2 = \text{velocità picco} = \text{velocità media} \times 2$$

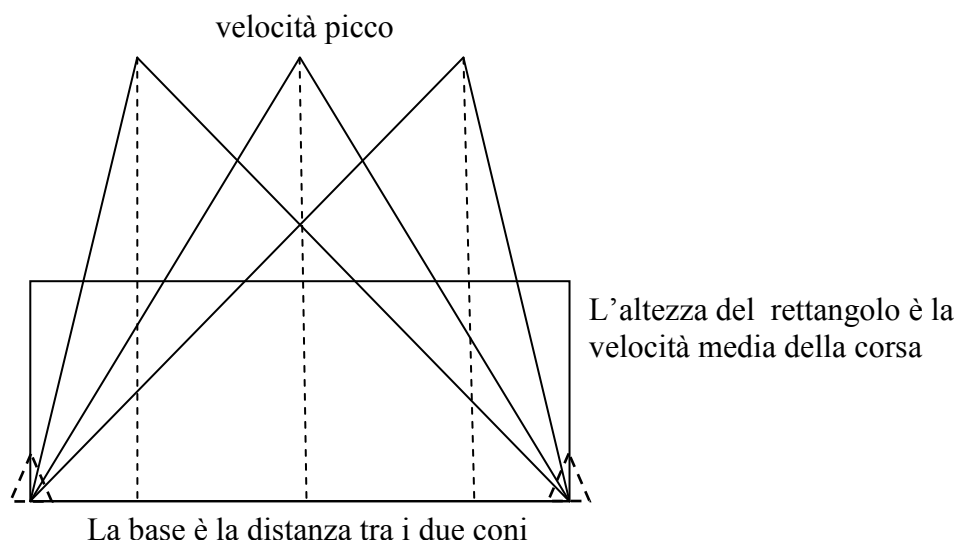
Una volta ottenuta la velocità picco, conosciamo che il soggetto per raggiungerla, dovrà spendere una energia cinetica, che sarà uguale alla sua massa corporea per la velocità picco.

Calcolato l'energia cinetica, si è in grado di mettere in relazione il costo energetico con l'energia cinetica per unità di distanza ed di massa.

Nella corsa continua in linea, il costo energetico è indipendente dalla velocità, invece, con il variare della velocità, l'energia cinetica cambia; ma se normalizziamo l'energia cinetica per la massa e per la distanza, abbiamo il costo energetico vero, normalizzato per kg e metro percorso (J/m/kg).

Questi dati hanno chiaramente i limiti delle assunzioni fatte: la velocità è triangolare tra 8,5 e 22 metri, perché se aumenta lo spazio, sicuramente, troviamo una velocità media nel tratto centrale e non un picco (figura 2).

Nella figura 2 è stata disegnata l'ipotesi fatta per calcolare la velocità picco



Studio I

Il costo energetico della corsa a navetta continua ed intermittente

Introduzione

Negli anni '80, è stato ideato e validato il test a navetta su 20m, Léger et al. (1982, 1988, 1989), Ramsbottom et.al. (1988), in seguito, Bangsbo ha elaborato il test originale, giungendo, nel 1994, all'elaborazione di tre versioni del test Yo-Yo : Endurance, Intermittent ed Intermittent Recovery (Bangsbo, 1994,1996). Le tre versioni del test, oggi, sono molto utilizzate negli sport di squadra per valutare la condizione aerobica dei giocatori; la loro diffusione è dovuta alla tipologia di corsa utilizzata durante le prove di valutazione, che risulta essere più specifica negli sport, in cui avvengono molti cambi di direzione durante la prestazione, e quindi la corsa continua, eseguita in linea, risulta essere un elemento poco specifico. Nonostante i test a navetta siano utilizzati dagli anni '80 (circa 30 anni), non esistono lavori in letteratura, a mia conoscenza, che abbiano misurato il costo energetico di questa tipologia di corsa. Diversi e rinomati autori hanno studiato il costo energetico della corsa in piano ed in salita (Margaria, 1938, Margaria ed Altri ,1963 ; di Prampero, 1985, 1986); invece, in letteratura, non risultano studi che analizzino il costo energetico della corsa a navetta, tranne l'articolo pubblicato sulla rivista SdS n.72 (Colli, Buglione, Introini, D'Ottavio, 1997), sul quale è stata pubblicata parte del presente lavoro.

I primi studi del dottorato, hanno analizzato il costo energetico della corsa a navetta (C_{sr}), perché C_r nella corsa continua in linea, a velocità sub massimali, è indipendente dalla velocità, fino a velocità di 22 -25 km/h (Margaria 1938, Margaria ed Altri,1963; di Prampero, 1985, 1986; Cerretelli 2001; di Prampero ed Altri, 2009); mentre nei protocolli di valutazione, utilizzati negli sport di squadra, come lo yo-yo test, aumentando la velocità della corsa a navetta, come previsto nella maggior parte dei protocolli di valutazione, il costo energetico non resta costante, ma aumenta. Infatti, lo scopo principale di questi studi è stato quello di verificare, se l'aumento del costo energetico nelle corse a navetta fosse lineare, come teoricamente proposto da alcuni autori (Bisciotti, 2000, 2003), oppure fosse differente, come ipotizzato prima della verifica sperimentale. La corsa a navetta è stata studiata su diversi gruppi di soggetti: fisicamente attivi e praticanti attività sportive amatoriali, calciatori professionisti e maratoneti di buon livello.

Soggetti

Lo studio è stato svolto su dieci soggetti maschi, studenti di scienze motorie e praticanti attività sportive, di età $26,7 \pm 4,7$ anni, statura $178,0 \pm 6,4$ cm, peso $75,1 \pm 6,4$ kg. Il lavoro è stato effettuato in una palestra coperta nei mesi di novembre-dicembre 2006.

Corsa in linea ed a navetta continua ed intermittente

Il disegno sperimentale ha previsto diverse prove di corsa, in linea ed a navetta, continua ed intermittente, per misurare il costo energetico a diverse velocità, nella corsa intermittente a navetta, oppure alla stessa velocità, ma con diverse modalità di svolgimento della prova: corsa continua in linea ed a navetta, continua ed intermittente su 10 e 20 metri.

1a valutazione :

corsa continua in linea a 10,29 km/h

Inizialmente è stato misurato il costo energetico della corsa continua in linea, in una prova di 6 minuti alla velocità media di 10,29 km/h, che deriva dal percorrere ogni 7 s la distanza di 20 m.

2a valutazione :

corsa continua a navetta su 20m a 10,29 km/h

Successivamente, gli stessi soggetti hanno percorso una seconda prova di 6 minuti, sempre alla stessa velocità media, 10,29 km/h della prova precedente, ma sviluppata su un tratto lineare di 20 metri da percorrere a navetta, avanti ed indietro, e sempre in 7s.

I risultati ottenuti dal confronto di queste due prove, a parità di velocità media, 10,29 km/h, ma svolte in maniera differente, corsa continua in linea, e corsa continua a navetta su 20m, sono riportati nella tabella 1.

Soggetti n. 10	C (J/m/kg)	V'O ₂ (L/min)	Lattato (mM)
Corsa continua in linea a 10,29 km/h	4,67 ± 0,18	2,89 ± 0,26	2,3 ± 1,0
Corsa continua a navetta su 20m a 10,29 km/h	5,20 ± 0,13	3,19 ± 0,25	3,4 ± 1,9
Differenza %	11,35%	10,38%	47,83%
P <	0,001	0,001	0,001

Tabella 1

Nella tabella 1 sono riportati i valori del costo energetico (J/m/kg), consumo di ossigeno (L/min) e lattato ematico (mM) della corsa alla velocità media di 10,29 km/h con metodica continua in linea ed intermittente a navetta su 20m (42s/21s) di 10 soggetti (media ± deviazione standard).

3a valutazione:

corsa intermittente a navetta su 20m a 10,29 km/h

Dopo le due prove continue, in linea ed a navetta, sempre gli stessi soggetti hanno svolto una terza prova di 6 minuti, sempre alla stessa velocità media (10,29 km/h), delle prove precedenti, e sviluppata su un tratto lineare di 20 metri da percorrere a navetta, avanti ed indietro, come nella seconda prova, con base acustica sempre ogni 7 secondi, ma svolta in maniera intermittente (42s / 21s).

Il protocollo della prova intermittente ha previsto la ripetizione di 6 volte i 20 metri in 42 secondi [6 (ripetizioni) x 7 (secondi) = 42 secondi di corsa a navetta], con 21 secondi di recupero (fermo in piedi), per un totale di 6 minuti alla velocità media di 10,29 km/h (8 volte 42s di corsa a navetta e 21s di recupero) tabella 2.

Soggetti n. 10	C (J/m/kg)	V'O ₂ (L/min)	Lattato (mM)
Corsa continua a navetta su 20m a 10,29 km/h	5,20 ± 0,13	3,19 ± 0,25	3,4 ± 1,9
Corsa intermittente a navetta su 20m a 10,29 km/h 42s/21s	5,61 ± 0,15	2,42 ± 0,2	2,2 ± 0,8
Differenza %	7,31%	-32,82%	54,55%
P <	0,01	0,001	0,05

Tabella 2

Nella tabella 2 sono riportati i valori del costo energetico (J/m/kg), consumo di ossigeno (L/min) e lattato ematico (mM) della corsa a navetta su 20m alla velocità media di 10,29 km/h con metodica continua ed intermittente (42s/21s), di 10 soggetti (media ± deviazione standard).

Soggetti

Le valutazioni successive sono state svolte su sei soggetti maschi, le cui caratteristiche, fisiche e fisiologiche sono riportate nella tabella 3.

Soggetti n.6	
Statura (cm)	179 ± 7
Peso (kg)	75 ± 5
V' O ₂ ^{max} (ml/min/kg)	56 ± 8
C _r a 10,29 km/h in linea (J/m/kg)	4,43 ± 0,26

Tabella 3

La tabella 3 descrive le caratteristiche fisiche e fisiologiche di 6 soggetti, (media ± deviazione standard).

4a valutazione:

corsa intermittente a navetta su 20m

Una volta sviluppato il primo protocollo sulla corsa intermittente a navetta sulla distanza di 20m, ne sono stati studiati altri, sempre sulla stessa distanza, nei quali, diminuendo la durata della fase attiva ed aumentando l'intensità della corsa, sono stati determinati i costi energetici a diverse velocità, comprese tra 10 e 16 km/h. I protocolli delle corse intermittenti a navetta, sono riportati nella tabella 4.

Corsa a navetta intermittente tempo di corsa (s) - velocità (km/h) - recupero (s)	$C_{nav.int.20m}$ (J/m/kg)	$V'O_2$ (ml/min/kg) netto esercizio	Lattato (mM)
42s di corsa a 10,29 km/h e 21s di recupero	5,58 ± 0,15	32,4 ± 0,9	2,3 ± 0,8
36s di corsa a 11,43 km/h e 18s di recupero	5,82 ± 0,15	35,7 ± 1,1	2,5 ± 1,0
36s di corsa a 12,00 km/h e 18s di recupero	6,03 ± 0,22	38,0 ± 0,22	2,7 ± 1,1
20s di corsa a 13,68 km/h e 20s di recupero	6,67 ± 0,15	36,2 ± 0,8	3,1 ± 1,5
20s di corsa a 14,40 km/h e 20s di recupero	7,23 ± 0,22	41,3 ± 1,2	7 ± 3,2
15s di corsa a 15,84 km/h e 30s di recupero	8,29 ± 0,18	34,8 ± 0,7	4,4 ± 1,6

Tabella 4

Nella tabella 2 sono riportati i protocolli (tempi di corsa e recupero), i dati del costo energetico(J/m/kg), il $V'O_2$ netto dell'esercizio (ml/min/kg) ed il lattato(mM) della corsa intermittente a navetta su 20m, di sei soggetti (media ± deviazione standard).

5a valutazione:

corsa continua ed intermittente a navetta su 10m

Dopo aver analizzato la corsa continua ed intermittente a navetta sulla distanza di 20m, è stata presa in esame la stessa tipologia di corsa, ma sulla distanza di 10m. Di questa è stato misurato il costo energetico a tre diverse velocità 10,29 - 12,00 - 14,40 km/h ; la prima velocità, 10,29 km/h, è stata svolta, a navetta su 10 metri, ma con metodica continua (4 minuti). Le altre due prove, a 12,00 e 14,40 km/h, sempre a navetta sui 10m , ma ovviamente con metodica intermittente. Durante le prove, oltre al costo energetico, sono stati misurati il $\dot{V}O_2^{\max}$ il $\dot{V}O_2$ steady state ed il lattato prodotto, ed i ottenuti dati sono riportati nella tabella 5.

Corsa a navetta su 10 metri	10,29 km/h (continua)	12 km/h (18s / 18s)	14,4 km/h (10s / 25s)
$C_{\text{nav.int.10m}}$ (J/m/kg)	6,70 ± 0,16	9,02 ± 0,53	14,01 ± 0,76
$\dot{V}O_2$ (ml/min//kg)	54 ± 1	43 ± 2	49 ± 3
Lattato (mM)	7,3 ± 3	6,2 ± 2,2	7,8 ± 1,3
$\dot{V}O_2$ (ml/min//kg) steady state	51 ± 2	42 ± 2	44 ± 1

Tabella 5

Nella tabella 5 sono riportati i protocolli (tempi di corsa e recupero), i dati del costo energetico (J/m/kg), il $\dot{V}O_2$ netto dell'esercizio(ml/min/kg) ed il lattato (mM) della corsa intermittente a navetta su 10m, di sei soggetti (media ± deviazione standard).

Risultati

Il costo energetico della corsa continua in linea ed a navetta su 20 metri è risultato essere rispettivamente di $4,67 \pm 0,18$ J/m/kg e di $5,20 \pm 0,13$ J/m/kg.

Da questi dati si evince che la corsa a navetta continua, rispetto a quella in linea, alla stessa velocità (10,29 km/h) è maggiore dell'11,35%.

Invece, il costo energetico della corsa a navetta su 20 metri a 10,29 km/h con metodica intermittente è risultata essere superiore del 7,31% rispetto a quella svolta con metodica continua alla stessa velocità (figura 1).

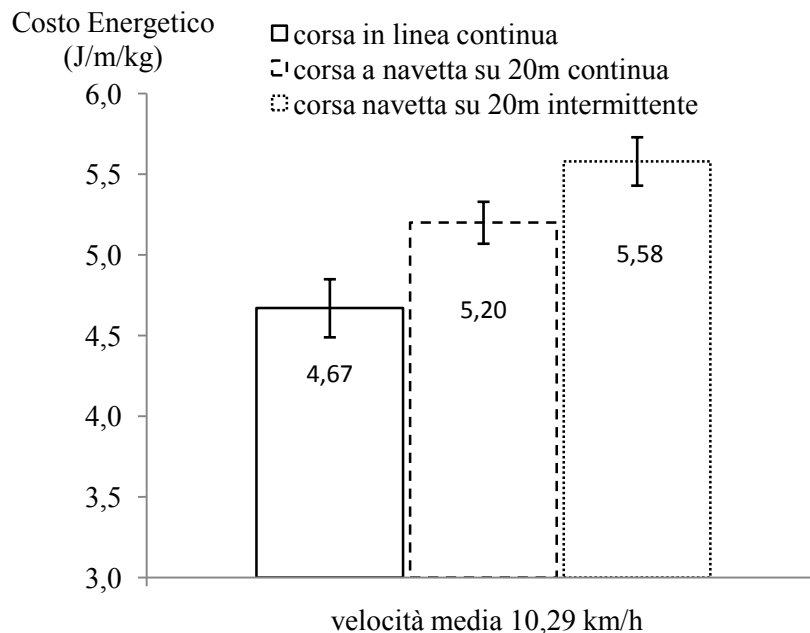


Figura 1

Nella figura 1, è descritto il costo energetico della corsa continua in linea ed a navetta su 20 m con metodica continua ed intermittente alla, stessa, velocità media di 10,29 km/h.

Il consumo di ossigeno della corsa a navetta continua su 20m a 10,29 km/h è stato di 42,48 ml/min/kg (media dei soggetti); da questo dato e dal costo energetico della corsa in linea possiamo ricalcolare la velocità di quest'ultima che determina lo stesso consumo di ossigeno della corsa a navetta (42,48 ml/min/kg);

$42,48 \times 21 = 892 \text{ J/m/kg}$ (Conversione da ml di Ossigeno a Joule ; 1 millilitro di $O_2 = 21 \text{ J}$)

$892 \text{ (J/m/kg)} / 4,67 \text{ J/m/kg (costo energetico in linea)} = 191 \text{ m/min} = 3,18 \text{ m/s} = 11,46 \text{ km/h}$

Quindi, in questo caso, la corsa a navetta continua a 10,29 km/h ha un costo energetico pari a quello della corsa in linea ad 11,46 km/h.

Nella corsa a navetta intermittente sui 20 metri, il costo energetico è risultato essere di :

$5,58 \pm 0,15$; $5,82 \pm 0,15$; $6,03 \pm 0,22$; $7,23 \pm 0,22$; $8,29 \pm 0,18 \text{ J/m/kg}$ alle rispettive velocità di 10,29-11,43-12-13,68-14,4-15,84 km/h.

Da dati ottenuti si ricava una equazione, polinomiale di 2° grado, con la quale è possibile calcolare il costo energetico della corsa a navetta intermittente su 20 metri.

$$(C_{nav. int.20m} = 0,067 \cdot \text{velocità a navetta su } 20m^2 - 1,273 \cdot \text{velocità a navetta su } 20m + 11,57)$$

(Figura 2).

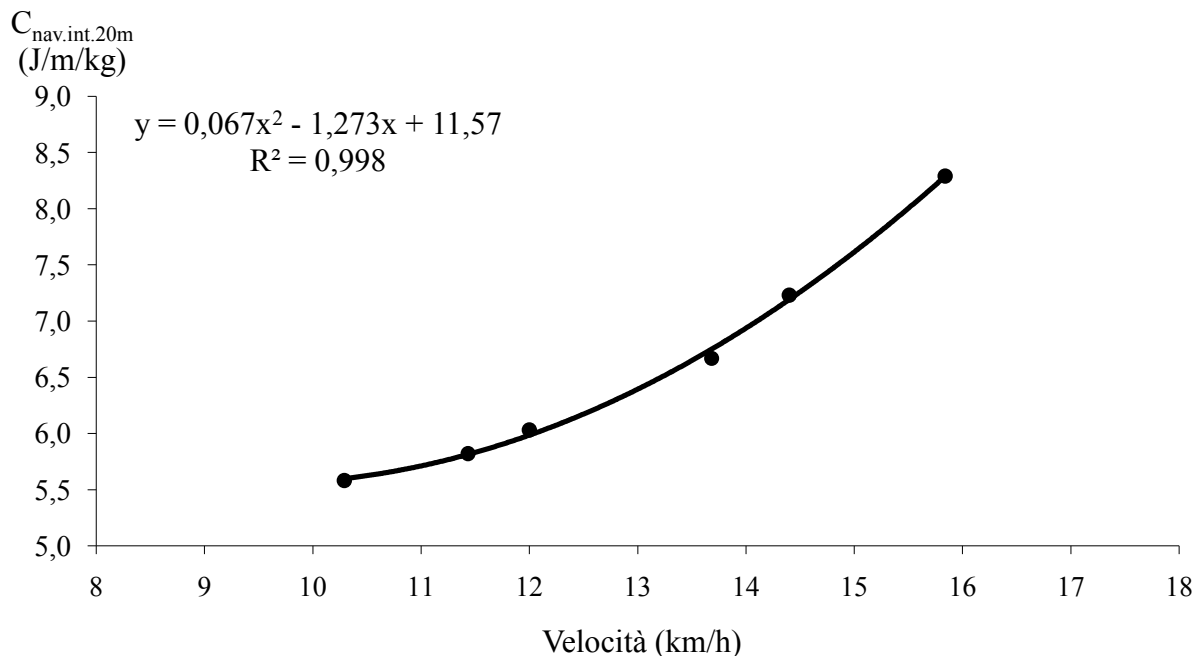


Figura 2

Nella figura 2, il costo energetico della corsa intermittente a navetta su 20m ($C_{nav.int.20m}$) è rappresentato in funzione della velocità di corsa (km/h).

Invece, il costo energetico della corsa a navetta su 10m , continua a 10,29 km/h, ed intermittente a 12 e 14,4 km/h è risultato essere rispettivamente di $6,70 \pm 0,16$; $9,02 \pm 0,53$; $14,01 \pm 0,76$.

Dai dati su indicati si ottiene una equazione polinomiale di 2° grado, con la quale è possibile ricavare il costo energetico della corsa a navetta intermittente su 10 metri .

$C_{nav.int.10m} = 0,27 \cdot \text{velocità a navetta su } 10m^2 - 5,12 \cdot \text{velocità a navetta su } 10m + 31,16$ (Figura 3).

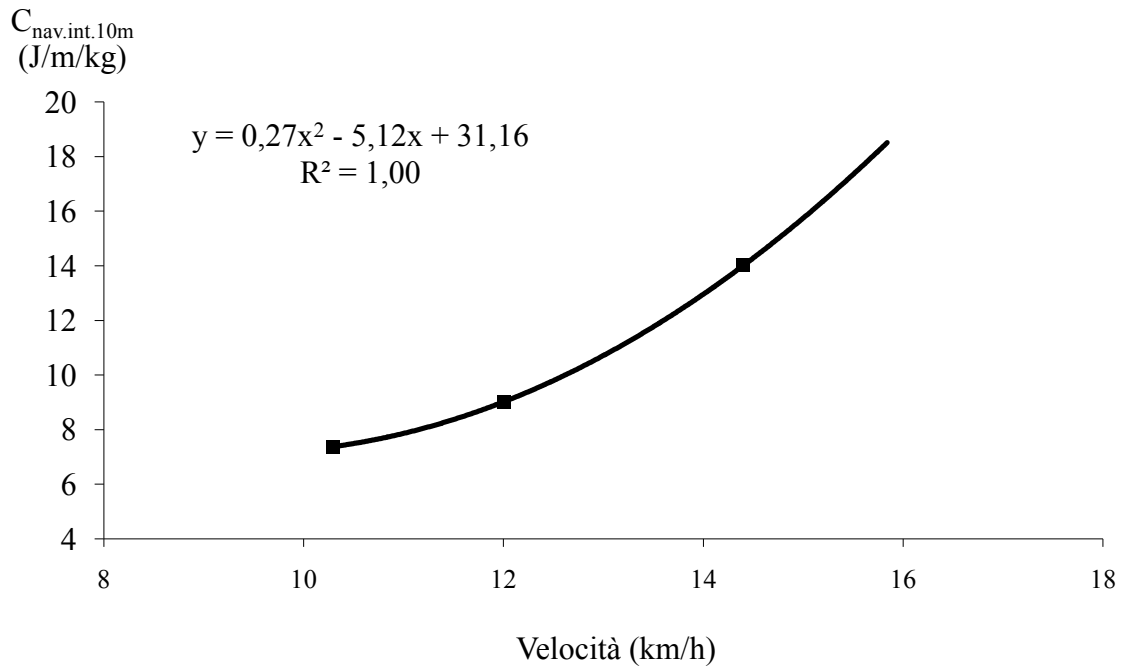


Figura 3

Nella figura 3, il costo energetico della corsa intermittente a navetta su 10 m ($C_{nav.int.10m}$) è rappresentato in funzione della velocità di corsa (km/h).

Calcolato, successivamente, il costo energetico della corsa a navetta intermittente su 10 e 20 metri, possiamo confrontare i valori sulla base alla velocità ed alla distanza percorsa (Figura 3).

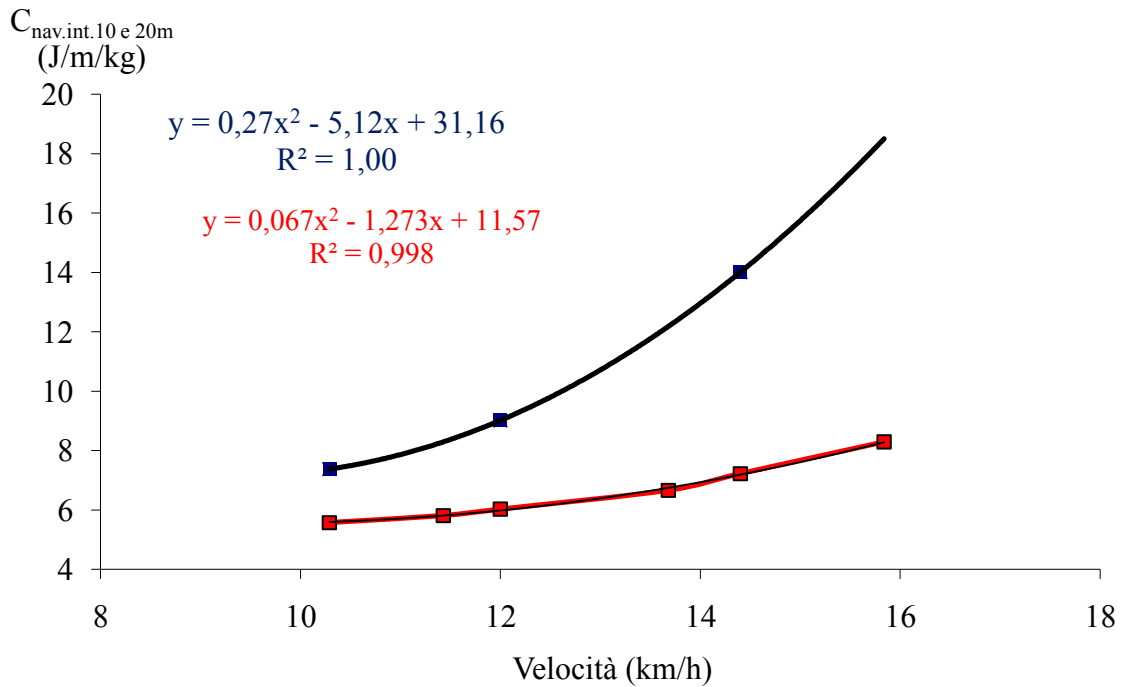


Figura 4

Nella figura 4, viene confrontato il costo energetico della corsa a navetta intermittente su 10 e 20 in funzione della velocità.

Inoltre, da tutti i dati raccolti è stata possibile ottenere una equazione polinomiale di 2° grado, per calcolare la velocità della corsa in linea da quella a navetta:

$$\text{Velocità in linea} = 0,289 \cdot \text{velocità a navetta}^2 - 4,727 \cdot \text{velocità a navetta} + 30,36$$

Dopo aver determinato il costo energetico della corsa a navetta intermittente su 10 e 20m, è stata calcolata l'energia cinetica, che varia in base alla distanza ed alla velocità, quindi se consideriamo questa, invece delle le due funzioni diverse, su 10 e 20m, abbiamo una funzione univoca (figura 5).

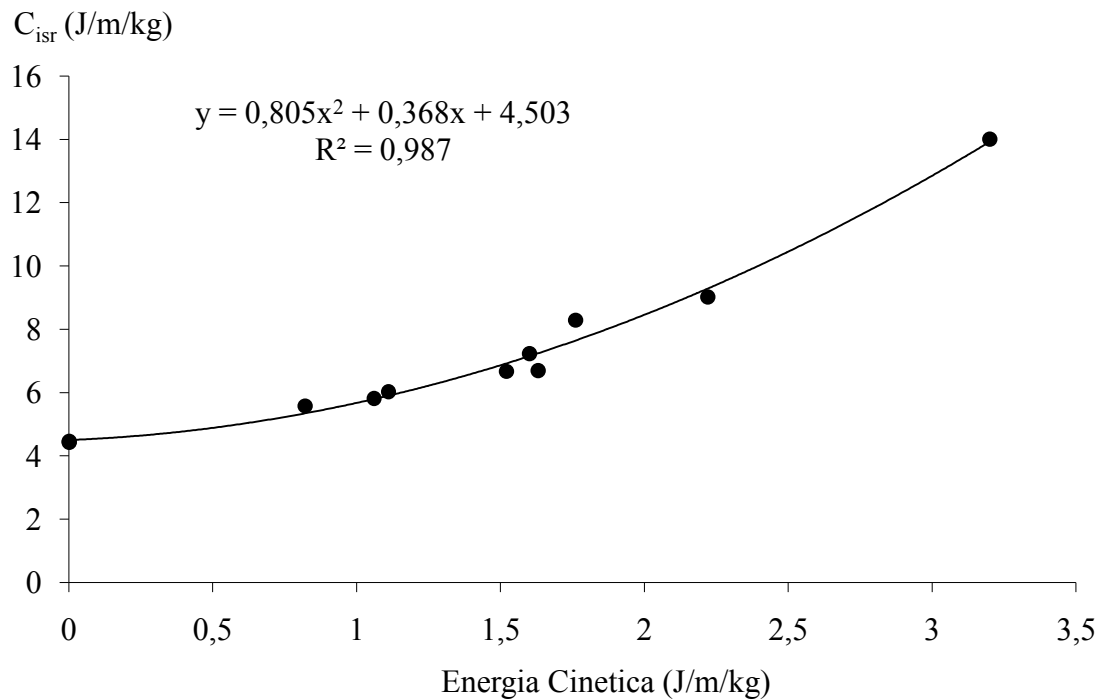


Figura 5

Nella figura viene descritto il costo energetico della corsa a navetta intermittente, su 10 e 20m, in funzione dell'energia cinetica.

Discussioni e Conclusioni

Nonostante l'utilizzo diffuso di test da campo a navetta, il costo energetico di questa tipologia di corsa non sembra essere stato oggetto di studio fino ad ora. Alcuni autori hanno indicato, tramite calcoli teorici, quanto potrebbe aumentare il costo energetico di tale corsa, alle varie velocità (Bisciotti e Coll. 2000, 2003). Gli stessi autori hanno riportato la formula, Velocità Aerobica Massima (VAM) = $1,502 \cdot \text{velocità navetta} - 4,0109$, che estrapola, dalla velocità finale raggiunta nel test a navetta (Yo-Yo endurance), il valore della VAM che sarebbe stata ottenuta con un test in linea. Ma anche se è apprezzabile il calcolo teorico del costo energetico dell'accelerazione, in

pratica, dai dati ottenuti in questo studio, attraverso la misura diretta del consumo di ossigeno, durante le corse a navetta, sembra che esso non sia corrispondente alla realtà. Infatti, dai risultati ottenuti, notiamo che, il costo energetico non aumenta in maniera lineare all'aumentare della velocità, ma in maniera parabolica. Inoltre, occorre evidenziare che, alle velocità medie più utilizzate, negli allenamenti intermittenti a navetta negli sport di squadra, dai preparatori fisici, comprese tra 14 e 16 km/h, l'errore del calcolo teorico, rispetto ai valori misurati, è di circa il 30%. Dai dati acquisiti è stato possibile ottenere una equazione per calcolare la velocità della corsa in linea da quella a navetta, che dovrebbe essere più corretta rispetto ai calcoli teorici.

La corsa, alla velocità media di 10,29 km/h, continua a navetta su 20 metri è maggiore dell' 11,35% rispetto alla corsa continua in linea. A parità di velocità, 10,29 km/h, e distanza 20m, il costo energetico della corsa a navetta con metodica intermittente è risultato essere dell' 7,31% maggiore di quello della corsa continua. Questo, sicuramente, è dovuto alla necessità di ripartire da posizione ferma, dopo ogni recupero, che risulta meno economico rispetto al lavoro continuo, dove viene sempre utilizzata la componente elastica dei muscoli degli arti inferiori, che, ad ogni cambio di senso, sicuramente fa risparmiare energia sul costo dell'esercizio (Cavagna ed Altri 1964; Bosco e Rusko, 1983).

La conoscenza del costo energetico della corsa intermittente è utile ai fini della valutazione e dell'allenamento, perché permette di determinare l'impegno metabolico dell'esercizio intermittente, e della, corrispondente, velocità della corsa in linea.

Per di più, la corsa intermittente a navetta rappresenta un valido mezzo di allenamento negli sport di squadra, in quanto, se utilizzata con le dovute accelerazioni e decelerazioni, ad alta intensità su brevi distanze, si avvicina al modello prestativo.

Studio II

Effetti di 5 settimane di allenamento a navetta intermittente sul costo energetico della corsa

Soggetti

Questo studio è stato svolto su 6 soggetti maschi, studenti di scienze motorie, fisicamente attivi, ma non praticanti attività sportive specifiche, di età $27,3 \pm 6,0$ anni, statura $178,7 \pm 11,2$ cm, peso $78,3 \pm 12,6$ kg. Il lavoro è stato realizzato presso lo Human Performance and Training Lab “Carmelo Bosco” del corso di laurea in Scienze Motorie, della Facoltà di Medicina e Chirurgia, dell’Università degli Studi di Roma Tor Vergata, nei mesi di giugno-luglio 2007.

Corsa sul nastro trasportatore ed a navetta intermittente

Per misurare il costo energetico ed il massimo consumo di ossigeno, sono state utilizzate due tipologie di corsa differenti: la corsa continua uniforme in linea, effettuata sul nastro trasportatore, (Technogym excite 900), e la corsa intermittente a navetta svolta sul pavimento della palestra.

Costo energetico della corsa continua in linea

Ai fini di determinare il costo energetico della corsa continua in linea, ogni soggetto ha effettuato, sull’ergometro a nastro, due prove di sei minuti ciascuna a $9,5 \pm 0,5$ Km/h ed a $11,5 \pm 1,3$ km/h, con velocità comprese tra 9-10 e 10-13,5 km/h. Alla fine di ognuna delle prove è stato effettuato il prelievo di sangue capillare, per analizzare il lattato ematico.

Costo energetico della corsa intermittente a navetta

Per valutare il costo energetico della corsa intermittente a navetta, ogni soggetto ha effettuato due prove di sei minuti ciascuna:

la prima di 20 secondi di corsa a navetta su una distanza di 18,5 da percorrere in 5 secondi (velocità media di 13,32 km/h) e 20 secondi di recupero, ripetuti 9 volte (sei minuti);

la seconda di 10 secondi di corsa a navetta su una distanza di 8,5 da percorrere in 2,5 secondi (velocità media di 12,24 km/h) ripetuti 12 volte e 20 secondi di recupero (sei minuti). La modalità di esecuzione del cambio di senso della corsa a navetta intermittente è stata normale prima dell’allenamento, invece, dopo è stata sia normale che rapida.

Alla fine di ogni singola prova, è stato effettuato il prelievo di sangue capillare, per analizzare il lattato ematico, entro un minuto dalla fine della prima ed al terzo minuto dalla fine della seconda prova.

Test incrementali

I valori massimi di consumo di ossigeno, frequenza cardiaca, velocità e distanza raggiunta dai soggetti, sono stati misurati in due diversi tipi di test incrementale: sul nastro trasportatore ed a navetta sui 20m (yo-yo endurance test livello 1, partendo da 10 km/h, step 5).

Il test sul nastro è stato effettuato dopo le due prove di 6' di corsa in linea (a 9,5 e 11,5 km/h); invece lo yo-yo è stato fatto dopo le due prove a navetta (su 18,5m e 8,5m).

Tutte le prove di valutazione sono state eseguite prima e dopo 5 settimane di allenamento intermittente a navetta.

Allenamento intermittente a navetta

Dopo aver svolto i test di valutazione, i soggetti hanno cominciato gli allenamenti intermittenti a navetta su distanze personalizzate, in base al costo energetico della corsa, ed alla frequenza cardiaca raggiunta durante le prove. Gli allenamenti sono stati svolti tre volte a settimana per una durata di cinque settimane. L'intensità di ogni singolo allenamento è stata regolata in modo tale, che la f.c. media fosse mantenuta tra l'85 ed il 90% della massima.

Durante ogni allenamento, sono state svolte tre serie di corsa intermittente a navetta della durata di 6 minuti durante la prima settimana e di 8 minuti dalla seconda alla quinta settimana, intervallate da 3 minuti di recupero passivo tra le serie, per un totale di 18 minuti di allenamento svolti nella prima settimana e 24 minuti nelle settimane successive.

Ogni seduta di allenamento consisteva nello svolgimento di 3 serie con diverse modalità;

1a serie di corsa intermittente 20''- 20'' a navetta

La prima serie di corsa intermittente a navetta 20''- 20'' è stata svolta su una distanza di 18-22m, in 5s , ed il recupero è stato passivo.

2a serie di corsa intermittente 10''- 20'' a navetta

La seconda serie di corsa intermittente a navetta 10''- 20'' è stata effettuata su una distanza di 8-11m, in 2,5s, ed il recupero è stato passivo.

3a serie di corsa intermittente 30''- 20'' a navetta

La terza serie di corsa intermittente a navetta 30''- 20'' è stata eseguita su una distanza di 16-20m ed il recupero è stato passivo.

Risultati

Il costo energetico della corsa continua in linea (C_r) a $9,5 \pm 0,5$ Km/h, prima e dopo 5 settimane di allenamento, è risultato essere rispettivamente di $4,46 \pm 0,51$ J/m/kg e di $4,15 \pm 0,49$ J/m/kg; invece C_r a $11,5 \pm 1,3$ km/h è stato di $4,45 \pm 0,37$ J/m/kg prima e di $4,18 \pm 0,42$ J/m/kg dopo 5 settimane di allenamento (figura 1).

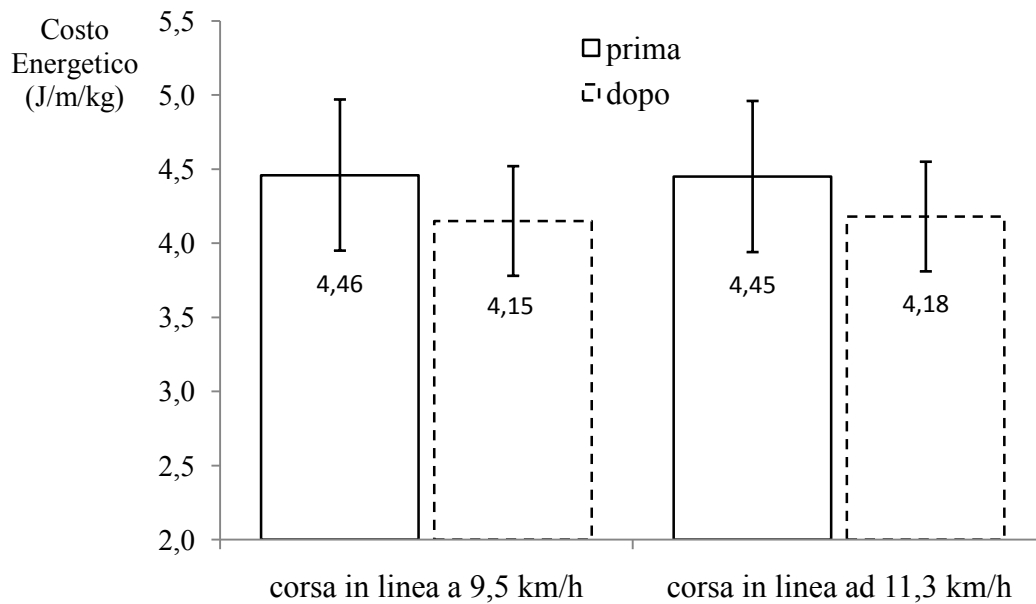


Figura 1

Nella figura 1, è riportato il costo energetico della corsa continua in linea a 9,5 e ad 11,3 km/h prima e dopo 5 settimane di allenamento di corsa a navetta intermittente.

La differenza tra il costo energetico della corsa in linea sul nastro, misurato prima e dopo l'allenamento, è stata del:

7,06% minore a 9,5 km/h dopo l'allenamento ($P < 0,003$);

6,05% minore a 11,3 km/h dopo l'allenamento ($P < 0,006$).

Il lattato ematico misurato alla fine della corsa continua in linea a $9,5 \pm 0,5$ Km/h, prima e dopo 5 settimane di allenamento, è stato di $2,37 \pm 0,50$ J/m/kg e di $2,27 \pm 0,56$ J/m/kg ; invece a $11,5 \pm 1,3$ km/h è risultato di $3,57 \pm 0,73$ J/m/kg prima e di $3,25 \pm 0,73$ J/m/kg dopo l'allenamento (figura 2).

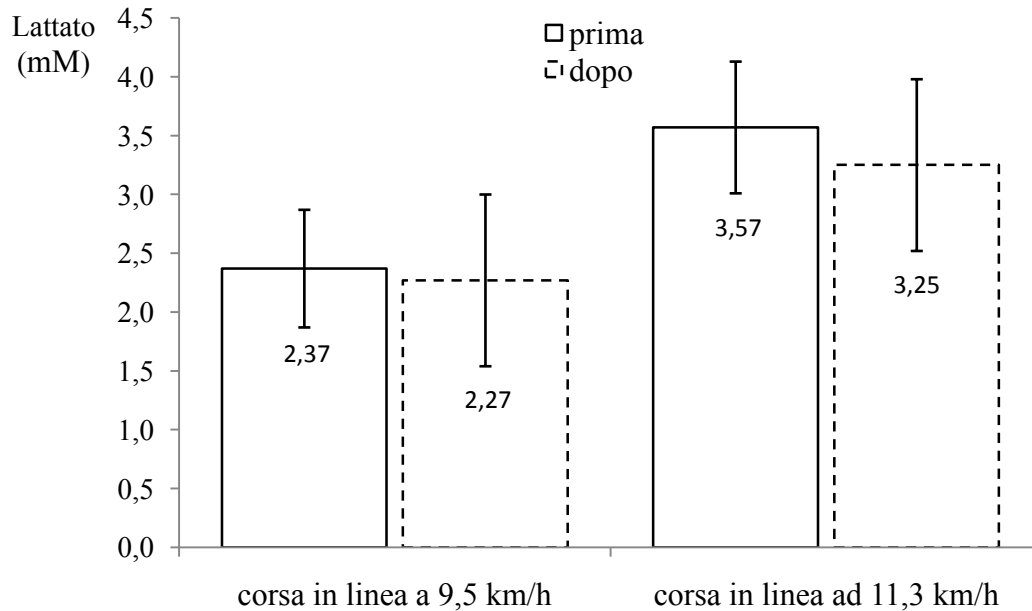


Figura 2

Nella figura 2, è rappresentato il lattato ematico dopo 6 minuti di corsa continua in linea a 9,5 e ad 11,3 km/h prima e dopo 5 settimane di allenamento di corsa a navetta intermittente.

La differenza tra il lattato ematico, della corsa in linea sul nastro, misurato prima e dopo l'allenamento, è stata del:

4,23% minore a 9,5 km/h dopo l'allenamento ($P = n.s.$);

8,88% minore a 11,3 km/h dopo l'allenamento ($P < 0,03$).

Il costo energetico della corsa intermittente a navetta con cambio di senso normale su 18,5 in 5s (velocità media di 13,32 km/h) è stato di $7,51 \pm 0,63$ J/m/kg prima e di $7,05 \pm 0,52$ J/m/kg dopo l'allenamento; mentre con il cambio di senso rapido dopo l'allenamento è stato di $7,34 \pm 0,33$ J/m/kg (figura 3)

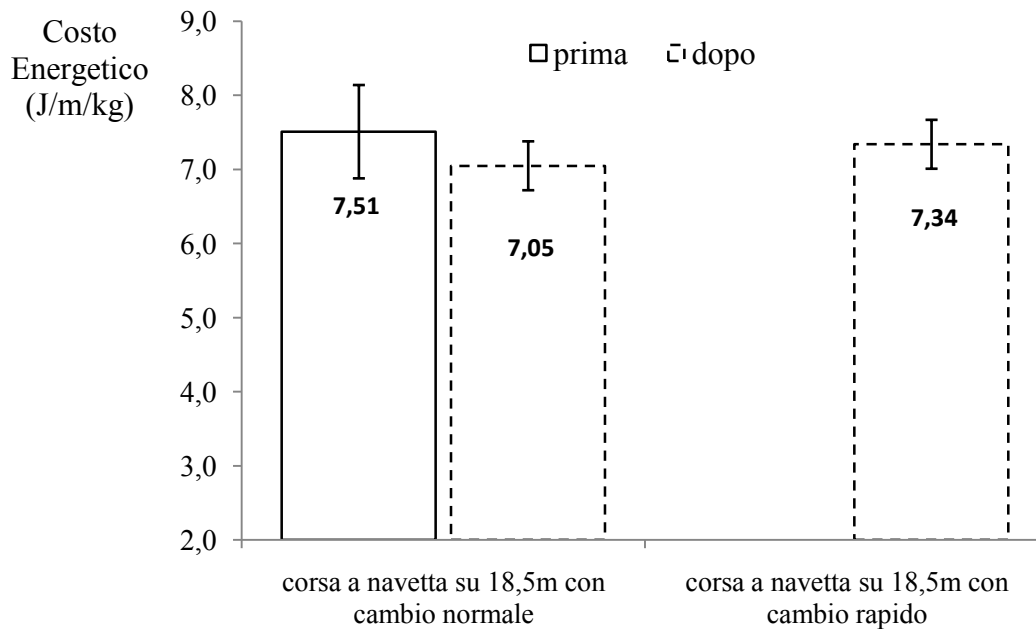


Figura 3

Nella figura 3, è descritto il costo energetico della corsa a navetta intermittente su 18,5 m in 5s (20s /20s), con cambio di senso normale, prima e dopo, e rapido, solo dopo 5 settimane di allenamento di corsa a navetta intermittente.

La differenza tra il costo energetico della corsa intermittente a navetta su 18,5m con cambio di senso normale prima e dopo l'allenamento è stata del:

6,10% minore dopo l'allenamento ($P < 0,02$);

la differenza tra la metodica con cambio di senso normale e rapido, misurato dopo l'allenamento, è stata del:

4,08% minore nel cambio di senso rapido ($P = n.s.$);

la differenza tra la metodica con cambio di senso normale, prima dell'allenamento, e rapido, dopo l'allenamento, è stata del:

2,32% minor nel cambio di senso rapido dopo l'allenamento ($P = n.s.$).

Invece, il lattato ematico con cambio di senso normale è stato di $4,53 \pm 1,28$ mM prima e di $3,03 \pm 0,79$ mM dopo l'allenamento ; mentre con il cambio di senso rapido, dopo l'allenamento, è stato di $4,63 \pm 1,23$ mM (figura 4).

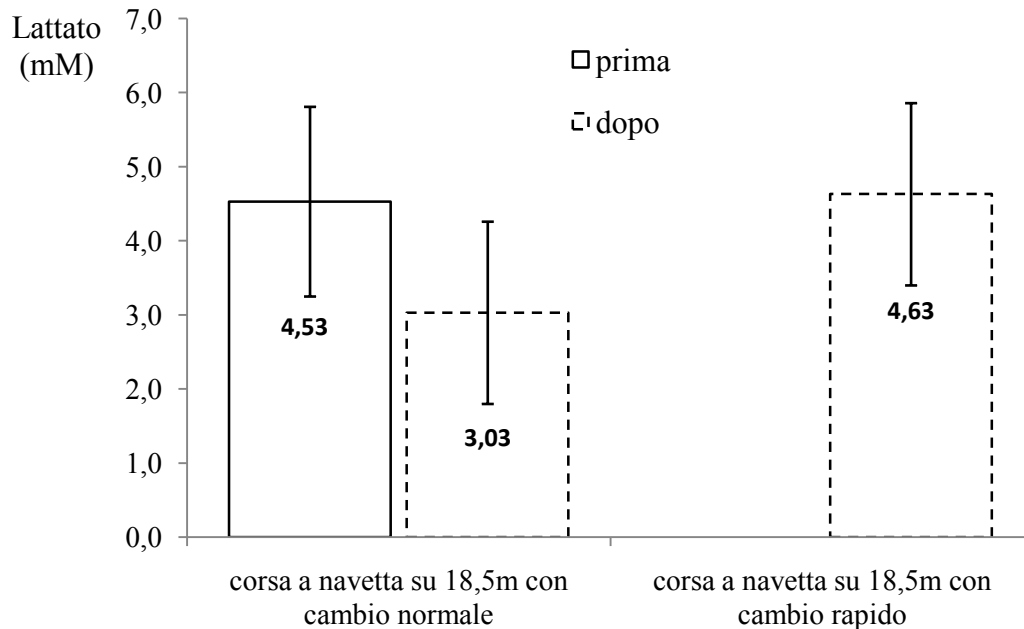


Figura 4

Nella figura 4, è rappresentato il lattato ematico dopo la corsa a navetta intermittente su 18,5 m in 5s (20s /20s), con cambio di senso normale e rapido, prima e dopo 5 settimane di allenamento di corsa a navetta intermittente.

La differenza tra il lattato della corsa intermittente a navetta su 18,5m con cambio di senso normale prima e dopo l'allenamento è stata del:

33,09 % minore dopo l'allenamento ($P < 0,05$);

la differenza tra la metodica con cambio di senso normale e rapido, misurata dopo l'allenamento, è stata del:

52,75% maggiore nel cambio di senso rapido ($P < 0,01$);

la differenza tra la metodica con cambio di senso normale, prima dell'allenamento e rapido, dopo l'allenamento, è stata del:

2,16% maggiore nel cambio di senso rapido dopo l'allenamento ($P = n.s.$).

Il costo energetico della corsa intermittente a navetta con cambio di senso normale su 8,5 in 2,5s (velocità media di 12,24 km/h) è stato di $11,99 \pm 1,17$ J/m/kg prima e di $10,29 \pm 0,89$ J/m/kg dopo l'allenamento; invece con cambio di senso normale, dopo l'allenamento, è stato di $11,37 \pm 1,14$ J/m/kg (figura 5).

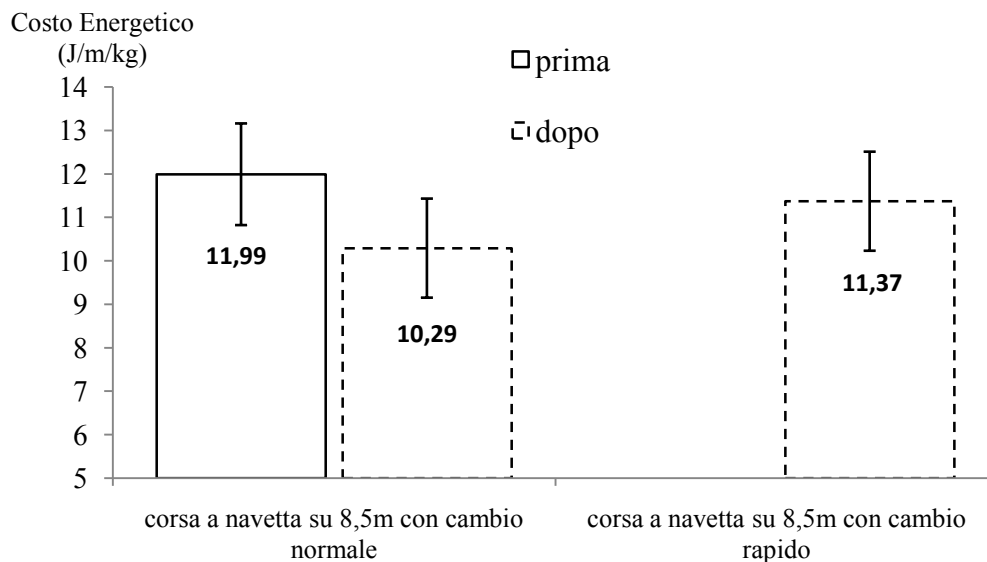


Figura 5

Nella figura 5, è descritto il costo energetico della corsa a navetta intermittente su 8,5 m in 2,5s (10s /20s), con cambio di senso normale e rapido, prima e dopo 5 settimane di allenamento di corsa a navetta intermittente.

La differenza tra il costo energetico della corsa intermittente a navetta su 8,5m con cambio di senso normale prima e dopo l'allenamento è stata del:

14,15% minore dopo l'allenamento ($P < 0,02$);

la differenza tra la metodica con cambio di senso normale e rapido, dopo l'allenamento è stata del:

10,42% maggiore nel cambio di senso rapido ($P < 0,03$);

la differenza tra la metodica con cambio di senso normale, prima dell'allenamento e rapido, dopo l'allenamento, è stata del:

5,49% minore nel cambio di senso rapido dopo l'allenamento ($P = n.s.$).

Invece il lattato con cambio di senso normale è stato di $6,08 \pm 1,93$ mM prima e di $2,45 \pm 0,44$ mM dopo; mentre con il cambio di senso rapido, dopo l'allenamento, è stato di $4,08 \pm 1,23$ mM (figura 6).

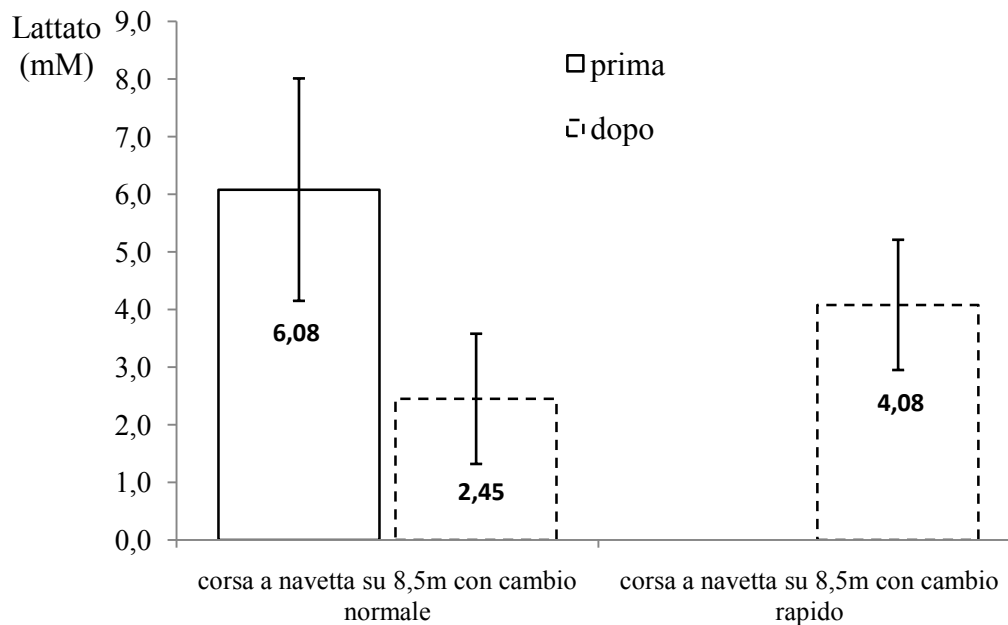


Figura 6

Nella figura 6, è raffigurato il lattato ematico dopo la corsa a navetta intermittente su 8,5 m in 2,5s (10s /20s), con cambio di senso normale e rapido, prima e dopo 5 settimane di allenamento di corsa a navetta intermittente.

La differenza tra il lattato misurato dopo la corsa intermittente a navetta su 8,5m con cambio di senso normale prima e dopo l'allenamento è stata del:

59,73% minore dopo l'allenamento ($P < 0,01$);

la differenza tra la metodica con cambio di senso normale e rapido dopo l'allenamento è stata del:

66,67% maggiore nel cambio di senso rapido ($P < 0,03$);

la differenza tra la metodica con cambio di senso normale prima dell'allenamento e rapido dopo l'allenamento è stata del:

48,98% minore nel cambio di senso rapido dopo l'allenamento ($P = n.s.$).

Il $\dot{V}O_2^{\max}$ misurato nel test incrementale, sul nastro trasportatore, è stato di $53,60 \pm 3,66$ ml/min/kg prima e di $50,74 \pm 3,51$ ml/min/kg dopo l'allenamento; invece il $\dot{V}O_2^{\max}$ misurato nello Yo-Yo endurance test prima e dopo l'allenamento è risultato rispettivamente di $53,60 \pm 3,66$ e di $50,74 \pm 3,51$ ml/min/kg (figura 7).

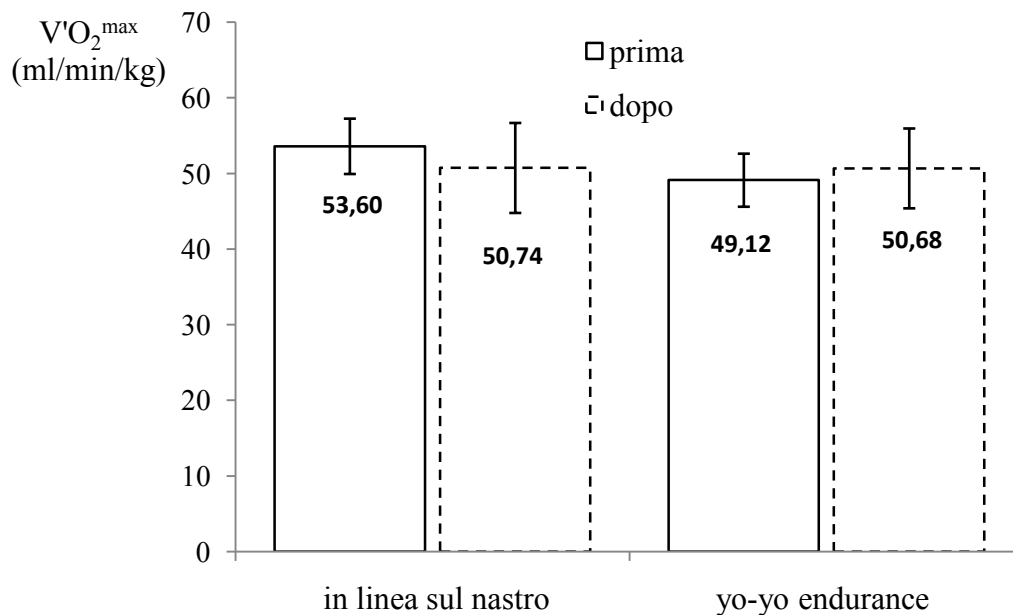


Figura 7

Nella figura 7, è descritto il $\dot{V}O_2^{\max}$ misurato nel test incrementale in linea sul nastro trasportatore e nello yo-yo endurance test, prima e dopo 5 settimane di allenamento.

La differenza tra il $\dot{V}O_2^{\max}$ misurato nel test incrementale, prima e dopo l'allenamento, è stata del:

5,33% minore dopo l'allenamento ($P < 0,02$);

invece la differenza tra il $\dot{V}O_2^{\max}$ misurato nello yo-yo endurance test, prima e dopo l'allenamento, è stata del:

3,18% maggiore dopo l'allenamento ($P < 0,04$).

La distanza percorsa nel test incrementale è stata di $1714 \pm 346\text{m}$ prima e di $1929 \pm 272\text{m}$ dopo l'allenamento; invece nello Yo-Yo endurance test è stata di $1550 \pm 238\text{m}$ e di $1770 \pm 266\text{m}$ (figura 8).

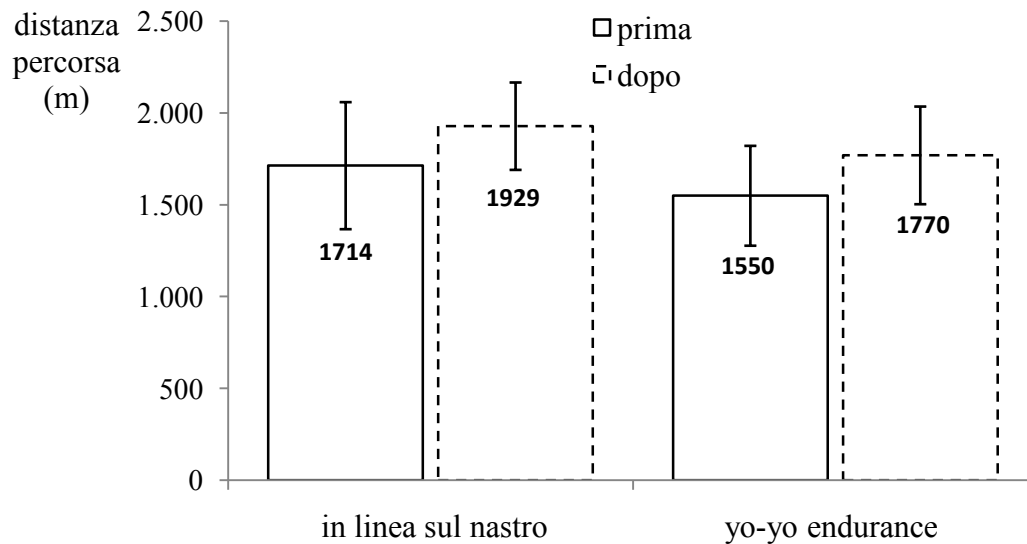


Figura 8

Nella figura 8 sono rappresentati i metri percorsi, nel test incrementale sul nastro trasportatore e nello yo-yo endurance test, prima e dopo 5 settimane di allenamento.

La differenza tra la distanza massima raggiunta nel test incrementale, prima e dopo l'allenamento è stata del:

12,56% maggiore dopo l'allenamento ($P < 0,006$);

invece la differenza tra la distanza massima raggiunta nello yo-yo endurance test, prima e dopo l'allenamento, è stata del:

14,62% maggiore dopo l'allenamento ($P < 0,002$).

La velocità massima raggiunta nel test incrementale è stata di $16,67 \pm 1,21$ km/h prima e di $17,42 \pm 0,92$ km/h dopo l'allenamento; invece nello Yo-Yo endurance test è stata di $12,36 \pm 0,55$ km/h prima e di $12,89 \pm 0,61$ km/h dopo l'allenamento (figura 9).

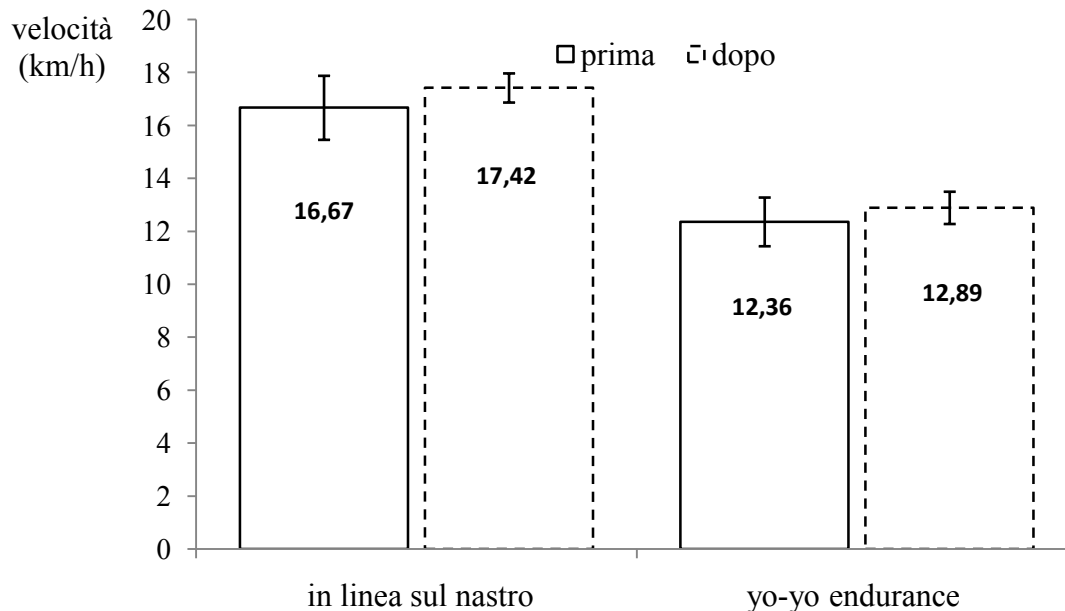


Figura 9

Nella figura 8 sono rappresentate le velocità massime raggiunte (km/h), nel test incrementale sul nastro trasportatore e nello yo-yo endurance test, prima e dopo 5 settimane d'allenamento.

La differenza tra la velocità massima raggiunta nel test incrementale, prima e dopo l'allenamento, è stata del:

4,50% maggiore dopo l'allenamento ($P < 0,007$);

invece la differenza tra la distanza massima raggiunta nello yo-yo endurance test, prima e dopo l'allenamento, è stata del:

4,26% maggiore dopo l'allenamento ($P < 0,001$).

Discussioni e Conclusioni

L'allenamento intermittente a navetta produce dei rapidi miglioramenti, in 5 settimane, del costo energetico della corsa a navetta, del 6,10% su 18,5m ($P < 0,02$), e del 14,15% su 8,5m ($P < 0,02$), e sorprendentemente anche della corsa in linea sul nastro trasportatore, del 7,06% a 9,5 km/h ($P < 0,003$) e del 6,05% ad 11,3 km/h ($P < 0,006$). Dopo l'allenamento, il costo energetico della corsa intermittente a navetta, svolta con cambio di senso rapido, non è differente da quello misurato prima dell'allenamento con modalità normale – 2,32% sui 18,5m ($P = \text{n.s.}$) e -5,49% su 8,5m ($P = \text{n.s.}$); invece, il cambio di senso rapido, rispetto a quello normale, misurato dopo l'allenamento, è stato maggiore del 4,08% sui 18,5m ($P = \text{n.s.}$) e del 10,42% sui 8,5m ($P < 0,03$). Un risultato, sicuramente molto interessante, e correlato alla specificità dell'allenamento svolto, è l'aumento del $V'O_2^{\text{max}}$ nello Yo-Yo endurance test del 3,18% ($P < 0,04$) ed una diminuzione di questo parametro nel test incrementale, nella corsa in linea sul nastro trasportatore del 5,33% ($P < 0,02$), dopo l'allenamento. Nonostante nel test incrementale sul nastro trasportatore la velocità e la distanza percorsa siano maggiori del 4,50% ($P < 0,007$) e 12,56% ($P < 0,006$) e risultino simili quelli ottenuti nello Yo-Yo endurance, 4,26% ($P < 0,001$) e 14,62% ($P < 0,002$) dopo dell'allenamento. La maggiore distanza compiuta, nel test in linea sul nastro trasportatore, probabilmente è da attribuire ad una migliorata economia della corsa in linea, 7,06% ($P < 0,003$).

Studio III

Il costo energetico della corsa di calciatori professionisti (primavera serie A)

prima della preparazione e dopo 2 mesi di allenamento

Soggetti

Questo lavoro è stato svolto su 13 calciatori di età $17,7 \pm 0,6$ anni, statura $175,4 \pm 5,9$ cm, peso $71,6 \pm 6,3$ kg, facenti parte di una squadra professionistica di serie A (primavera).

Il presente studio è stato effettuato prima del periodo di preparazione precampionato, e dopo 2 mesi di allenamento, una settimana prima dell'inizio del campionato primavera (stagione sportiva 2007-2008).

Costo energetico della corsa continua uniforme in linea

La sperimentazione ha previsto due prove di 6 minuti di corsa, in linea, continua uniforme sul nastro trasportatore (Run Race Technogym, Italia); la prima a 10 km/h e la seconda a 13,5 km/h. Alla fine di ognuna delle prove è stato effettuato il prelievo di una micro goccia di sangue capillare, dal lobo dell'orecchio, per analizzare il lattato ematico. Nelle due prove è stato calcolato il costo energetico della corsa continua in linea: a 10 km/h dallo stato stazionario degli ultimi 2 minuti, mentre a 13,5 km/h è stato calcolato considerando tutte e tre le componenti (aerobica, anaerobica alattacida e lattacida).

Costo energetico della corsa intermittente a navetta

Per valutare il costo energetico della corsa intermittente a navetta, ogni calciatore ha effettuato una prova di quattro minuti, 20 secondi di corsa a navetta su una distanza di 21,5 metri da percorrere in 5 secondi (velocità media di 15,48 km/h) e 20 secondi di recupero ripetuti 6 volte (4 minuti). La modalità di esecuzione delle navette è stata con cambio di senso rapido prima e dopo due mesi di allenamento; invece solamente su 5 calciatori, età $18,4 \pm 0,5$ anni, statura $176,1 \pm 3,6$ cm, peso $71,4 \pm 7,4$ kg, è stata effettuata sia la modalità normale, che quella rapida, prima della preparazione. Al terzo minuto di recupero, dopo la fine della prova, è stato effettuato il prelievo di sangue capillare, per analizzare il lattato ematico. La corsa è stata svolta nella palestra coperta, all'interno del centro federale della società calcistica, su un pavimento in gomma antiscivolo.

Test incrementale

I soggetti hanno svolto un test incrementale sul nastro trasportatore per misurare i valori massimi di consumo d'ossigeno, frequenza cardiaca, velocità e distanza raggiunta, prima e dopo due mesi di preparazione precampionato.

Risultati

Il costo energetico della corsa a 10 km/h, misurato sul nastro trasportatore prima e dopo l'allenamento, è risultato rispettivamente di $4,22 \pm 0,40$ e di $4,48 \pm 0,31$ J/m/kg (figura 1); invece a 13,5 km/h è risultato di $4,30 \pm 0,41$ J/m/kg prima e di $4,57 \pm 0,29$ J/m/kg dopo l'allenamento (figura 1);

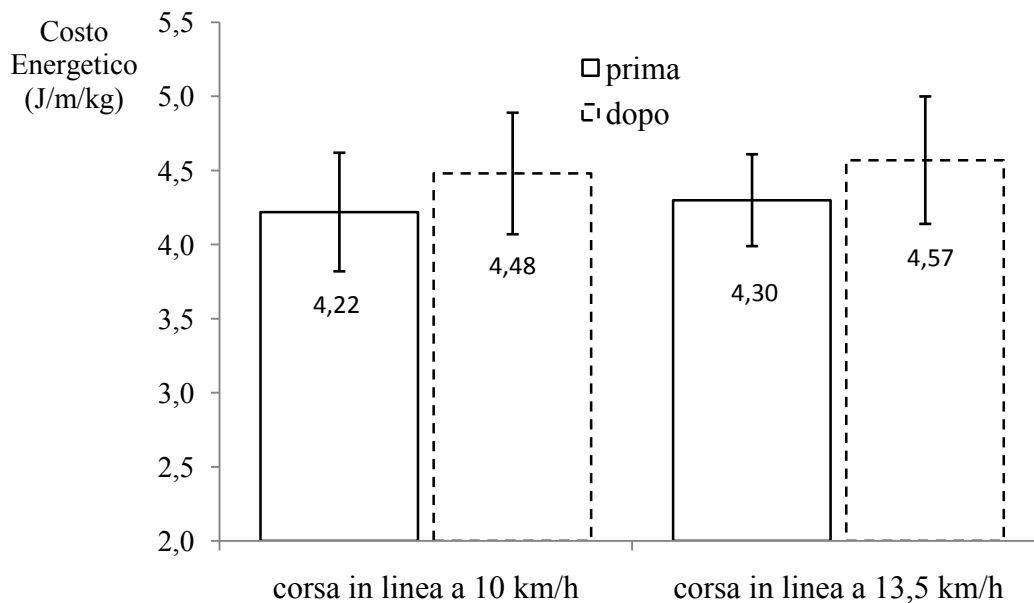


Figura 1

La figura 1 riporta il costo energetico della corsa continua in linea a 10 e ad 13,5 km/h prima e dopo due mesi di allenamento.

Il costo energetico della corsa in linea dopo l'allenamento è risultato maggiore del 6,15% a 10 km/h ($P < 0,03$) e del 6,23% a 13,5 km/h ($P < 0,01$) rispetto ai valori precedenti.

Il lattato ematico, misurato alla fine dei 6 minuti di corsa a 10 km/h sul nastro trasportatore, è stato di $1,5 \pm 0,5$ mM prima e di $1,3 \pm 0,3$ mM dopo l'allenamento ; mentre quello misurato alla fine dei 6 minuti di corsa a 13,5 km/h è stato di $3,9 \pm 1,4$ mM prima e di $3,3 \pm 0,9$ mM dopo l'allenamento (figura 2).

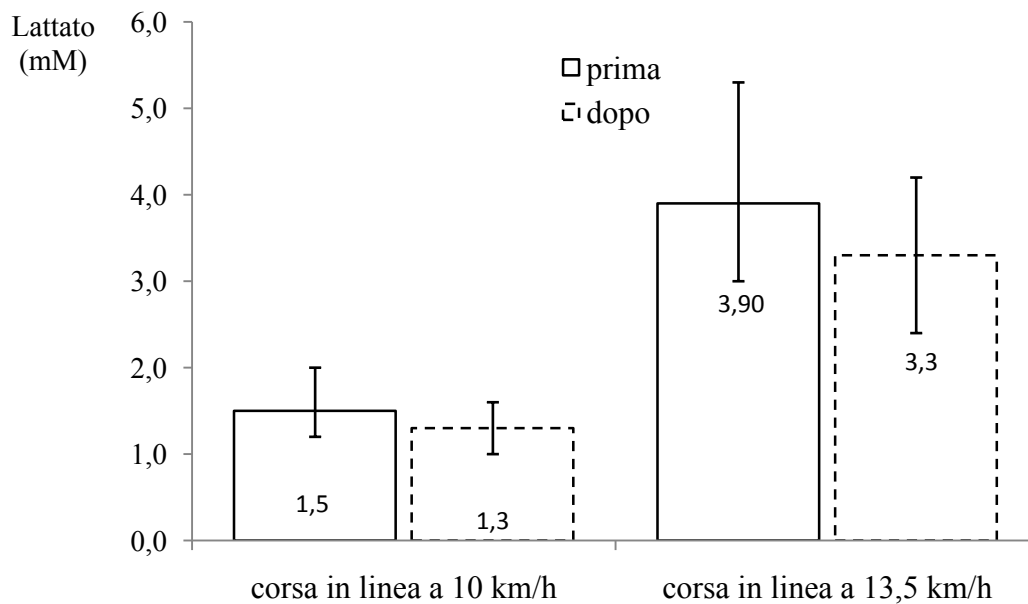


Figura 2

La figura 1 descrive il lattato ematico misurato dopo 6 minuti di corsa continua in linea a 10 e ad 13,5 km/h prima e dopo due mesi di allenamento.

Il lattato ematico della corsa in linea dopo l'allenamento è stato minore del 9,26% a 10 km/h ($P = n.s.$) e del 14,83% a 13,5 km/h ($P < 0,001$) rispetto ai valori precedenti.

Il costo energetico della corsa intermittente a navetta su 21,5 m in 5s (velocità media 15,48 km/h), con cambio di senso rapido, misurato prima e dopo l'allenamento, è risultato rispettivamente di $7,70 \pm 0,60$ e di $8,44 \pm 0,58$ J/m/kg ; invece il lattato è stato di $6,1 \pm 1,8$ prima e di $5,9 \pm 1,7$ mM dopo l'allenamento (figura 3).

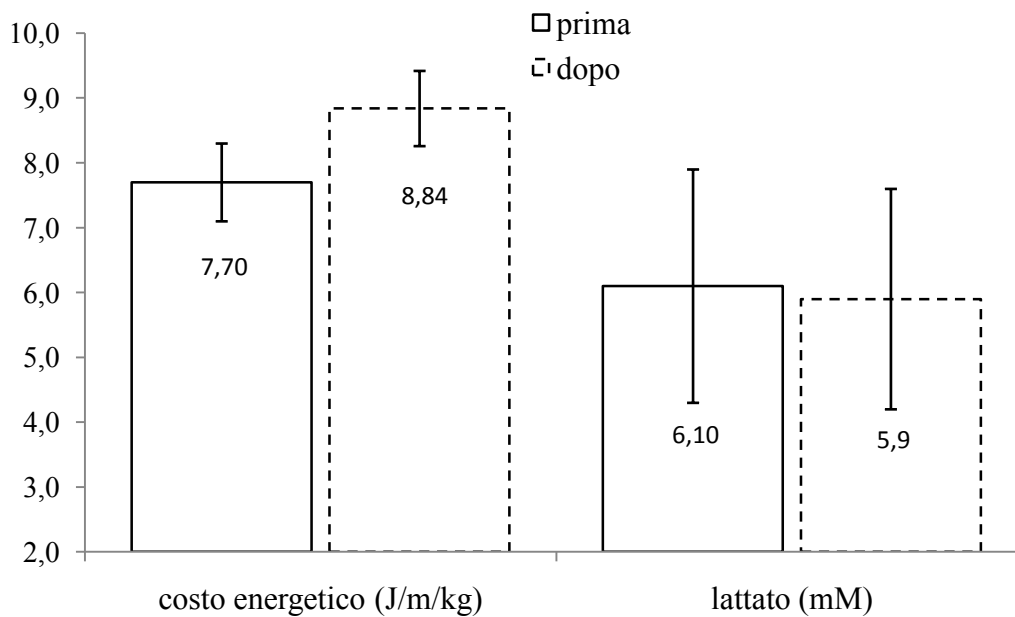


Figura 3

La figura 3 descrive il costo energetico ed il lattato ematico della corsa intermittente (20s / 20s) a navetta su 21,5m in 5s, velocità media 15,48 km/h, prima e dopo due mesi d'allenamento.

*Il costo energetico della corsa a navetta dopo l'allenamento è stato maggiore del 9,67% rispetto al valore precedente ($P < 0,001$);
invece il lattato ematico dopo l'allenamento è stato minore del 4,31% rispetto a prima dell'allenamento ($P = n.s.$).*

Il costo energetico della corsa intermittente a navetta su 21,5 m in 5s (velocità media 15,48 km/h) con cambio di senso normale, misurato, solamente su 5 calciatori, prima dell'allenamento è risultato di $7,29 \pm 0,38$ J/m/kg e con cambio rapido di $7,95 \pm 0,40$ J/m/kg; mentre, sempre sugli stessi soggetti, dopo l'allenamento con cambio di senso rapido, è stato di $8,75 \pm 0,66$ J/m/kg (figura 4).

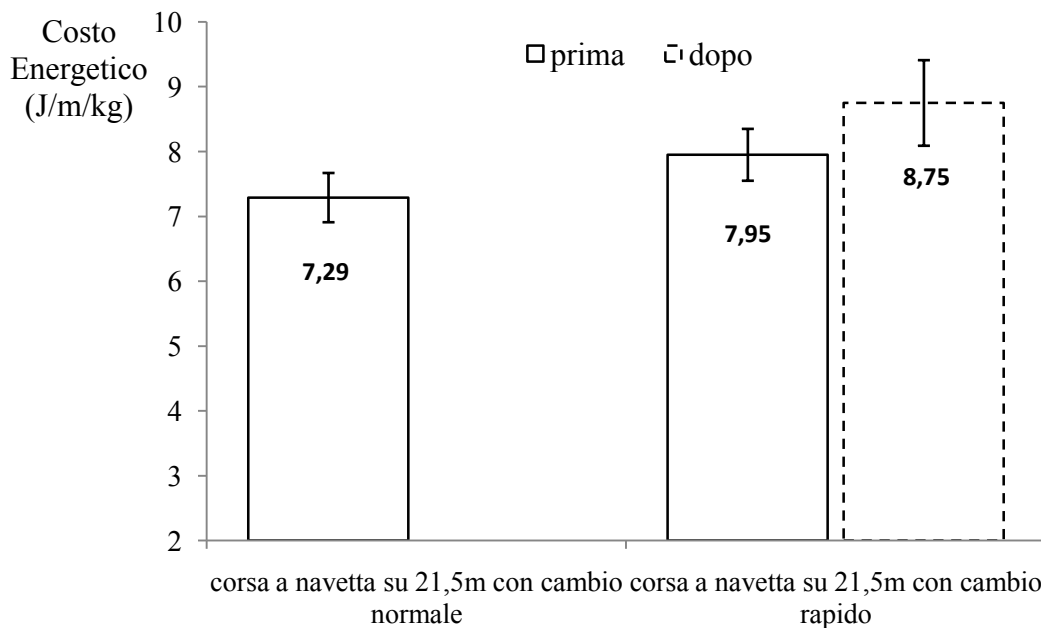


Figura 4

La figura 3 espone il costo energetico della corsa a navetta intermittente su 21,5 m in 5s (20s /20s), con cambio di senso normale prima, e rapido prima e dopo l'allenamento.

La differenza tra il costo energetico della corsa intermittente a navetta su 21,5m con cambio di senso normale e rapido prima dell'allenamento è stato del

9,01 % maggiore nel cambio di senso rapido ($P = n.s.$);

la differenza tra la metodica con cambio di senso rapido prima e dopo l'allenamento è stata del 10,10% maggiore dopo l'allenamento ($P < 0,05$);

la differenza tra la metodica con cambio di senso normale, prima dell'allenamento, e rapido, dopo l'allenamento, è stata del

16,68 % maggiore nel cambio di senso rapido dopo l'allenamento ($P < 0,02$).

Il $\dot{V}O_2^{\max}$, misurato nel test incrementale sul nastro trasportatore, è stato di $55,41 \pm 4,37$ ml/min/kg prima e di $60,36 \pm 4,42$ ml/min/kg dopo l'allenamento (figura 5).

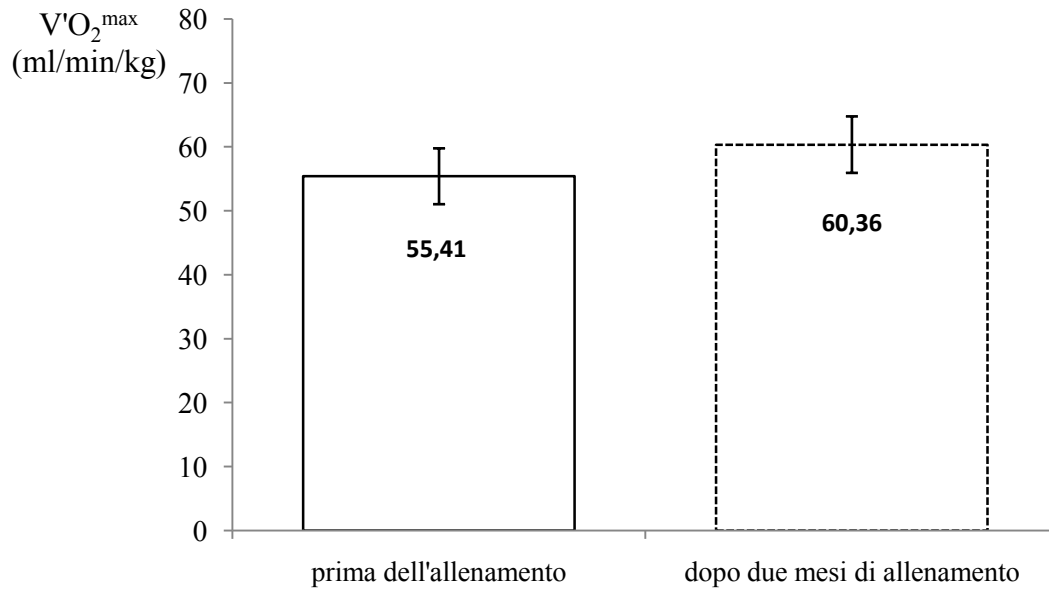


Figura 5

La figura 5 mostra il massimo consumo di ossigeno prima e dopo l'allenamento.

Il $\dot{V}O_2^{\max}$ dopo due mesi di allenamento è aumentato dell'8,94 % ($P < 0,0003$).

La massima velocità raggiunta nel test incrementale è stata di $18,1 \pm 1,3$ prima e di $19,0 \pm 1,2$ km/h dopo l'allenamento (figura 6).

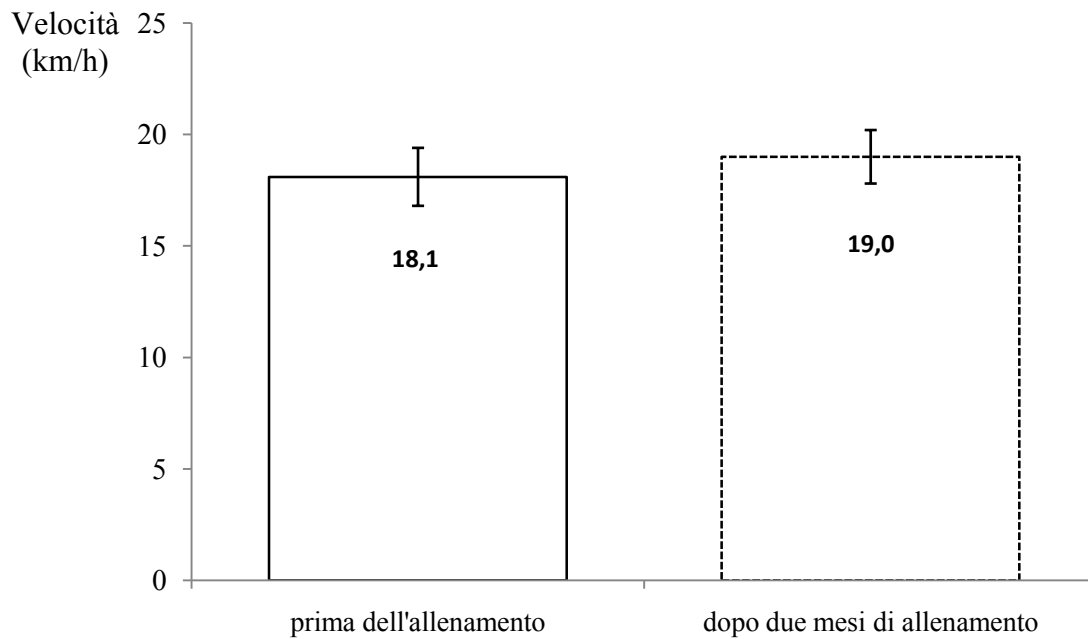


Figura 6

La figura 6 descrive la velocità massima raggiunta nel test incrementale prima e dopo l'allenamento.

La velocità massima raggiunta, nel test incrementale sul nastro trasportatore, dopo due mesi di allenamento, è aumentata del 5,1 % ($P < 0,001$).

La frequenza cardiaca massima, misurata nel test incrementale, è stata di $199 \pm 7,4$ bpm prima e di $195 \pm 6,9$ bpm e dopo l'allenamento (figura 7).

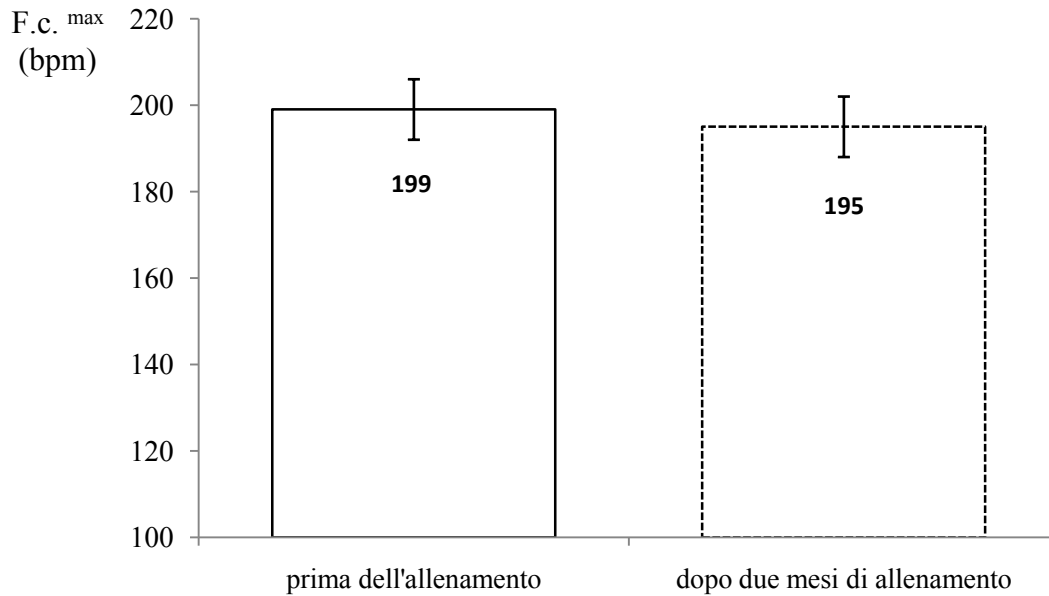


Figura 7

La figura 7 mostra la frequenza cardiaca massima(bpm) misurata nel test incrementale prima e dopo l'allenamento.

la frequenza cardiaca massima misurata, nel test incrementale sul nastro trasportatore, dopo due mesi di allenamento, è diminuita del 2,3 % ($P < 0,0008$).

Discussioni e Conclusioni

Il massimo consumo di ossigeno aumenta del 8,94% dopo ($P < 0,0003$); invece la frequenza cardiaca massima diminuisce del 2,31% ($P < 0,0008$).

Il costo energetico della corsa in linea dei calciatori è aumentato in maniera significativa dopo due mesi di allenamento del 6,15% a 10 km/h ($P < 0,03$) e del 6,23% a 13,5 km/h ($P < 0,01$). Questo sicuramente è dovuto alla scarsa correlazione tra la corsa in linea ed il modello prestativo dei calciatori; infatti i continui cambi di senso e le molte accelerazioni, che svolgono durante la gare e gli allenamenti, evidentemente peggiorano il costo della corsa in linea, ma migliorano la coordinazione specifica tipica della disciplina sportiva svolta.

Il costo energetico della corsa a navetta su 21,5 m è aumentato del 9,67% ($P < 0,001$), e, nei 5 calciatori valutati, nella corsa con cambio di senso con senso rapido è stato maggiore del 9,01% rispetto al cambio di senso normale ($P = n.s.$).

Studio IV

Il costo energetico e lo yo-yo endurance test di calciatori professionisti (C1)

prima della preparazione e dopo sei mesi di allenamento e gare

Soggetti

Questo lavoro è stato svolto su 17 calciatori di età $27,1 \pm 3,9$ anni, statura $178,5 \pm 4,3$ cm, peso $75,2 \pm 4,6$ kg, facenti parte di una squadra professionistica di serie C1.

Il presente studio è stato effettuato prima del periodo di preparazione precampionato e dopo 6 mesi di allenamenti, 4 mesi dopo l'inizio del campionato (serie C1 stagione sportiva 2007-2008). Le prove sono state svolte nei mesi di luglio 2007 e gennaio 2008 su un campo in erba.

Costo energetico della corsa continua uniforme in linea

La sperimentazione ha previsto due prove di 6 minuti di corsa, in linea, continua uniforme su un percorso ovale di 80m; la prima a 10,3 km/h e la seconda a 14 km/h. Alla fine di ognuna delle prove è stato effettuato il prelievo di sangue capillare, per analizzare il lattato ematico.

Test incrementale

I calciatori dopo le due prove di corsa continua, e dopo 10 minuti di recupero dall'ultima prova, hanno svolto lo yo-yo endurance test livello 1, partendo da 10 km/h, step 5. Durante il test sono stati misurati i massimi valori di consumo d'ossigeno, frequenza cardiaca, velocità e distanza raggiunta.

Risultati

Il $\dot{V}O_2^{\max}$ misurato è stato di $54,43 \pm 4,35$ ml/min/kg prima e di $60,67 \pm 4,68$ ml/min/kg e dopo l'allenamento (figura 1).

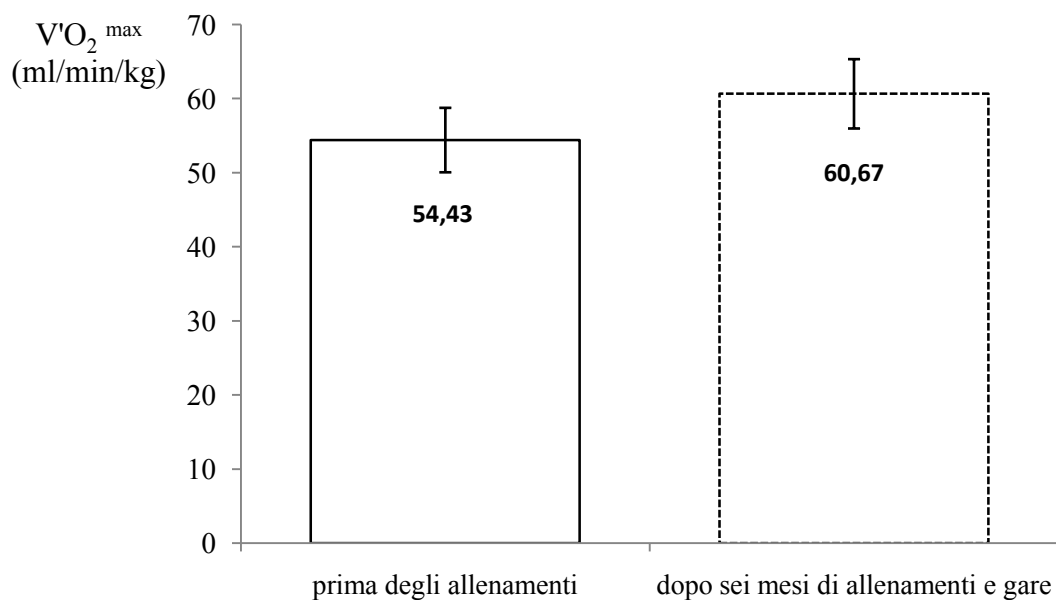


Figura 1

La figura 1 mostra il massimo consumo di ossigeno prima e dopo l'allenamento.

Il $\dot{V}O_2^{\max}$ dopo sei mesi di allenamento e gare è aumentato dell'11,46 % ($P < 0,00001$).

I valori assoluti di $\dot{V}O_2^{\max}$ misurati prima e dopo sono stati rispettivamente di 4090 ± 351 e 4533 ± 414 ml/min, con un aumento del 10,84% dopo l'allenamento ($P < 0,00001$).

La frequenza cardiaca massima misurata nel test incrementale è stata di 191 ± 8 bpm prima e di 188 ± 7 bpm dopo l'allenamento (figura 2).

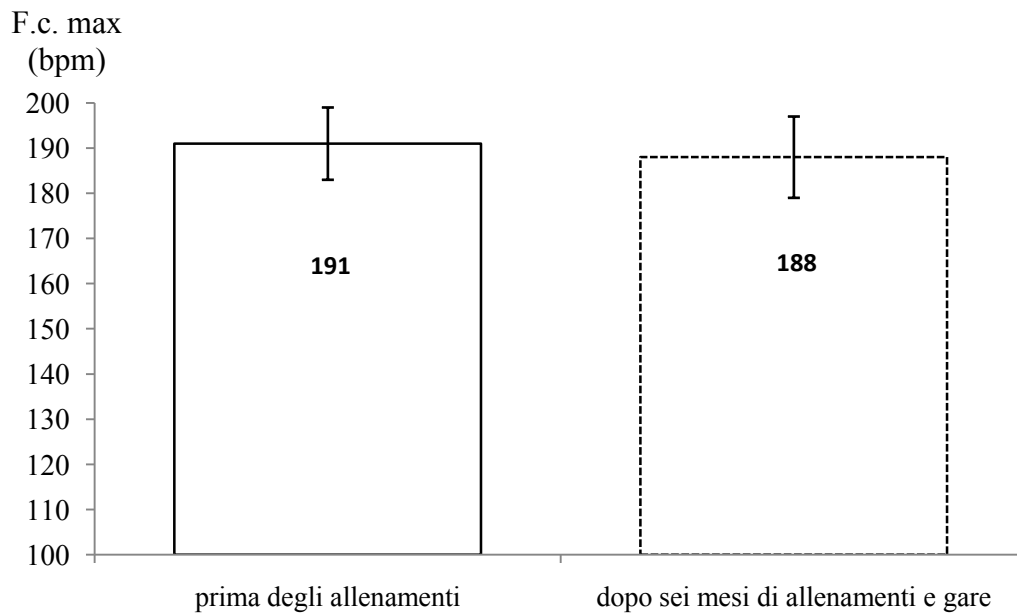


Figura 2

La figura 1 descrive la frequenza cardiaca massima prima e dopo l'allenamento.

La f.c.^{max} dopo sei mesi di allenamento e gare è diminuita dell' 1,64 % ($P < 0,01$).

Il lattato ematico misurato alla fine del test incrementale prima e dopo è stato di $8,11 \pm 1,70$ e $7,75 \pm 1,66$ mM, con una diminuzione del 2,03% dopo l'allenamento ($P = n.s.$).

Il costo energetico della corsa a 14 km/h prima e dopo sei mesi è risultato rispettivamente di $4,51 \pm 0,38$ e di $5,12 \pm 0,43$ J/m/kg; invece il lattato è stato di $6,5 \pm 1,8$ prima e di $5,9 \pm 1,1$ mM dopo l'allenamento (figura 3).

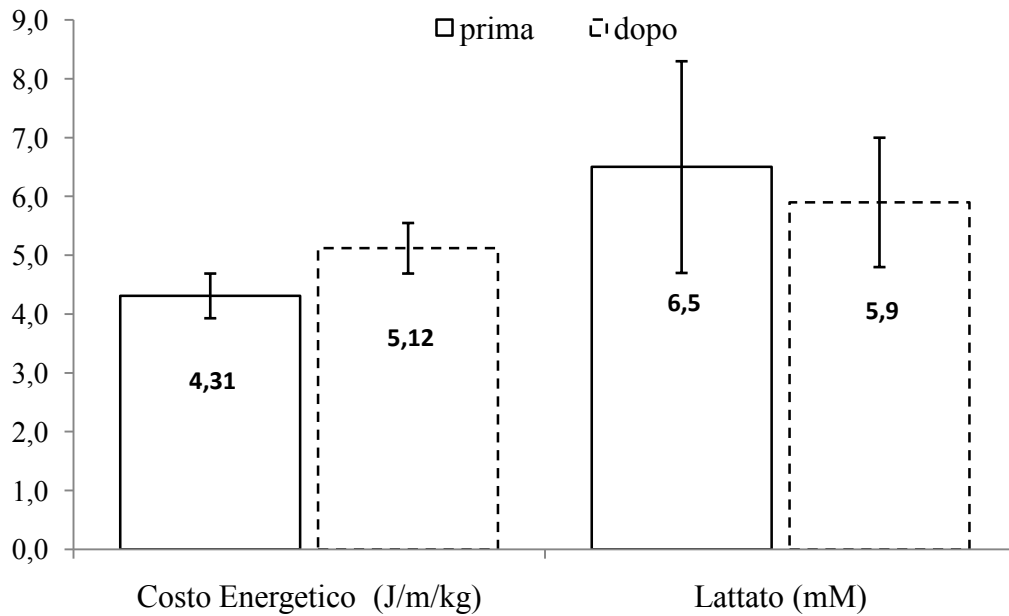


Figura 3

Nella figura, è rappresentato il costo energetico (J/m/kg) ed il lattato ematico (mM) della corsa continua in linea 14 km/h, svolta sul campo in erba, prima e dopo 6 mesi di allenamenti e gare.

Il costo energetico della corsa in linea è aumentato del 13,46 % ($P < 0,0001$) dopo l'allenamento;

invece il lattato ematico della corsa in linea è diminuito del 10,60 % ($P = n.s.$) dopo l'allenamento.

La distanza percorsa nello yo-yo endurance test prima è stata di 2065 ± 288 m prima e di 2247 ± 242 m dopo l'allenamento (figura 4).

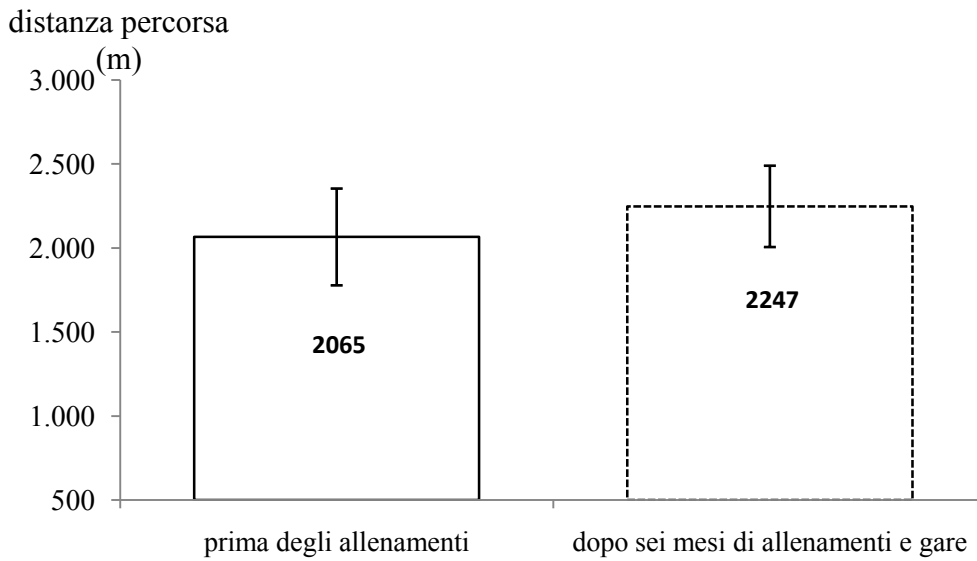


Figura 4

La figura 4 descrive la distanza percorsa nello yo-yo endurance test prima e dopo l'allenamento.

La distanza percorsa, nello yo-yo endurance test, dopo sei mesi di allenamento e gare, è aumentata dell'8,83 % ($P < 0,0002$).

La velocità massima raggiunta nello yo-yo endurance test è stata di $13,51 \pm 0,65$ km/h prima e di $13,91 \pm 0,52$ km/h dopo sei mesi di allenamenti e gare (figura 5).

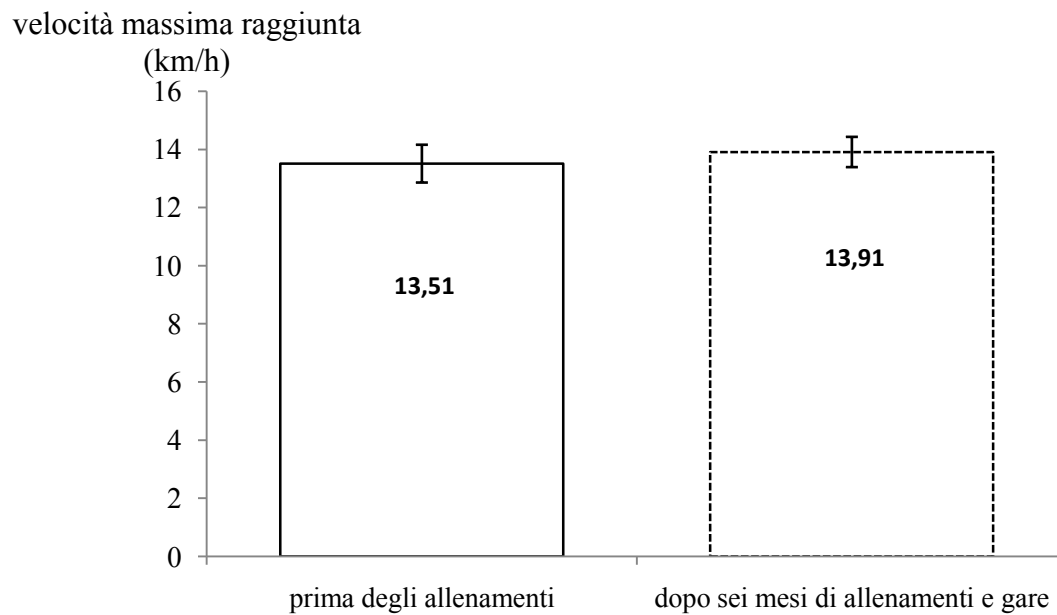


Figura 5

La figura 5 mostra la velocità massima raggiunta nello yo-yo endurance test prima e dopo l'allenamento.

La velocità massima raggiunta, nello yo-yo endurance test, dopo sei mesi di allenamento e gare, è aumentata del 2,95 % ($P < 0,0003$).

Discussioni e Conclusioni

Le valutazioni fatte prima della preparazione precampionato, e dopo sei mesi di allenamento e gare ufficiali di campionato, serie C1, e di coppa Italia, hanno messo in evidenza che il costo energetico della corsa in linea aumenta significativamente del 13,46%, e questo potrebbe essere dovuto alla scarsa correlazione della prestazione dei calciatori con la corsa in linea.

Il massimo consumo di ossigeno aumenta del 11,46% dopo l'allenamento ($P < 0,00001$); invece la frequenza cardiaca massima diminuisce dell'1,64% ($P < 0,01$).

Se mettiamo in relazione il massimo consumo di ossigeno misurato nello yo-yo endurance test con i metri percorsi nello stesso test, vediamo che, nei calciatori, c'è una bassissima correlazione tra i metri percorsi ed il $V'O_2^{\max}$ misurato (figura 6).

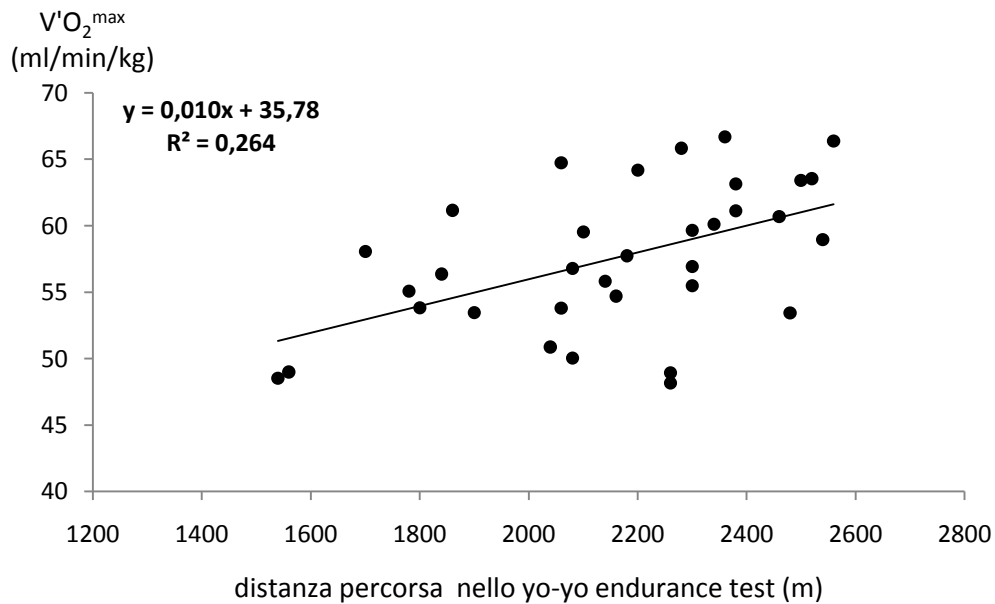


Figura 6

La figura 6 descrive la relazione tra il $V'O_2^{\max}$ misurato e la distanza percorsa nello yo-yo endurance test prima e dopo l'allenamento.

Inoltre, se relazioniamo la percentuale di miglioramento del $V'O_2^{\max}$ con quella dei metri percorsi nello yo-yo endurance prima e dopo sei mesi, notiamo che non c'è nessuna correlazione (figura 7).

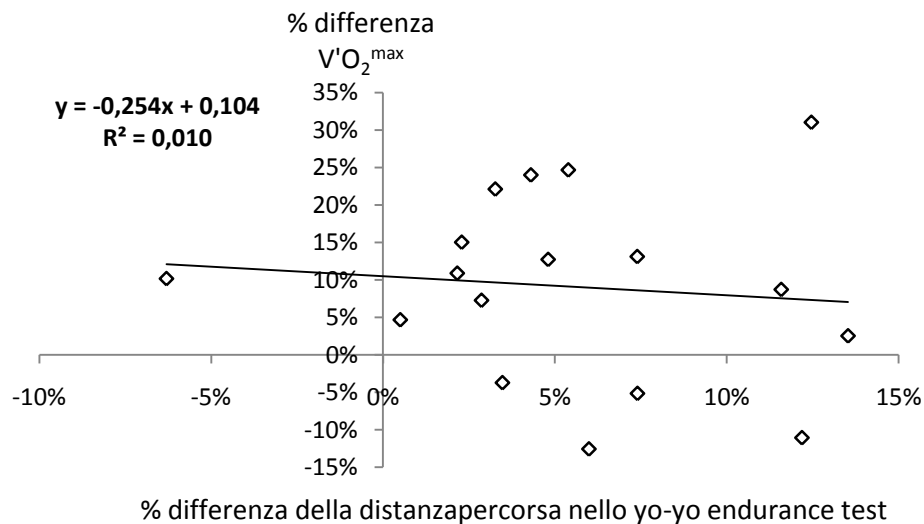


Figura 7

La figura 7 mostra la relazione tra la differenza in % del $V'O_2^{\max}$ e la differenza in % della distanza percorsa nello yo-yo endurance test prima e dopo l'allenamento.

Dai risultati ottenuti si evince che, nei calciatori, non solo non si può stimare il $V'O_2^{\max}$ dalla distanza percorsa, ma non si possono valutare neanche le percentuali dell' aumento o della diminuzione del $V'O_2^{\max}$ da quelle dei metri percorsi. Quindi, il calciatore che percorre più metri non è detto che abbia un $V'O_2^{\max}$ maggiore di quello che percorre una distanza minore; e se, dopo un periodo di allenamento, il soggetto percorre una distanza maggiore nello yo-yo endurance test, rispetto al test precedente l'allenamento, non è detto che abbia migliorato il suo $V'O_2^{\max}$.

Studio V

Differenza tra costo energetico della corsa continua in linea ed intermittente a navetta di calciatori e maratoneti

Soggetti

Questo lavoro è stato svolto su 17 soggetti : 10 calciatori di età $17,6 \pm 0,5$ anni, statura $174,2 \pm 6,1$ cm, peso $71,5 \pm 6,8$ kg, facenti parte di una squadra professionistica di serie A (primavera), e 7 maratoneti di buon livello di età $33,4 \pm 8,0$ anni, statura $174,6 \pm 6,2$ cm, peso $66,7 \pm 7,1$ kg.

Costo energetico della corsa continua uniforme in linea

La sperimentazione ha previsto una prova di 6 minuti di corsa, in linea, continua uniforme sul nastro trasportatore (Run Race Technogym, Italia) a 14 km/h. Alla fine della prova è stato effettuato il prelievo di sangue capillare, dal lobo dell'orecchio, per analizzare il lattato ematico. Nella prova è stato calcolato il costo energetico della corsa continua in linea.

Costo energetico della corsa intermittente a navetta

Per valutare il costo energetico della corsa intermittente a navetta, i soggetti hanno effettuato una prova di quattro minuti di corsa intermittente a navetta 20-20 ripetuti 6 volte (4 minuti) 20 secondi di corsa a navetta su una distanza di 22 metri da percorrere in 5 secondi (velocità media di 15,84 km/h) e 20 secondi di recupero. La modalità di esecuzione delle navette era con cambio di senso normale. Al terzo minuto di recupero dopo la prova, è stato effettuato il prelievo di sangue capillare, per analizzare il lattato ematico. I calciatori hanno svolto le prove presso la palestra coperta, all'interno del centro federale della società calcistica, su un pavimento in gomma antiscivolo, invece, i maratoneti presso lo Human Performance and Training Lab "Carmelo Bosco" del corso di laurea in Scienze Motorie, della Facoltà di Medicina e Chirurgia, dell'Università degli Studi di Roma Tor Vergata.

Test incrementale

I soggetti hanno svolto un test incrementale sul nastro trasportatore per misurare il massimo consumo di ossigeno e la frequenza cardiaca massima.

Risultati

Il $\dot{V}O_2$ max misurato nel test incrementale sul nastro trasportatore dei calciatori è stato di $55 \pm 3,6$ (ml/min/kg), mentre nei corridori di $69,4 \pm 3,7$ (ml/min/kg) (figura 1).

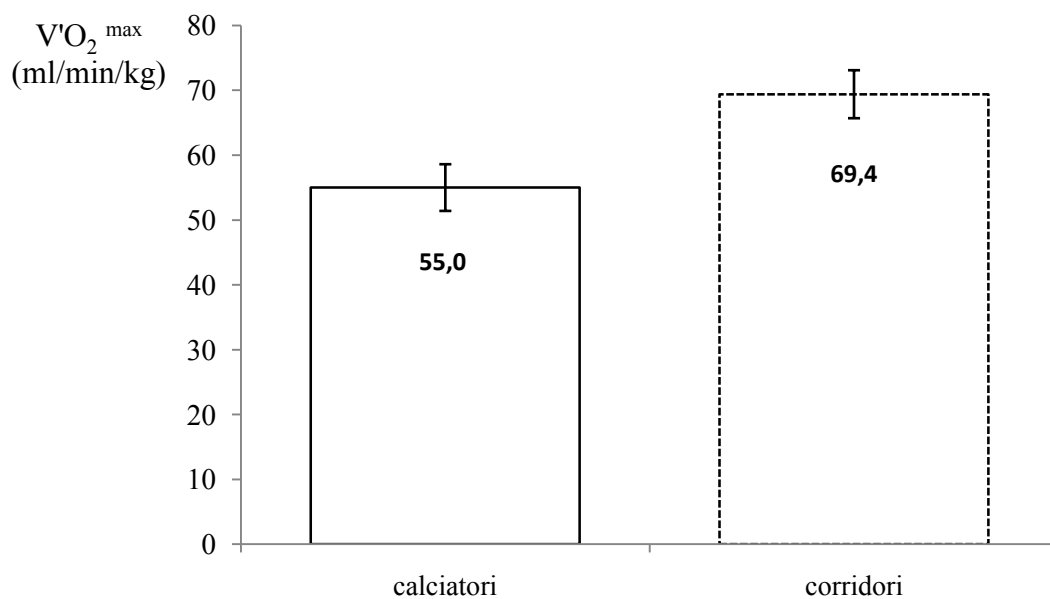


Figura 1

La figura 1 rappresenta il massimo consumo di ossigeno di calciatori e maratoneti.

Il $\dot{V}O_2^{\max}$ dei calciatori è risultato del 26,24 % minore di quello dei maratoneti ($P < 0,001$).

Il costo energetico della corsa a 14 km/h dei calciatori e dei maratoneti è risultato rispettivamente di $4,3 \pm 0,4$ e di $4,0 \pm 0,1$ J/m/kg; invece, nella corsa intermittente a navetta su 22 m in 5s (velocità media 15,84 km/h), con cambio di senso normale, il costo energetico dei calciatori è stato di $7,4 \pm 0,6$ J/m/kg e dei maratoneti di $8,4 \pm 0,5$ J/m/kg (figura 2).

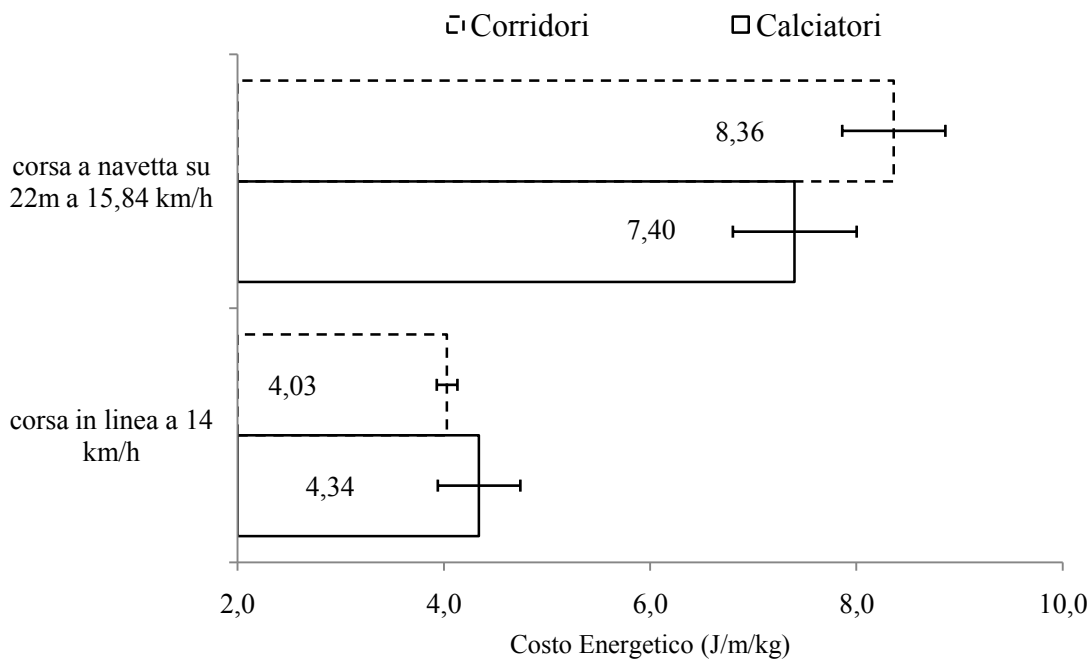


Figura 2

La figura 2 descrive il costo energetico della corsa in linea a 14 km/h ed intermittente (20s / 20s) a navetta su 22m in 5s, velocità media 15,84 km/h, di calciatori e maratoneti.

Il costo energetico della corsa in linea a 14 km/h dei calciatori è maggiore del 7,14 % rispetto ai maratoneti ($P < 0,05$);
 invece nella corsa intermittente a navetta su 22m, il costo energetico dei calciatori è del 12,97 % inferiore rispetto a quello dei maratoneti ($P < 0,01$).

Il lattato misurato dopo la corsa in linea sul nastro a 14 km/h è stato di $3,7 \pm 1,3$ nei calciatori e di $1,3 \pm 0,5$ nei maratoneti; mentre nella corsa intermittente a navetta su 22 m in 5s (velocità media 15,84 km/h), con cambio di senso normale, il lattato nei calciatori è stato di $5,3 \pm 0,9$ mM e dei maratoneti di $5,6 \pm 3,0$ mM (figura 3).

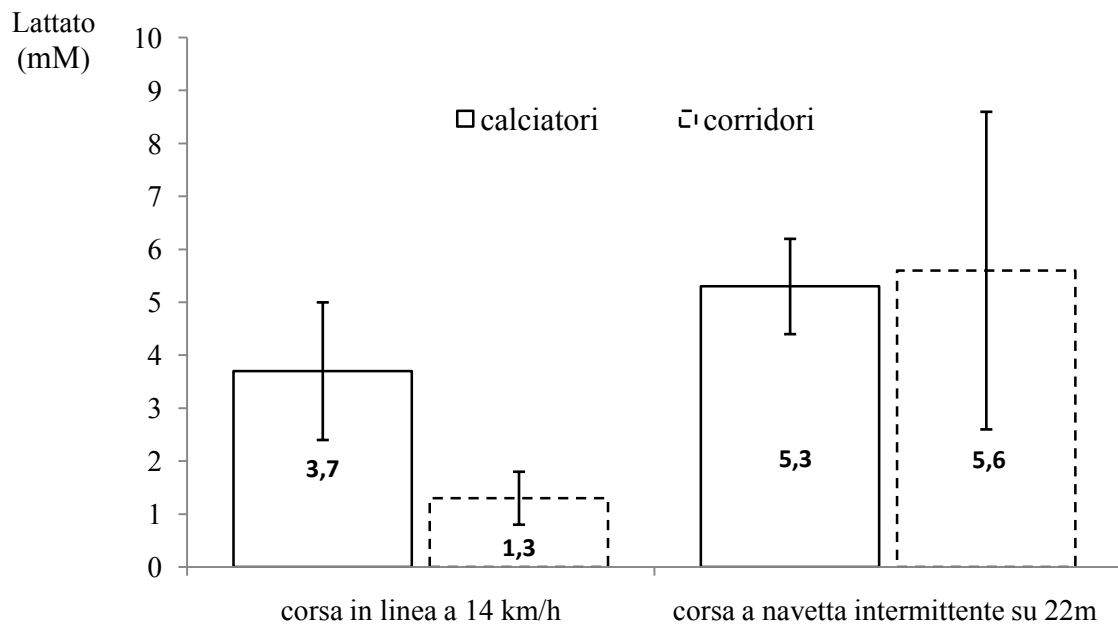


Figura 3

La figura 2 descrive il lattato della corsa in linea a 14 km/h ed intermittente (20s / 20s) a navetta su 22m in 5s, velocità media 15,84 km/h, di calciatori e maratoneti.

Il lattato della corsa in linea a 14 km/h dei calciatori è maggiore del 64,34 % rispetto ai maratoneti ($P < 0,0001$);

invece nella corsa intermittente a navetta su 22m, il lattato dei calciatori è del 5,67 % inferiore rispetto a quello dei maratoneti ($P = n.s.$).

La percentuale del $\dot{V}O_2^{\max}$ della corsa in linea sul nastro a 14 km/h è stata dell'87,8 ± 0,1 % dei calciatori e del 68,9 ± 0,0 % dei corridori; invece nella corsa intermittente a navetta su 22 m in 5s (velocità media 15,84 km/h), con cambio di senso normale, la percentuale del $\dot{V}O_2^{\max}$ della prova è stata del 83,8 ± 0,1% dei calciatori e del 75,8 ± 0,0% dei corridori (figura 3).

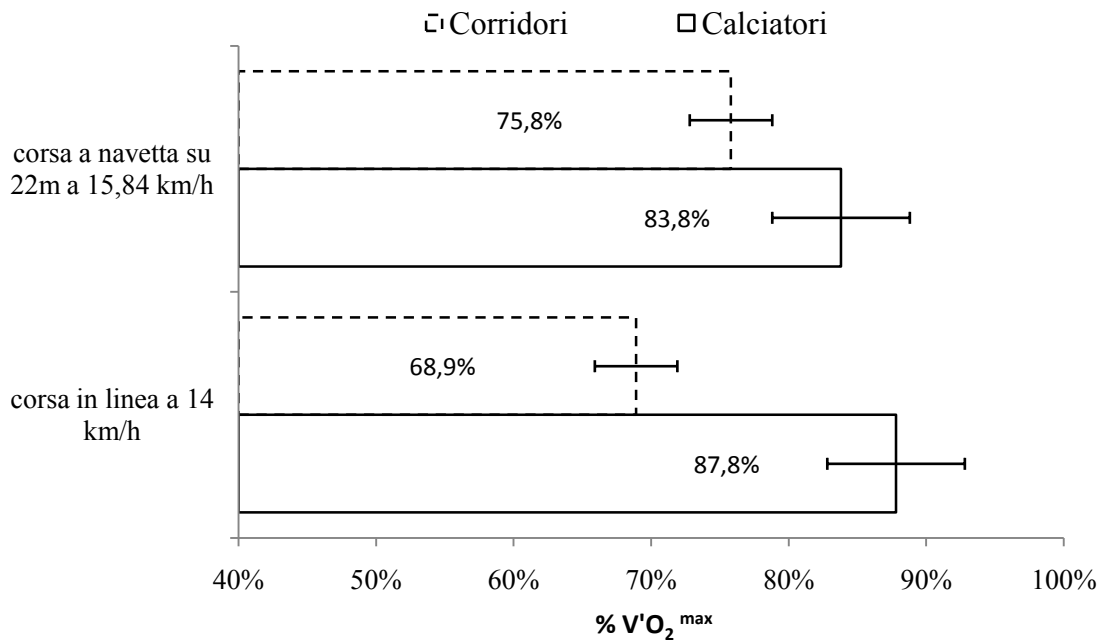


Figura 3

La figura 3 rappresenta la percentuale del $\dot{V}O_2^{\max}$ della corsa in linea a 14 km/h ed intermittente (20s / 20s) a navetta su 22m in 5s, velocità media 15,84 km/h, di calciatori e maratoneti.

La % $\dot{V}O_2^{\max}$ della corsa in linea a 14 km/h dei calciatori è maggiore del 18,9 % rispetto ai maratoneti ($P < 0,00002$);

invece nella corsa intermittente a navetta su 22m, la % $\dot{V}O_2^{\max}$ dei calciatori è maggiore del 7,9 % rispetto a quella dei maratoneti $P < 0,005$.

Discussioni e Conclusioni

Il costo energetico della corsa a navetta è più soggetto a variazioni della corsa in linea, perché le continue accelerazioni e ripartenze incidono in maniera notevole sul suo aumento e dipendono dall'abilità e dalla coordinazione dei soggetti che devono eseguire questa tipologia di corsa.

Nonostante i maratoneti avessero un $\dot{V}O_2^{\max}$ superiore del 26,24%, rispetto a quello dei calciatori, nella corsa a navetta intermittente, si comportano in maniera simile a questi ultimi, manifestando una richiesta energetica maggiore, dato che il costo energetico è maggiore del 7,8% della corsa in linea.

Il lattato ematico nei maratoneti, dopo 6 minuti di corsa in linea a 14 km/h, è simile ai valori di riposo ($1,3 \pm 0,5$ mM), invece i calciatori alla stessa velocità sono probabilmente ad un valore superiore alla loro soglia anaerobica, perché i valori di lattato sono di $3,7 \pm 1,3$ mM.

Nella corsa a navetta intermittente, il lattato risulta maggiore nei maratoneti del 5,3% ($p=n.s.$).

La percentuale di $\dot{V}O_2^{\max}$ utilizzato nella corsa continua in linea a 14 km/h sicuramente è maggiore nei calciatori, rispetto ai maratoneti, ma nella corsa a navetta la differenza si riduce, ed la $\% \dot{V}O_2^{\max}$ utilizzata è molto simile a quella dei maratoneti, sicuramente perché i calciatori sono abituati ad una tipologia di corsa che prevede molti cambi di senso e partenze da fermi.

Appare evidente che non è il $\dot{V}O_2^{\max}$ elevato, e neppure, la ricerca esasperata del suo miglioramento con metodiche di corsa continua in linea, che rispondono alle esigenze degli sport di squadra, come il calcio; ma bisogna cercare di migliorare i gesti specifici, per avere una coordinazione ed efficienza migliore.

Studio VI

Il costo energetico del cammino in piano ed in salita di maschi e femmine e gli effetti di due metodiche di allenamento differenti, continua ed intermittente, sul costo energetico del cammino

Soggetti

Il costo energetico del cammino in piano ed in salita è stato studiato su due gruppi di soggetti, maschi e femmine, studenti di scienze motorie. Il lavoro è stato svolto presso lo Human Performance and Training Lab “Carmelo Bosco” del corso di laurea in Scienze Motorie, della Facoltà di Medicina e Chirurgia, dell’Università degli Studi di Roma Tor Vergata, nei mesi di gennaio, marzo, aprile, maggio 2008. Successivamente, sono stati studiati gli effetti di due metodiche di allenamento differenti, sul costo energetico del cammino in piano ed in salita, prima e dopo un mese di allenamento, su un gruppo di femmine, nei mesi di giugno-luglio e novembre-dicembre.

Alla prima sperimentazione, per il calcolo del costo energetico del cammino in piano ed in salita, hanno partecipato 26 maschi di età $23,9 \pm 4,4$ anni, statura $179,5 \pm 9,4$ cm, peso $74,8 \pm 11,7$ kg, e 18 femmine, di età $25,3 \pm 4,8$ anni, statura $163,7 \pm 4,4$ cm, peso $53,3 \pm 3,1$ kg.

Costo energetico del cammino in piano ed in salita

Per calcolare il costo energetico del cammino in piano, i maschi hanno effettuato 5 prove di 4 minuti di cammino in piano a 4, 5, 6, 7 e 8 km/h ognuna, e dopo 10 minuti di recupero hanno svolto altre 3 prove di 4 minuti di cammino in salita a 5 km/h e ad inclinazione 5, 10 e 15% ognuna.

La femmine, invece, hanno effettuato 5 prove di 4 minuti di cammino in piano a 3, 4, 5, 6 e 7 km/h ognuna, e dopo 10 minuti di recupero, hanno svolto 3 prove di 4 minuti di cammino in salita, a 5 km/h e ad inclinazione 5, 10 e 15% , e solo metà dei soggetti 3 prove di 4 minuti di cammino in salita a tre velocità e pendenze diverse : 4 km/h e 4% , 5 km/h e 5%, 6 km/h e 6% d’inclinazione.

Il costo energetico è stato calcolato dallo stato stazionario degli ultimi due minuti di ogni prova.

Test incrementale

Il test incrementale iniziava con le tre prove di 4 minuti di cammino sul nastro trasportatore, a velocità costante, in ognuna delle quali l'inclinazione veniva aumentata del 5, 10 e 15% sia nei maschi che in un gruppo di femmine; dopo aver svolto, poi, l'ultima prova di 4 minuti a 5 km/h e 15%, mantenendo invariata la velocità del cammino, l'inclinazione veniva aumentata dell'1% ogni minuto fino ad esaurimento del soggetto. Nel gruppo di femmine, che ha effettuato il protocollo di allenamento continuo variato, il test incrementale è stato svolto con le stesse modalità, precedentemente descritte, ma iniziando dalla velocità di 6 km/h, anziché di 5 km/h e dal 6% d'inclinazione, invece del 15%.

Durante le prove sono stati misurati il consumo di ossigeno e la frequenza cardiaca.

Allenamento di cammino in salita sul nastro trasportatore

L'allenamento in salita è stato svolto sia con metodica continua che intermittente su un gruppo di 7 femmine, di età $25,3 \pm 4,8$ anni, statura $163,7 \pm 4,4$ cm, peso $53,3 \pm 3,1$ kg, nei mesi di giugno-luglio e novembre-dicembre; di queste, quattro hanno preso parte a tutti e due i protocolli. A giugno è stato svolto l'allenamento intermittente, mentre a novembre quello continuo variato.

Dopo aver misurato il $V'O_2^{\text{peak}}$ e la $f.c.^{\text{max}}$, i soggetti hanno cominciato gli allenamenti con una frequenza di tre volte a settimana per una durata di cinque settimane.

Allenamento intermittente

Durante ogni allenamento, sono state svolte tre serie di cammino in salita della durata di 6 minuti nelle prime due settimane e di 8 minuti dalla terza alla quinta settimana, intervallate da 3 minuti di recupero tra le serie, per un totale di 18 minuti di allenamento effettuati nelle prime due settimane e 24 minuti nelle settimane successive. La velocità e l'inclinazione degli allenamenti è stata regolata in modo tale che l'intensità fosse compresa tra il 90 ed il 100% del $V'O_2^{\text{peak}}$ le prime due ed al 100% del $V'O_2^{\text{peak}}$ le ultime tre settimane. Durante ogni allenamento la $f.c.$ media doveva essere mantenuta tra l'80 e l'85% della $f.c.^{\text{max}}$.

Protocollo dell'allenamento intermittente:

1a settimana

3 serie di 6 minuti di allenamento intermittente 40 / 20
40 secondi di cammino e 20 secondi recupero (in piedi sul nastro)

2a settimana

3 serie di 6 minuti di allenamento intermittente 60 / 20
60 secondi di cammino e 20 secondi recupero (in piedi sul nastro)

Dalla 3° alla 5a settimana

3 serie di 8 minuti di allenamento intermittente 40 / 20
40 secondi di cammino e 20 secondi recupero (in piedi sul nastro)

Allenamento continuo variato

L'allenamento continuo variato è stato effettuato per cinque settimane, come quello intermittente, e sono stati eseguiti 3 allenamenti settimanali, della durata di 18 minuti le prime due settimane e di 26 minuti dalla seconda alla quinta settimana. La velocità e l'inclinazione degli allenamenti è stata regolata in modo che l'intensità media risultasse tra il 75 e l'80% del $V'O_2^{\text{peak}}$. Durante ogni allenamento, la f.c. media doveva essere mantenuta tra l'80 e l'85% della $f.c.^{\text{max}}$, come nell'allenamento intermittente.

Protocollo dell'allenamento continuo variato:

1a e 2a settimana

6 minuti al 50% del $V'O_2^{\text{peak}}$ e 12 minuti di variazioni 1'30" al 75% ed 1'30" al 50% del $V'O_2^{\text{peak}}$

per un totale di 18 minuti di allenamento continuo variato;

dalla 3° alla 5a settimana

6 minuti al 55% del $V'O_2^{\text{peak}}$ e 20 minuti di 1'30" al 80% ed 1'30" al 55% del $V'O_2^{\text{peak}}$.

per un totale di 26 minuti di allenamento continuo variato;

Risultati

Il costo energetico del cammino in piano di maschi e femmine è riportato nella tabella 1.

velocità (km/h) 0%	C _w maschi	C _w femmine	% differenza
3		3,03 ± 0,48	
4	3,20 ± 0,48	2,68 ± 0,32	16,02 % *
5	3,25 ± 0,51	2,94 ± 0,36	9,59 % *
6	3,53 ± 0,51	3,27 ± 0,40	7,37 % *
7	4,01 ± 0,57	3,95 ± 0,52	1,49 % *
8	4,94 ± 0,89		

Tabella 1

Nella tabella 1 sono riportati i valori del costo energetico (J/m/kg), del cammino in piano di maschi e femmine.

$P < 0,05 = *$

Invece il costo energetico del cammino in salita, di maschi e femmine, è riportato nella tabella 2.

velocità (km/h) inclinazione %	C _w maschi	C _w femmine	% differenza
4 km/h 4%	3,97 ± 0,32		
5 km/h 5%	4,47 ± 0,52	5,22 ± 0,76	14,30 % *
6 km/h 6%	5,36 ± 0,66		
5 km/h 10%	6,08 ± 0,66	7,25 ± 0,93	16,20 % *
5 km/h 15%	7,84 ± 0,64	9,11 ± 1,11	13,89 % *

Tabella 2

Nella tabella 2 sono riportati i valori del costo energetico (J/m/kg), del cammino in salita di maschi e femmine.

$P < 0,02 = *$

Il costo energetico del cammino in piano di maschi e femmine, in funzione della velocità, è descritto nella figura 1.

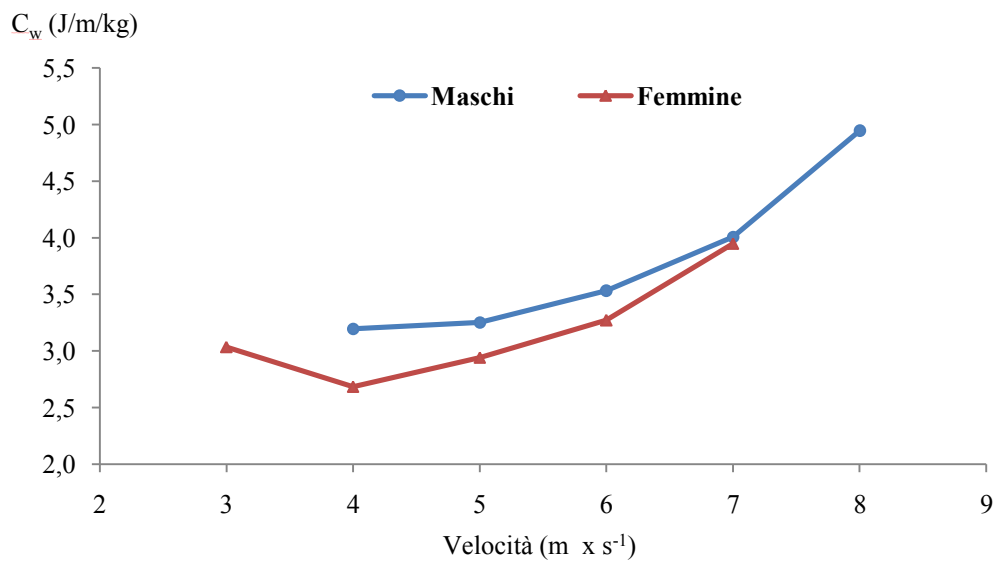


Figura 1

Nella figura, è descritto il costo energetico del cammino in piano di 26 maschi e 18 femmine (J/m/kg) e dai dati ottenuti sono state ricavate l'equazioni del C_w in piano:

$$C_w \text{ Maschi da 4 ad 8 km/h : } y = 0,019x^3 - 0,216x^2 + 0,816x + 2,120 \quad (R^2 = 0,999)$$

$$C_w \text{ Femmine da 4 ad 7 km/h : } y = 0,046x^3 - 0,663x^2 + 3,391x - 3,240 \quad (R^2 = 1)$$

Nelle femmine se consideriamo anche la velocità a 3 km/h l'equazione del costo energetico in piano da 3 a 7 km/h risulta :

$$C_w \text{ Femmine : } y = 0,034x^4 - 0,704x^3 + 5,445x^2 - 18,38x + 25,42 \quad (R^2 = 1)$$

Il costo energetico del cammino in salita di maschi e femmine, in funzione della velocità, è rappresentato nella figura 2.

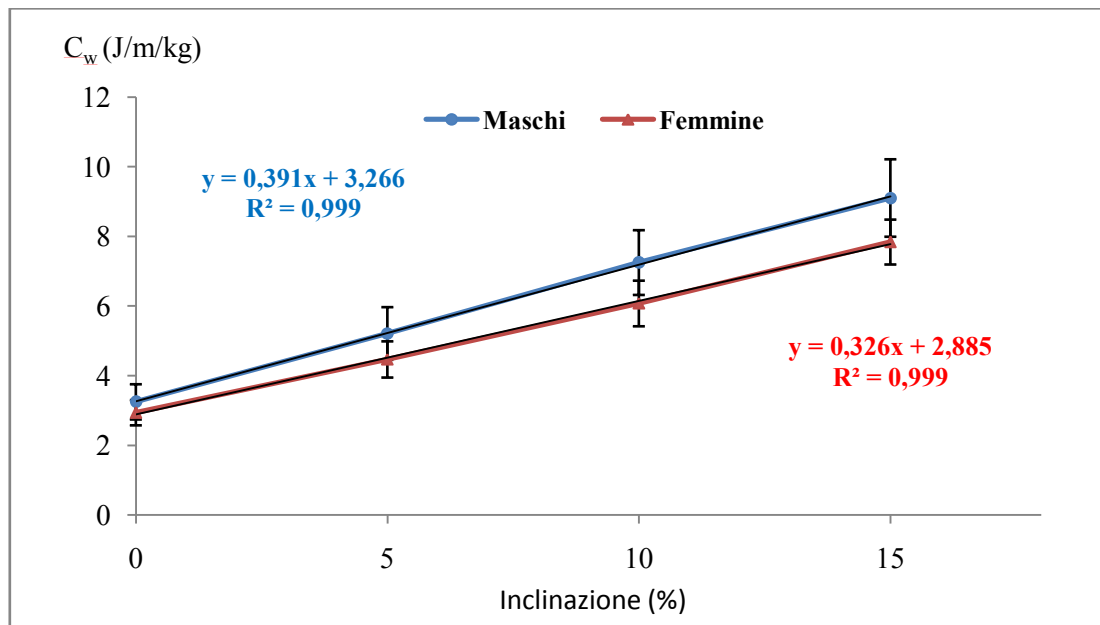


Figura 2

Nella figura 2, è rappresentato il costo energetico del cammino in salita a 5 km/h a 0-5-10-15% d'inclinazione, di maschi e femmine.

Dopo cinque settimane di allenamento intermittente il costo energetico del cammino in piano è aumentato significativamente a 3 ed a 5 km/h, ma non a 7 km/h; invece nel cammino in salita C_w non è risultato diverso dopo le 5 settimane di allenamento (tabella 3).

velocità (km/h) 0 %	Allenamento Intermittente C_w (J/m/kg)		Differenza %	Allenamento Continuo C_w (J/m/kg)		Differenza %
	prima	dopo		prima	dopo	
3	2,73 ± 0,45	3,38 ± 0,41 *	19,0 %			
4				2,68 ± 0,21	2,84 ± 0,43	6,2 %
5	2,82 ± 0,36	3,13 ± 0,40 *	11,0 %	2,95 ± 0,38	2,76 ± 0,30	- 6,6 %
6				3,50 ± 0,32	3,22 ± 0,57	-7,9 %
7	3,87 ± 0,59	4,14 ± 0,48	6,9 %			

Tabella 3

Nella tabella 3 sono riportati i valori del costo energetico del cammino in piano delle femmine prima e dopo l'allenamento intermittente e continuo.

$P < 0,02 = *$

Il costo energetico in funzione della velocità del cammino in piano prima e dopo 5 settimane di allenamento intermittente è raffigurato nella figura 3.

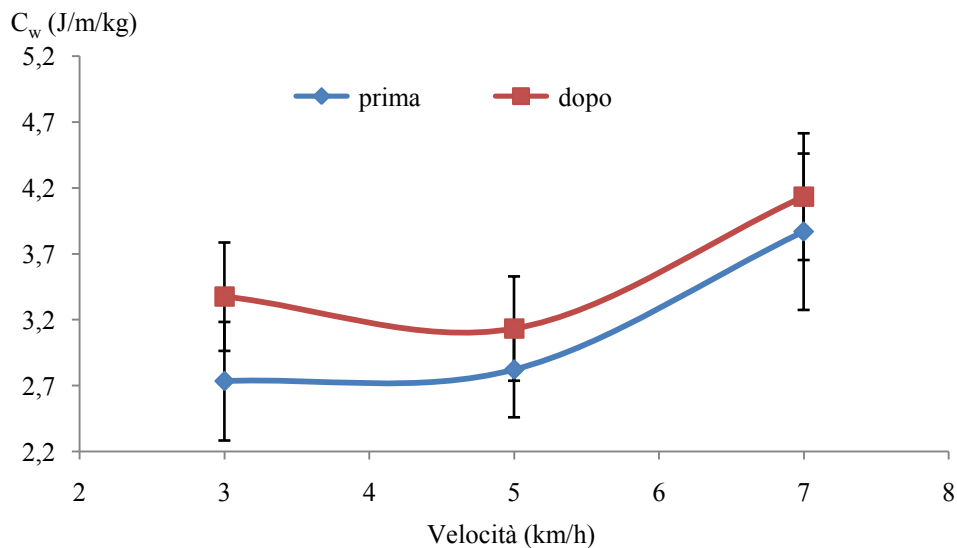


Figura 3

La figura 3 mostra il C_w (J/m/kg) del cammino in piano prima e dopo l'allenamento intermittente.

Il costo energetico in funzione della velocità del cammino in piano, prima e dopo 5 settimane di allenamento continuo variato, è rappresentato nella figura 4.

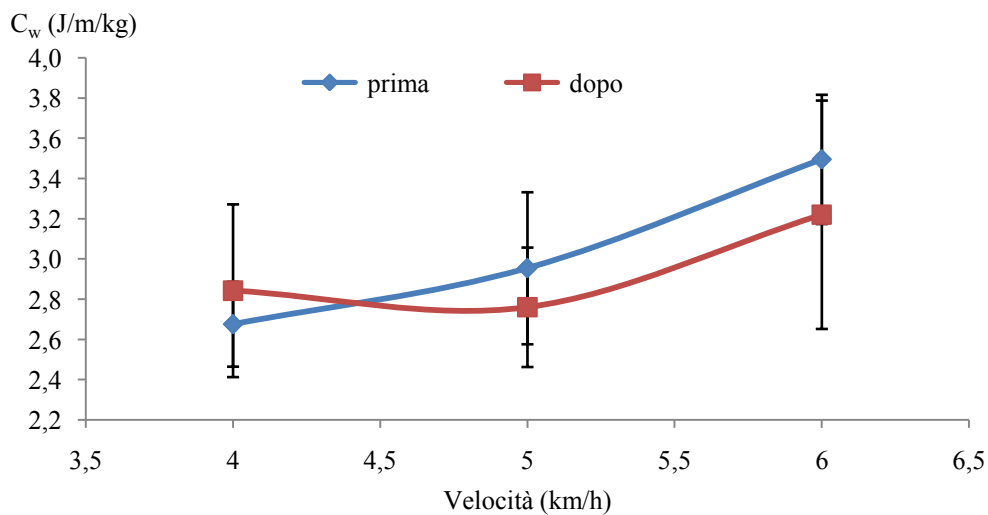


Figura 4

La figura 4 raffigura il C_w (J/m/kg) in piano prima e dopo l'allenamento continuo variato.

Il costo energetico del cammino in piano ed in salita non è significativamente diverso dopo 5 settimane di allenamento sia intermittente che continuo variato (tabella 4).

velocità (km/h)	inclinazione %	Allenamento Intermittente C_w (J/m/kg)		Differenza %	Allenamento Continuo C_w (J/m/kg)		Differenza %
		prima	dopo		prima	dopo	
4	4				$3,98 \pm 0,12$	$3,63 \pm 0,37$	-8,9 %
5	5	$4,44 \pm 0,37$	$4,35 \pm 0,67$	2,0 %	$4,46 \pm 0,31$	$4,11 \pm 0,51$	-7,9 %
6	6				$5,33 \pm 0,14$	$4,80 \pm 0,68$	-3,1 %
5	10	$6,12 \pm 0,64$	$6,09 \pm 0,86$	-0,4 %			
5	15	$7,89 \pm 0,56$	$7,96 \pm 0,79$	0,9 %			

Tabella 4

Nella tabella 4 sono riportati i valori del costo energetico(J/m/kg), del cammino in salita delle femmine, prima e dopo l'allenamento intermittente e continuo variato.

Le differenze, tra prima e dopo, non sono statisticamente significative:

P = n.s.

Il costo energetico in funzione della velocità del cammino in salita, prima e dopo 5 settimane di allenamento intermittente, è rappresentato nella figura 5.

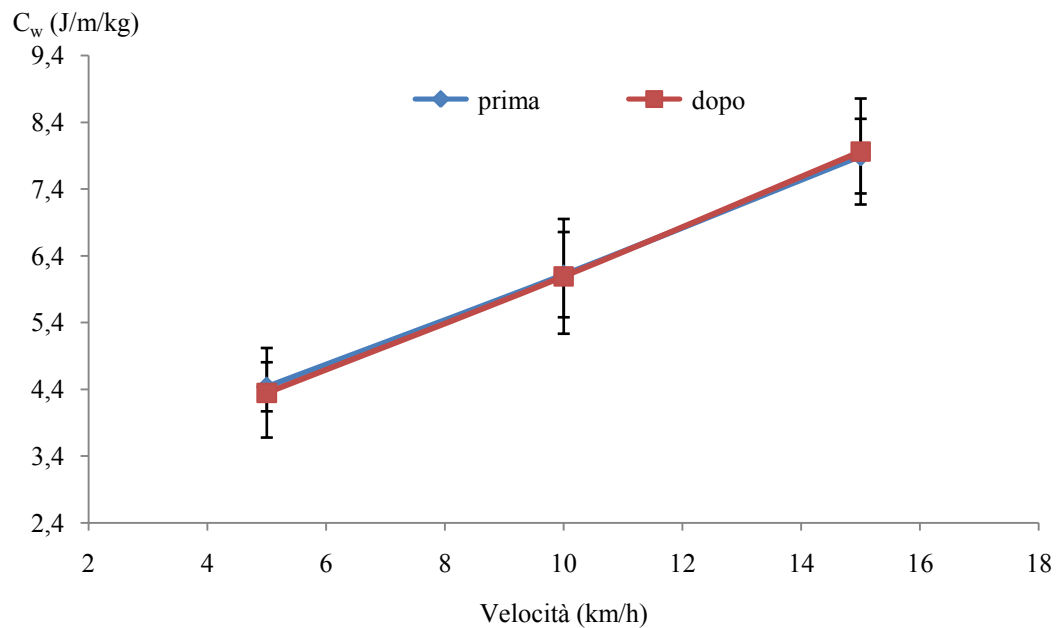


Figura 5

La figura 5 descrive il C_w (J/m/kg), del cammino in salita a 5 km/h ed inclinazione 5-10-15%, prima e dopo l'allenamento intermittente.

Non ci sono differenze tra i valori di costo energetico misurato in salita prima e dopo

l'allenamento intermittente:

P = n.s.

Il costo energetico in funzione della velocità del cammino in salita, e dopo 5 settimane di allenamento continuo variato, è rappresentato nella figura 6.

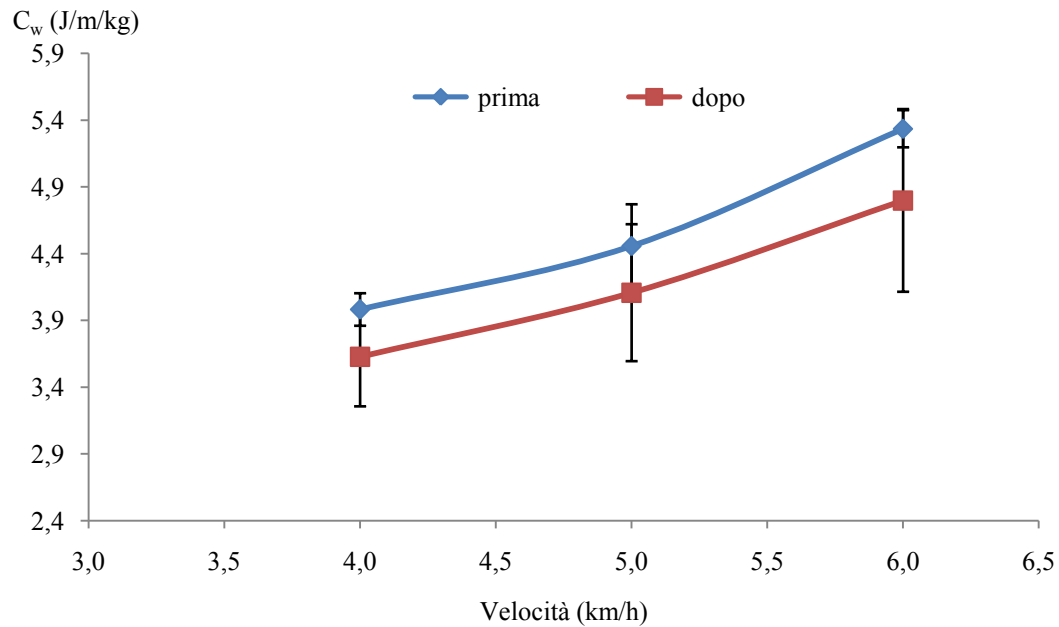


Figura 6

La figura 6 descrive il C_w (J/m/kg), del cammino in salita a 4 km/h 4%, 5 km/h 5%, 6 km/h 6%, prima e dopo l'allenamento continuo.

Le differenze tra i valori del costo energetico in salita, prima e dopo l'allenamento continuo variato, non sono significative:

P = n.s.

Il $\dot{V}O_2^{\text{peak}}$ misurato prima e dopo è l'allenamento intermittente è risultato rispettivamente di $37,43 \pm 6,76$ e di $39,32 \pm 7,02$ ml/min/kg ; invece prima dell'allenamento continuo variato è stato di $33,33 \pm 5,67$ ml/min/kg e di $34,90 \pm 4,95$ ml/min/kg dopo l'allenamento (figura 7).

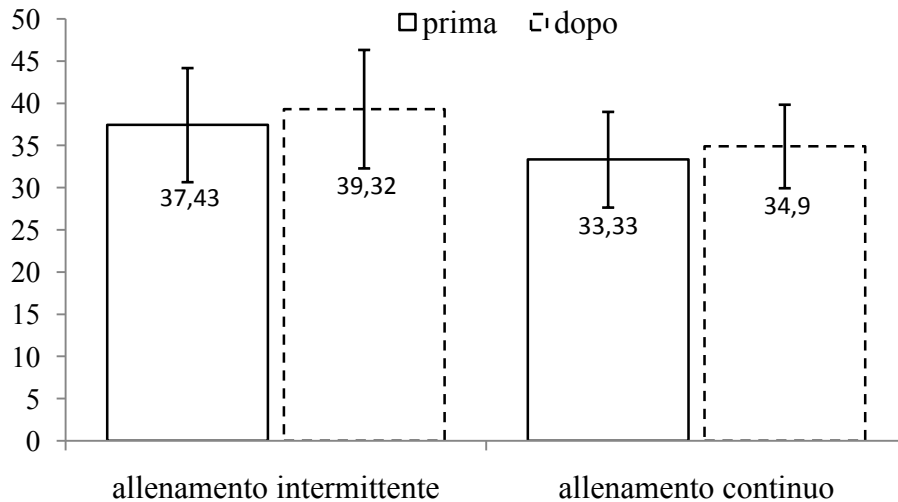


Figura 7

La figura 7 mostra il picco del consumo di ossigeno misurato prima e dopo l'allenamento intermittente e continuo.

Il $\dot{V}O_2^{\text{peak}}$ dopo 5 settimane di allenamento intermittente è aumentato del 5,05% ($P = n.s.$); invece dopo l'allenamento continuo è aumentato del 4,70% ($P = n.s.$).

Conclusioni

Il costo energetico del cammino sia in piano che in salita è minore nelle femmine rispetto ai maschi del 16,02%, 9,59%, 7,37% rispettivamente a 4, 5, 6, km/h in piano e del 14,50%, 16,30%, 13,89% al 5, 10, 15% d'inclinazione.

Quindi le femmine a parità di velocità ed inclinazione hanno una locomozione più economica dei maschi. Pochi lavori in letteratura hanno analizzato il costo energetico di maschi e femmine, e di questi non risultano studi che hanno evidenziato le differenza tra i sessi (di Prampero, 1986, 2002).

Il $\dot{V}O_2^{\text{peak}}$ è aumentato del 4,70% dopo l'allenamento continuo variato e del 5,05% dopo l'allenamento intermittente, ma in entrambi i casi in maniera non significativa.

Il costo energetico del cammino in piano a 3, 5 e 7 km/h dopo l'allenamento intermittente è aumentato del 19%, 11% e 6,9% ed in maniera significativa nelle prime due; invece dopo l'allenamento continuo variato, il costo energetico del cammino in piano a 4 km/h è aumentato del 6,2% ed è diminuito del 6,6% e 7,9% a 5 e 6 km/h ma non in maniera significativa.

Dopo le 5 settimane di allenamento in salita le variazioni del costo energetico in salita sono state:
+6,2% a 5 km/h 5% ; - 6,6% a 5 km/h 10% ; - 7,9% a 5 km/h 15% dopo l'allenamento l'intermittente;

+2,0% a 4 km/h 4% ; - 0,4% a 5 km/h 5% ; + 0,9% a 6 km/h 6% ; però tutte le variazioni non sono significative rispetto ai valori iniziali.

Da questo si evince che 5 settimane di allenamento, di cammino in salita, indipendentemente dalla metodica utilizzata, non hanno modificato i valori iniziali del costo energetico del cammino, sia in piano che in salita.

Studio VII

Energetica della prestazione migliore di kayakers e canoisti d'elite

Questo studio dopo il riassunto in italiano sarà presentato, in lingua inglese, così come è stato sottoposto alla rivista *Medicine and Science in Sports and Exercise*.

RIASSUNTO

Gli obiettivi di questo studio sono stati:

- 1) validare un nuovo test per determinare il massimo consumo di ossigeno ($\dot{V}O_2^{\max}$) nei kayakers;
- 2) calcolare il costo energetico di kayakers e canoisti (canoa canadese) a velocità sub massimale e di gara;
- 3) correlare la prestazione migliore realizzata in gara con quella calcolata teoricamente.

Quest'ultima è stata ottenuta dalla relazione individuale tra $\dot{E}_r = f(t)$ ed $\dot{E}^{\max} = f(t)$, dove \dot{E}_r è la potenza metabolica richiesta per coprire la distanza in questione ed \dot{E}^{\max} è la massima potenza metabolica. Il tempo ottenuto da $\dot{E}_r = \dot{E}^{\max}$ è stato assunto come il tempo della migliore prestazione realizzata.

A questo studio hanno partecipato settantaquattro, maschi e femmine, atleti della nazionale italiana canoa e kayak. È stato utilizzato un metabolometro portatile per la determinazione del $\dot{V}O_2^{\max}$ durante un esercizio incrementale svolto in barca. Il Picco dell'ossigeno consumato $\dot{V}O_2^{\text{peak}}$ è stato misurato durante una prova di 2 minuti al 100% della velocità di gara su 1000 metri.

Il costo energetico individuale C_k è stato valutato in tre prove di 6, 5 e 2 minuti ad una velocità media dell' 84, 90 e 100% della velocità di gara su 1000m.

I valori del $\dot{V}O_2^{\max}$ determinato, durante il test incrementale, non sono significativamente differenti da quelli ottenuti nella prova di 2 minuti (4613 ± 619 vs 4582 ± 598 ml \cdot min⁻¹, $P = \text{n.s.}$). Il C_k (J \cdot m⁻¹ \cdot kg⁻¹) dei kayakers maschi aumenta da circa 4 (a 3.23 m \cdot s⁻¹) a circa 6 (a 4.63 m \cdot s⁻¹) ed è stato di circa il 30.7% più basso di quello dei canoisti maschi ($P < 0.001$). Sempre allo stesso range di velocità, i kayakers maschi sono stati di circa il 14.2% più economici delle femmine ($P = 0.044$). I tempi e le velocità teoriche individuali della prestazione migliore sono stati essenzialmente uguali a quelli misurati nelle recenti competizioni.

Energetics of best performances in elite kayakers and canoeists

ABSTRACT

Objectives of this study were: 1) to validate a new test to determine maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2\max}$) in kayakers, 2) to calculate the energy cost (C_k) of high level kayakers and canoeists at sub-maximal and race speeds, and 3) to correlate individual best performances achieved in practice with those theoretically calculated. These were obtained from the individual relationships $\dot{E}_r=f(t)$ and $\dot{E}_{\max}=f(t)$, where \dot{E}_r is the metabolic power required to cover the distance in question and \dot{E}_{\max} the maximal metabolic power. The time yielding $\dot{E}_r=\dot{E}_{\max}$ was assumed to yield the best performance time.

Seventy-four male and female athletes from the Italian national canoe and kayak teams participated in this study. A portable metabolic unit was used to determine $\dot{V}O_{2\max}$ during an incremental exercise test on the boat. Peak oxygen uptake ($\dot{V}O_{2\text{peak}}$) was also measured in a 2 minutes test at 100% race speed over 1000m. Individual C_k s were evaluated in tests of 6, 5 and 2 minutes at average speeds of 84, 90 and 100% of the 1000m race speed. $\dot{V}O_{2\max}$ values determined during the incremental or the 2 minutes test was not significantly different (4613 ± 619 vs 4582 ± 598 ml·min⁻¹, P=ns). C_k (J·kg⁻¹·kg⁻¹) of male kayakers increased from about 4 (at 3.23 m·s⁻¹) to about 6 (at 4.63 m·s⁻¹) and was about 30.7% smaller than that of male canoeists (P<0.001). Over the same speed range, male kayakers were about 14.2% more economical than females (P=0.044). Individual theoretical best times and speeds were essentially equal to those measured during actual competitions.

INTRODUCTION

The energetics of several forms of human locomotion can be appropriately described, provided that the corresponding energy cost as a function of the speed is known, the energy cost (C) being defined as the metabolic energy required to cover one unit of distance (di Prampero 1986). The factors affecting C in several forms of human locomotion in water are fairly well known have been described (e.g. for a review see Pendergast et al. 2003). Indeed, this type of studies has been performed in different aquatic sports, such as slalom kayak (Pendergast et al. 1989), standard K1 Olympic kayak (Tesch et al. 1976; Zamparo et al. 1999) and rowing racing shells with coxswain (di Prampero et al. 1971; Celentano et al. 1974; Secher 1993), or to types of aquatic locomotion that have more practical goals or are devoted to leisure time activities, such as a recumbent pedal driven watercraft for day-touring in protected waters (Zamparo et al. 2008), the Venetian gondola, as well as a traditional flat hull boat (Bissa) (Capelli et al. 1990; Capelli et al. 2009), or swimming with fins (Zamparo et al. 2002).

However, to the authors' knowledge, only a few studies have been devoted to the analysis of the energy cost of kayaking and canoeing. Furthermore, the approach for predicting best performances developed di Prampero et al. (1993) for middle distance running, in water locomotion has been applied to swimming only (Capelli 1999). This approach is described below in some detail (see section "Theory and calculations"). Suffice it here to say that it is based on the line of reasoning that follow. The metabolic power (\dot{E}) required to proceed at any given velocity (v) is set by the product of C and v :

$$\dot{E} = C \cdot v \quad (1)$$

Therefore, the metabolic power requirement to cover any given distance (\dot{E}_d) can be calculated as a function of the performance time, for any given subject, provided that his/her relationship between C and $v (=d \cdot t^{-1})$ is known:

$$\dot{E}_d = f(t) \quad (2)$$

Moreover, if the relationship between the maximal metabolic (\dot{E}_{max} , aerobic + anaerobic) power of this same subject is also known, as a function of the performance time:

$$\dot{E}_{max} = f(t) \quad (3)$$

It becomes immediately apparent that the time for which $\dot{E}_d = \dot{E}_{max}$ is the best performance time over the distance at stake, for the subject in question.

Thus, the objectives of the present study were : 1) to develop and validate a new test to determine $V'O_2max$ in kayakers, 2) to calculate the energy cost (C_k) of high level kayakers and canoeists at sub-maximal and race speeds, and 3) to correlate individual records speeds achieved in practice with the theoretically calculated ones, as from the above mention approach (di Prampero et al. 1993).

RESEARCH DESIGN AND METHODS

Subjects

This study has been performed on seventy-four subjects, forty-six male kayakers (K1M), twenty-three females kayakers (K1F) and five male canoeists (C1) from the Italian national canoe and kayak teams. Most of them had taken part in European and World Championships (boys or junior

categories), and a few of them also in the under 23 category. The anthropometric and physiological characteristics of subjects are shown in Table 1.

The experimental protocol was approved by the Ethics Committee of the University of Rome “Tor Vergata”, Italy. The purpose and objectives of the study were carefully explained to each subject and to his or her parents. Written informed consent was obtained from all adults, adolescents and their parents. The tests were conducted in the course of four years of national meetings in the period June through August, in the Sabaudia lake (Latina, Italy), in flat water and in the absence of wind.

The boat utilized for testing was that used daily for training and racing (kayaks: length, 5.20 m; beam, 0.40 m; weight, 12 kg or Canadian canoe: length, 5.20 m; beam, 0.44 m; weight 16 kg).

Anthropometric characteristics

Body mass (BM) was measured to the nearest 0.1 kg with an electronic scale (Selus, Italy) with the subject dressed only in light underwear. Stature was measured to the nearest 0.005 m on a standardised Harpenden stadiometer (Holtain Ltd, UK).

Physical characteristics

Gas exchange, heart rate and blood lactate measurements

Oxygen consumption ($\dot{V}O_2$), CO_2 production ($\dot{V}CO_2$), minute ventilation ($\dot{V}E$) and respiratory exchange ratio (RER) were determined on a breath by breath basis by means of a metabolimeter K4b² (Cosmed, Italy). The metabolic unit was calibrated using a 3-L syringe and a gas (of known composition 16.00% O_2 ; 4.00% CO_2), respectively. During the tests, the metabolimeter was wrapped in a waterproof film and was placed in the knapsack on the shoulders of the subject. Before the start of the study, subjects were familiarised with the equipment and the procedures. The data were recorded by the Central Unit located in the knapsack and sent telemetrically to a personal computer located on a boat which followed the kayakers and canoeists during tests. $\dot{V}O_2$ data were

averaged over 15s to measure the $\dot{V}O_2$ max and over 1 minute to calculate the energy cost.

Heart rate (HR) was recorded every 5s with a heart rate monitor (S610 Polar Electro, Finland).

The speed was measured and recorded using a GPS (Garmin Forerunner 301, USA) positioned on the boat, so that the subject could monitor and maintain the required speed.

Blood lactate concentration (La_b), was determined by means of a portable lactate analyzer (Lactate pro LT 1710, Arkray, Japan), on a blood sample obtained from the ear lobe at the end of the submaximal tests (84 ± 3 and 90 ± 3 % of the race speeds) and at 3th minute of recovery after the maximal test (100% of the race speed).

Maximum oxygen consumption and energy costs of paddling were determined in different days, at least two days after the last training bout and two hours after the last meal.

Maximal oxygen uptake

Maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_2$ max) during kayaking and canoeing was determined in 20 subject (11 K1M, 4 K1F and 5 C: mean age 22.8 ± 6.3 y, stature 1.79 ± 0.065 m and BM 78.0 ± 6.4 kg) during an incremental exercise test on the boat used daily for training and racing. Each test was undertaken in the morning (between 0900 and 1200 a.m.), and comprised a 3 min rest period followed by 10 min graded exercise warm-up, wherein the speed was increased by $0.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ every 2 min from $1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ to $1.9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. The velocity was then increased by $0.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ every 400 m until exhaustion. During the test, HR, ventilatory and gas exchange responses were measured continuously. Selected criteria for assessing the attainment of the $\dot{V}O_2$ max were: RER equal or above 1.1, and/or La_b above 10 mM, and/or HR close to the maximal HR computed on the basis of the subject's age ($HR_{max} = 220 - \text{age}$).

Peak oxygen uptake

Peak oxygen uptake ($\dot{V}'O_{2\text{peak}}$) was measured in a 2 minutes test at 100% race speed over a distance of 1000m, during which HR, ventilatory and gas exchange responses were measured continuously. The $\dot{V}'O_2$ averaged over the last 30 seconds was assumed to yield $\dot{V}'O_{2\text{peak}}$.

Energy cost of paddling

For all subject, the energy cost (C_k) was evaluated during three tests of 6, 5 and 2 minutes at an average speed corresponding to 84 ± 3 , 90 ± 3 and 100% of the 1000m race speed. C_k was calculated from the ratio of the total metabolic energy expenditure above resting (E , in J) to the distance (d , in m).

In turn, E was calculated from the sum of the three components of the overall energy expenditure: aerobic (Aer), anaerobic alactic (AnAl) and anaerobic lactic (AnLa), as follows.

Aer was obtained from the integral from $t = 0$ (exercise onset) to the end of the test of the net $\dot{V}'O_2$ values (averaged over 60 seconds), as obtained subtracting the pre-exercise resting $\dot{V}'O_2$ (assumed equal to $3.5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) from the measured values.

The anaerobic alactic (AnAl) energy expenditure was obtained from the $\dot{V}'O_2$ kinetics determined over the first six minutes of recovers. The net $\dot{V}'O_2$ values obtained from minute 4 to 6 of recovery were linearly interpolated. Back extrapolation, to recovery time zero, of the so obtained function allowed us to estimate by subtraction, the fast component the alactic O_2 debt payment (Fig. 1), the integral of which yielded AnAl (di Prampero et al. 1993).

The lactic contribution to the overall energy expenditure (AnLa) was estimated from the net La accumulation after exercise, above resting (assumed = 1 mM), based on an energy equivalent of La accumulation in blood of $3 \text{ mlO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{mM}^{-1}$ (Margaria et al. 1963; di Prampero 1981; di Prampero and Ferretti 1999). The overall energy expenditure E (Aer + AnAl + AnLa) was them

divided by the distance covered and expressed in $J \cdot m^{-1}$, on the assumption the 1 mlO₂ in the human body yields 20.9 J (which is strictly true only if the respiratory quotient is equal to 0.96).

Theory and calculations

Theoretical best performances were obtained as proposed by di Prampero et al. (1993) for middle distance running. These authors have shown that, once the energy cost as a function of the speed is known, the metabolic power required (\dot{E}_r) to cover any given distance (d) in the time (t), and hence of the speed $v (= d \cdot t^{-1})$, can be easily obtained:

$$\dot{E}_r = C_k \cdot d \cdot t_p^{-1} = C_k \cdot v \quad (4)$$

In this specific instance, C_k is the energy cost of kayakers and canoeists ($J \cdot m^{-1} \cdot kg^{-1}$), at the speed v , d (m) is the distance of race (1000m) and t_p is the corresponding performance time. For all subjects the energy cost was calculated over 1000m distance for different times ($t_p=210, 220, 230, 240, 250, 260$ and 270 seconds), and consequently for different speeds ($3.70, 3.85, 4.00, 4.17, 4.35, 4.55$ and $4.76 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) allowing us to obtain the individual power requirement over the selected distance, as a function of the performance time (t_p). This is reported in Fig.1 for a typical subject. As originally shown by Scherer and Monod (1960) for exercise with small muscle groups and subsequently by Wilkie (1980) during cycloergometric exercise, the maximal mechanical or metabolic power that can be sustained at a constant level until exhaustion is a decreasing function of the exhaustion time (t_e) (di Prampero et al. 1993):

$$\dot{E}_{\max} = AnS \cdot t_e^{-1} + MAP - [MAP \cdot \tau (1 - e^{-te/\tau})] \cdot t_e^{-1}$$

where AnS is amount of energy that can be derived from complete utilization of the anaerobic

(alactic + lactic) stores; MAP is the subject's maximal aerobic power; t_e is the exhaustion time; and τ is the time constant with which $V'O_{2\max}$ is reached at the onset of exercise.

Specifically, in this study, MAP was the individual average net $V'O_{2\max}$ (as obtained from the two approaches described in the Methods section), expressed in W (1 ml $O_2 = 20.9$ J), AnS was the sum of the individual AnAl value determined after the maximal time trial over the 1000m, and of AnLa (assumed = 15 mM = 940 J·kg⁻¹), and τ was assumed = 10s, as proposed by Wilkie (1980). This allowed us to calculate \dot{E}_{\max} , as a function of the performance time: it is reported in Fig.2 for the same subject whose relationship $\dot{E}_r \cdot t_p^{-1}$ is also indicated .

As suggested by di Prampero et al. (1993), the theoretical best performances over any given distance can be obtained from the time point at which the \dot{E}_r vs t and \dot{E}_{\max} vs t functions, reported in Fig.1, cross. Indeed, this is the time for which $t_p = t_e$, thus shorter times are inherently impossible (\dot{E}_r would be larger than \dot{E}_{\max}) and longer times are characterized by $\dot{E}_{\max} > \dot{E}_r$, thus the subject could, theoretically, have gone faster. For all subjects theoretical best performance times over the 1000m race were obtained from the time at which the two individual functions cross as reported in Fig.2 for one single subject.

Statistical analyses

Statistical analyses were performed using Statistica for Windows (Kernel version 5.5 A, StatSoft, Maisons-Alfort, France) with significance set at $p < 0.05$. All results were expressed as means and standard deviation (SD).

The effects of group (K1M, K1F and C1) on anthropometric and physiological characteristics were tested using ANOVA analysis. When significant differences were found, a Bonferroni post hoc test was used to determine the exact location of the difference.

The statistical analysis for comparing the measured $V'O_{2\max}$ and $V'O_{2\text{peak}}$ values was based as a paired t-test as well as on a Bland and Altman (1986) plot to assess any eventual bias.

The relationships between actual and theoretical best performance times was analyzed by Pearson's correlation coefficients.

RESULTS

Anthropometric and physiological characteristics of subjects

The physiological and anthropometric characteristics of subject are reported in Table 1. The average age was not significantly different between K1M and K1F, whereas it was significantly greater in C1, as compared to K1M and K1F ($P < 0.001$).

The average body mass of K1M was 15.6% larger than that of K1F ($P < 0.001$) and of 1.8% larger than that of C1 (n.s.)

$\dot{V}O_2\text{max}$, as measured during the incremental test was not significantly different than that measured in the 2 minutes test (See Methods section) ($4613 \pm 619 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$ vs $4582 \pm 598 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$, $P = \text{n.s}$). In addition, the Bland Altman plot of the corresponding data did not show any bias in the difference between the two values, as a function of the appropriate average (Fig. 3).

Energy cost

The average values of the energy cost, together with the amount of energy derived from aerobic, anaerobic alactic and lactic sources are reported in Table 2 for all groups of subjects, at the three investigated speeds. The individual values of C_k are reported in Fig. 4 as a function of the speed. Figure 4, as well as Table 2, show that C_k increases with the speed in all subjects, albeit with a relatively large interindividual variability, particularly so for the K1M group.

In addition, at all speeds, the overall C_k was not significantly different between K1M and K1F, but significantly larger in C1. However, when expressed per kg body mass, C_k is smaller in K1M, intermediate in K1F and largest in C1. The differences K1M-K1F, K1M-C1, and K1F-C1 being on

the order of 14.2 (P=0.078), 30.7 (P<0.001) and 14.4% (P=0.044) respectively, independently of the speed.

Best performance times

The individual theoretical times, calculated as described in the section “ Theory and calculations “ (See Fig. 2) are plotted in Fig. 5 as a function of the actual best performance time obtained on the same distance (1000m) in a coeval competition. All data fall close to the identity line and the determination coefficient is about 0.92.

Similar consideration can be drawn from Fig. 6 where the individual theoretical best speeds are plotted as a function of the actual ones, the determination coefficient is being essentially equal to that reported above ($R^2=0.91$).

DISCUSSION

The main results obtained in this study are reported below.

1) $\dot{V}O_2$ max determined during an incremental test is not significantly different than that measured during a 2 minutes test carried out at the speed equal to that maintained during a 1000m race (4613 ± 619 vs 4582 ± 598 ml \cdot min $^{-1}$, $P=ns$, Fig. 3). Therefore, $\dot{V}O_2$ max can be conveniently determined during a 2 minutes test, thus avoiding the somewhat longer procedures necessary for an incremental tests.

2) For speed between 3.23 and 4.63 m \cdot s $^{-1}$, the energy cost per unit of body mass and of distance of male and female kayakers is by 30.7 and 14.4 % smaller than that of male canoeists, respectively ($P < 0.001$). In addition, over the some speed range, male kayakers are by about 14.2 % more economical than their female counterparts ($P=0.044$, Fig.4)

3) The individual theoretical times and speeds calculated as described in the text (See Fig.1), are essentially equal to those measured over the same distance during actual competitions (Figures 5 and 6).

The paragraphs that follows are devoted to a brief discussion of points 2) and 3).

Several authors have shows that the energy cost of kayaking (C_k) increases with the speed elevated at an exponent ranging from 1.64 to 2.26 (Pendergast et al. 1989; Zamparo et al. 1999). In view of the scatter of our data, yielding R^2 values only slightly larger than 0.6, we have decided to stick to a linear interpolation of the relationships between C_k and v , even if, in theory, an exponent >1 for v ought to be a more appropriate choice.

The C_k data obtained by Zamparo et al. (1999) in the same race speed range (from 4 to 4.6 m \cdot s $^{-1}$) are larger than those of the present study both in absolute terms and when referred to kg of body mass, for male and female kayakers as well, the differences ranging from 18.1 to 22.6% (absolute values) or from 18.9 to 25.7% (per kg of body mass). These differences can be attributed to the fact that the present data were obtained on high level athletes, to be compared with medium level

kayakers, in the study of Zamparo et al. (1999). This difference is due to the better technique of high level athletes, a fact that was pointed out by Pendergast et al. (1989). Finally, the energy cost of kayaking in both groups was significantly lower than that of canoeing, a fact that can be attributed to a more economical technique in the former case.

It should also be noted that, whereas in all previous studies C_k was determined from rate of O_2 consumption at steady state, and the speed, the present data were obtained from the overall energy utilised to cover the entire distance. To this aim the energy provided by anaerobic alactic and lactic sources throughout the test was determined, together with the overall O_2 consumed. The assumptions underlying this procedure are: i) the time integral of the fast component of the $V'O_2$ kinetics during the recovery is a correct estimate of the amount of energy derived from anaerobic alactic sources of the onset of exercise; ii) the slow component of the $V'O_2$ kinetics in recovery after the third minute can be appropriately interpolated by a straight line; iii) the energy equivalent of net blood lactate accumulation, as determined after exercise, is $3.0 \text{ mlO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{mM}^{-1}$. These assumptions have been discussed in detail in previous papers, together with the potential errors introduced into the calculations because of the underlying (di Prampero 1981; di Prampero and Ferretti 1999). As such they will not be discussed in detail here; suffice it to say that these assumptions are unlikely to introduce any systematic errors in the estimates of C_k , as well as of \dot{E}_{\max} (see below), even if they may indeed lead to an decreased signal to noise ratio.

The last point that will be discussed here is the remarkably good correlation observed between theoretical and actual times, or speeds. Indeed, besides being characterised by high determination coefficients ($R^2 = 0.92$ and 0.91) these regressions are very close to the identity line (see Figures 5 and 6). Theoretical times and speeds were estimated from the relationship between metabolic power requirement as a function of time over a given distance ($\dot{E}_r = f(t)$) on the one side, and maximal metabolic power as a function of performance time ($\dot{E}_{\max} = f(t)$), on the other. The time for which $\dot{E}_r = \dot{E}_{\max}$ was assumed to yield the individual best performance time over the distance in question.

This approach was previously successfully applied to other forms of locomotion (di Prampero et al. 1993; Capelli et al. 1998; Capelli 1999). This study shows that this same approach can be utilised for predicting with great accuracy also best performances in kayaking and canoeing. It should also be pointed out that a similar approach has been applied to world record in running by (Péronnet and Thidault 1989).

The assumptions on which this approach is based were discussed in detail in the above mentioned papers. Suffice it here to stress again the most relevant thereof:

i) the time constant with which $\dot{V}'O_2$ max is obtained at work onset was here set at 10s, consistently with the original proposal by Wilkie (1980). This value may seem rather short in view of the fact that the time constant of the $\dot{V}'O_2$ on response is on the order of 25s. However, at the onset of supramaximal exercise, as is the case in the present study, $\dot{V}'O_2$ tends to the energy requirement of the exercise (which is substantially larger than $\dot{V}'O_2$ max) with a time constant close to that observed during submaximal aerobic exercise, the rise of $\dot{V}'O_2$ being interrupted once $\dot{V}'O_2$ max is reached. Therefore, $\dot{V}'O_2$ max is reached in a time substantially shorter than at the onset of submaximal exercise. Thus, for all practical purposes, this state of affairs can be approximated by imposing a shorter time constant to the $\dot{V}'O_2$ on response.

ii) The theoretical best time, as identified by the crossing of the two functions $\dot{E}_r = f(t)$ and $\dot{E}_{max} = f(t)$ is the energetic bottleneck setting best performances. Many other additional factors which were not investigated here, such as drive, motivation, etc. may interfere with the purely energetic ones to set whether a given subject in a given instance is indeed able to attain the limit.

iii) Even if the uncertainty inherent in this approach (e.g. see Fig. 5) is such that actual time trials cannot, and should not, be replaced by “black board” energetics, the above analysis allows the investigators to assess the improvement of the best times brought about by a given change of $\dot{V}'O_2$ max, and/or AnS, and/or C_k . Thus athletes and trainer should attempt to improve the variable

which, in the specific instance, is the one likely to bring about the greater improvement in performance, for a given percentage change of the variable in question.

Conclusions

1) $\dot{V}O_2\text{max}$ can be assessed without the need to utilise an incremental test. Indeed we have shown that a two minutes test at the competition speed (over 1000m) allowed us to determine at one and the same time $\dot{V}O_2\text{max}$ and the energy cost of locomotion of that speed.

2) C_k at a given speed was not significantly different in absolute terms (+3.1%), but significantly lower when expressed per kg body mass (-14.2%), in man as compared to female kayaker. In turn C_k of male canoeists was 30.7% significantly higher than that observed in male kayakers. These differences highlight the fact that kayaking is intrinsically more economical than canoeing, as well as the different technical characteristics of male and female kayakers.

3) Knowledge of C_k , together with $\dot{V}O_2\text{max}$ and the anaerobic store capacity, allowed us to estimate individual best performance times and speeds, as originally proposed by di Prampero et al. (1993) for middle distance running. Theoretical best times and speeds were essentially equal to the corresponding actual values, as determined during coeval competition over the same distance.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are grateful to the athletes for their kind collaboration. The study was supported by Italian Canoe and Kayak Federation and of the Human Performance Training and Lab “ Carmelo Bosco”,
University Tor Vergata, Rome, Italy.

REFERENCES

- Bland JM and Altman DG (1986) Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1(8476): 307-10.
- Capelli C (1999) Physiological determinants of best performances in human locomotion. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 80(4): 298-307.
- Capelli C, Donatelli C, Moia C, Valier C, Rosa G and di Prampero PE (1990) Energy cost and efficiency of sculling a Venetian gondola. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 60(3): 175-8.
- Capelli C, Schena F, Zamparo P, Monte AD, Faina M and di Prampero PE (1998) Energetics of best performances in track cycling. *Med Sci Sports Exerc.* 30(4): 614-24.
- Capelli C, Tarperi C, Schena F and Cevese A (2009) Energy cost and efficiency of Venetian rowing on a traditional, flat hull boat (Bissa). *Eur J Appl Physiol.* 105(4): 653-61. Epub 2008 Dec 3.
- Celentano F, Cortili G, Di Prampero PE and Cerretelli P (1974) Mechanical aspects of rowing. *J Appl Physiol.* 36(6): 642-7.
- di Prampero PE (1981) Energetics of muscular exercise. *Rev Physiol Biochem Pharmacol.* 89: 143-222.
- di Prampero PE (1986) The energy cost of human locomotion on land and in water. *Int J Sports Med.* 7(2): 55-72.
- di Prampero PE, Capelli C, Pagliaro P, Antonutto G, Girardis M, Zamparo P and Soule RG (1993) Energetics of best performances in middle-distance running. *J Appl Physiol.* 74(5): 2318-24.
- di Prampero PE, Cortili G, Celentano F and Cerretelli P (1971) Physiological aspects of rowing. *J Appl Physiol.* 31(6): 853-7.
- di Prampero PE and Ferretti G (1999) The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. *Respir Physiol.* 118(2-3): 103-15.

- di Prampero PE, Peeters L and Margaria R (1973) Alactic O₂ debt and lactic acid production after exhausting exercise in man. *J Appl Physiol.* 34(5): 628-32.
- Margaria R, Cerretelli P, di Prampero P E, Massari C, Torelli G (1963) Kinetics and mechanism of oxygen debt contraction in man. *J Appl Physiol.* 18: 371-7.
- Pendergast D, Zamparo P, di Prampero PE, Capelli C, Cerretelli P, Termin A, Craig A, Jr., Bushnell D, Paschke D and Mollendorf J (2003) Energy balance of human locomotion in water. *Eur J Appl Physiol.* 90(3-4): 377-86. Epub 2003 Sep 2.
- Pendergast DR, Bushnell D, Wilson DW and Cerretelli P (1989) Energetics of kayaking. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 59(5): 342-50.
- Peronnet F and Thibault G (1989) Mathematical analysis of running performance and world running records. *J Appl Physiol.* 67(1): 453-65.
- Scherrer J, Monod H (1960) Le travail musculaire local et la fatigue chez l'homme. *J Physiol (Paris)* 52:419–501
- Secher NH (1993) Physiological and biomechanical aspects of rowing. Implications for training. *Sports Med.* 15(1): 24-42.
- Tesch P, Piehl K, Wilson G and Karlsson J (1976) Physiological investigations of Swedish elite canoe competitors. *Med Sci Sports.* 8(4): 214-8.
- Wilkie DR (1980). Equations describing power input by humans as a function of duration of exercise. *Exercise Bioenergetics and Gas Exchange.* P. Cerretelli and B. J. Whipp. Amsterdam, Elsevier: 75 - 80.
- Zamparo P, Capelli C and Guerrini G (1999) Energetics of kayaking at submaximal and maximal speeds. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 80(6): 542-8.
- Zamparo P, Carignani G, Plaino L, Sgalmuzzo B and Capelli C (2008) Energy balance of locomotion with pedal-driven watercraft. *J Sports Sci.* 26(1): 75-81.

Zamparo P, Pendergast DR, Termin B and Minetti AE (2002) How fins affect the economy and efficiency of human swimming. *J Exp Biol.* 205(Pt 17): 2665-76.

TABLE 1. Anthropometric and physiological characteristics of subjects.

Subjects	K1M	K1F	C1
	(n: 46)	(n: 23)	(n:5)
Age (years)	17.9 ± 2.7 [¶]	17.8 ± 2.5 [‡]	22.4 ± 5.5
BM (kg)	78.2 ± 6.1*	66.0 ± 6.6 [‡]	76.8 ± 3.5
Stature (m)	1.81 ± 0.058*	1.72 ± 0.058	1.77 ± 0.015
BMI (kg·m ⁻²)	23.8 ± 1.8*	22.3 ± 1.4 [‡]	24.6 ± 1.1
V'O ₂ max (ml·min)	4789 ± 354*	3455 ± 305 [‡]	4750 ± 450
V'O ₂ max (ml· kg ⁻¹ · min ⁻¹)	61,40 ± 4,38*	52,57 ± 4,33 [‡]	61,78 ± 3,98

All values are means and ± 1 standard deviation.

K1M : male kayakers; K1F: female kayakers; C1: male canoeists; n : number of subjects; BM: body mass; BMI : body mass index; V'O₂max: maximal oxygen uptake.

* : $P < 0.001$, K1M vs K1F

¶ : $P < 0.001$, K1M vs C1

‡ : $P < 0.001$, K1F vs C1

TABLE 2. The overall energy cost per unit of distance for covering 1000 m (C_k) is reported at the three investigated speeds. C_k per kg body mass is also indicated, together with the corresponding percent O_2 equivalent of the energy derived from alactic, lactic and aerobic sources.

Subjects	Speed ($m \cdot s^{-1}$)	C_k ($J \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}$)	C_k ($mlO_2 \cdot m^{-1}$)	Net blood lactate (mM)	Alactic sources (%)	Lactic sources (%)	Aerobic sources (%)
K1M (n: 46)	3.61±0.10	4.02±0.44	314±42	1.1±0.61	7.89	1.26	90.85
	3.86±0.10	5.09±0.38	397±33	4.1±1.22	10.10	4.41	85.49
	4.36±0.14	6.06±0.43	473±39	7.6±1.38	17.02	26.01	56.97
K1F (n: 23)	3.34±0.06	4.28±0.41	281±31	1.1±0.70	8.34	1.36	90.30
	3.55±0.06	4.80±0.35	316±27	3.4±1.23	9.85	4.13	86.02
	3.89±0.12	5.71±0.42	376±37	6.2±1.25	16.35	29.43	54.23
C1 (n: 5)	3.31±0.07	5.16±0.23	396±25	1.5±1.96	7.89	1.52	90.60
	3.63±0.09	5.75±0.27	442±38	4.7±3.56	9.63	4.72	85.65
	4.00±0.16	6.71±0.44	516±49	7.3±0.48	16.58	25.45	57.97

All values are means \pm 1 standard deviation. K1M : male kayakers; K1F: female kayakers; C1: male canoeists; n : number of subjects; C_k : energy cost per unit of distance.

Figure 1: Metabolic power requirement (\dot{E}_r , $W \cdot kg^{-1}$) to cover 1000m in the time indicated on the abscissa, for one typical male kayaker (thick line). The broken line is the maximal metabolic power of this same subject. The two function cross at the individual theoretical best performance time (see text for details and calculations).

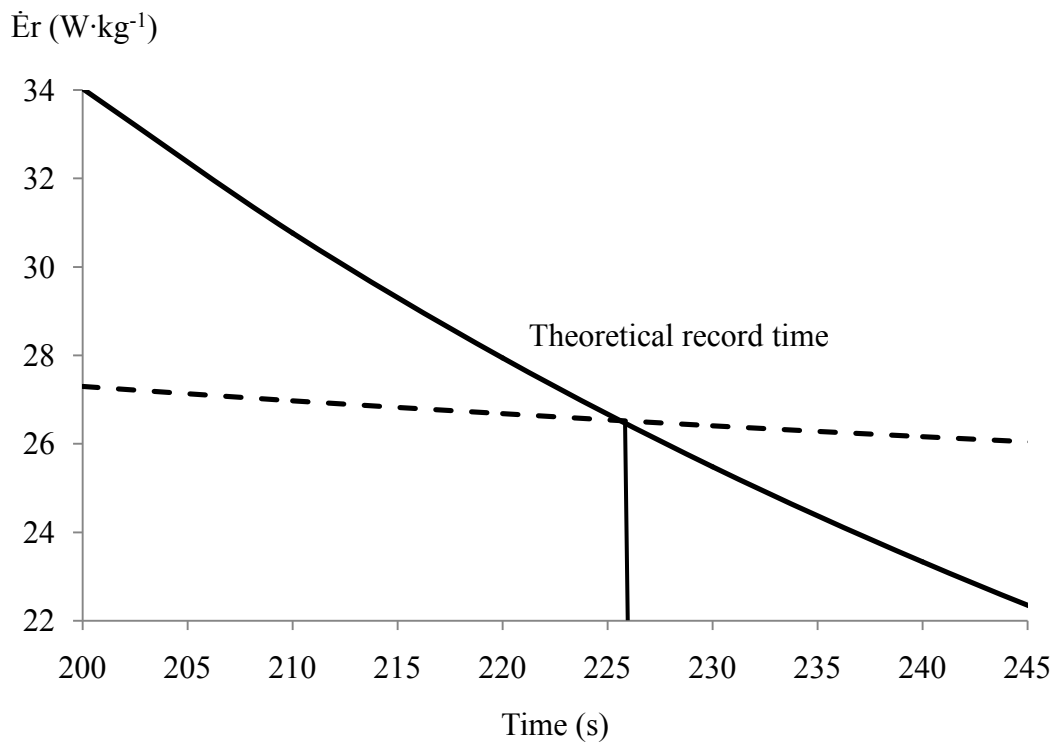
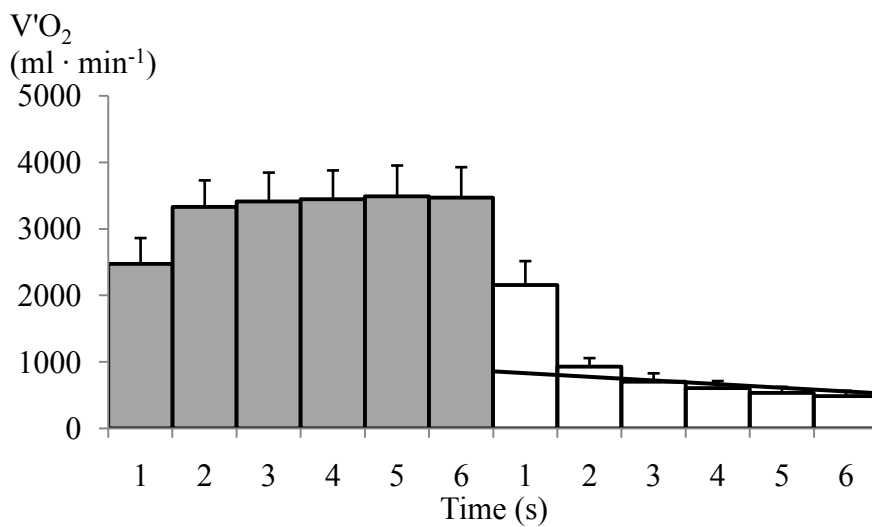
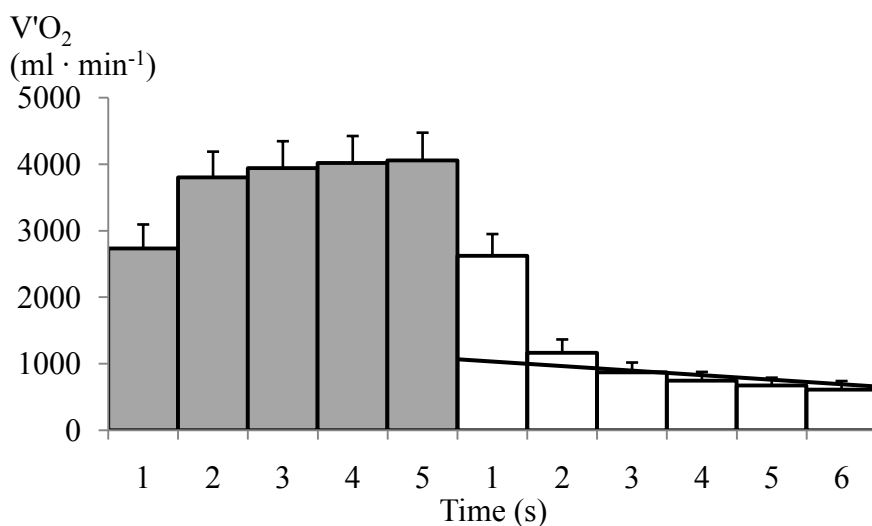


Figure 2: Time course of $\dot{V}O_2$ (average over all subjects, n:74) during the test at the three velocities, corresponding to 83.8, 89.5 and 100% of race speed. The corresponding duration were : 6 (a), 5 (b) and 2 (c) minutes. Points are averages over 1 minutes of single breath values. Straight line shows regression for obtaining the slow component of $\dot{V}O_2$ kinetics after exercise. Area between straight line and actual $\dot{V}O_2$ kinetics yields anaerobic alactic (see text for details). (■: Exercise period; □: Recovery period)

a)



b)



c)

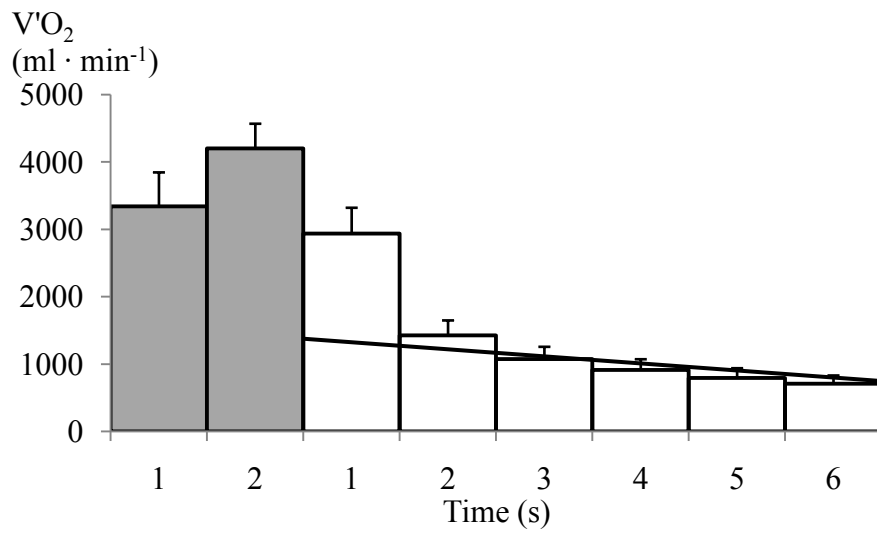


Figure 3: The difference between the $\dot{V}O_2\text{max}$ values determined during the incremental and the 2 minutes tests at 100% of race speed (see Methods section) is plotted as a function of the corresponding average.

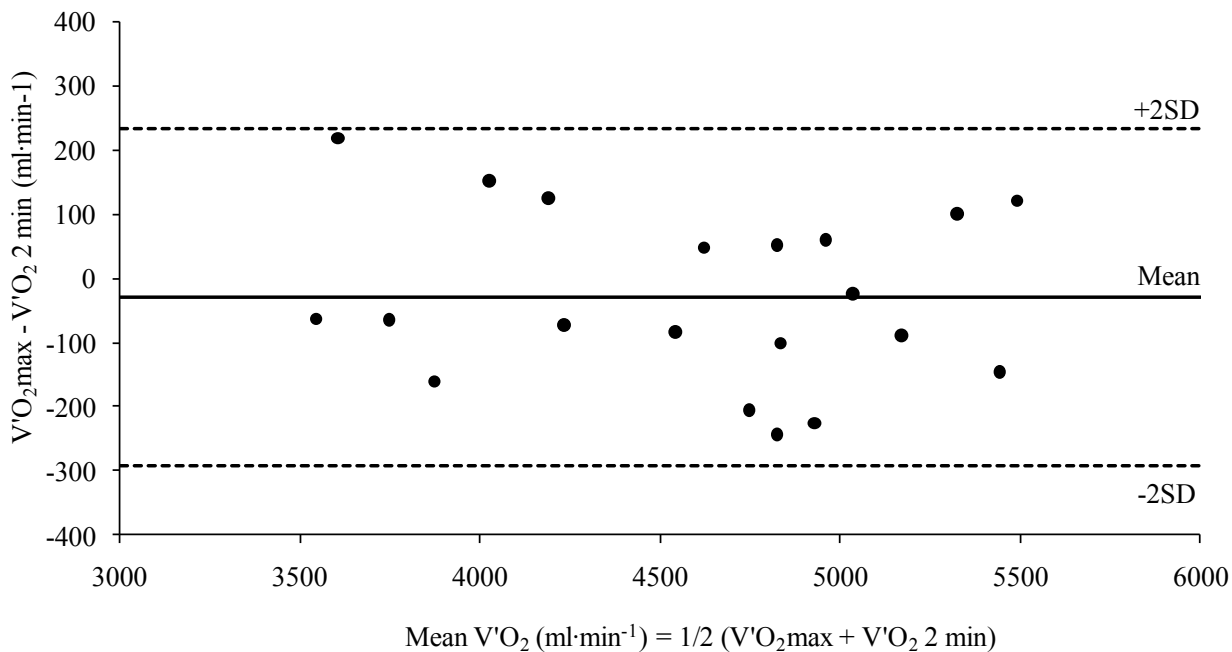
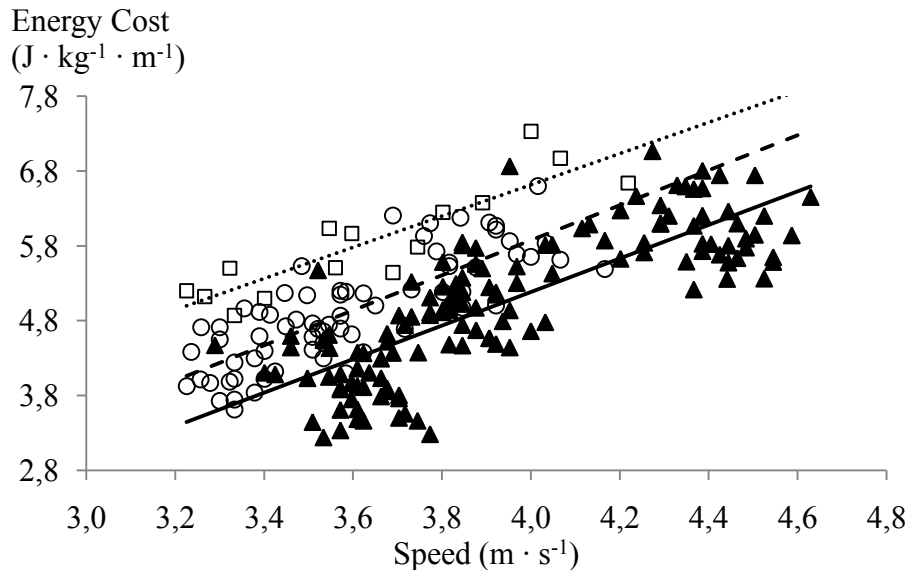
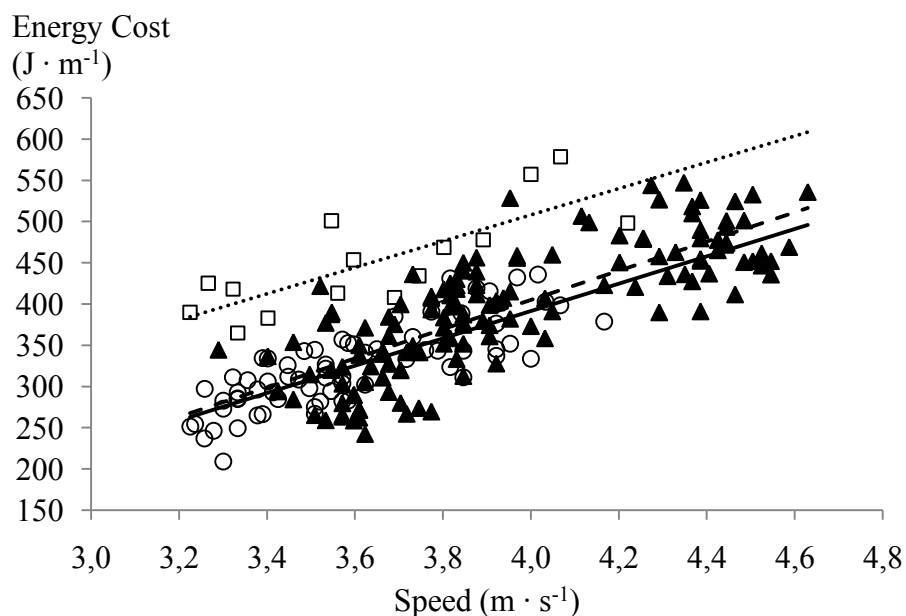


Figure 4: Energy cost (C_k) in $J \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}$ a) and in $J \cdot m^{-1}$ b) is plotted as a function of the speed ($m \cdot s^{-1}$) for the three groups of subjects (\blacktriangle : K1M; \circ : K1 F ; \square : C1).

a)



b)



In figure a) least squares regressions are described by : $y = 2.085x - 1.724$ ($R^2 = 0.778$) (C1, dotted line); $y = 2.339x - 3.479$ ($R^2 = 0.638$) (K1F, broken line); $y = 2.239x - 3.773$ ($R^2 = 0.647$) (K1M, continuous line). In figure b) least squares regressions are described by : $y = 159.2x - 129.0$ ($R^2 = 0.621$) (C1, dotted line); $y = 165.6x - 271.1$ ($R^2 = 0.637$) (K1F, broken line); $y = 177.3x - 304.3$ ($R^2 = 0.618$) (K1M, continuous line).

Figure 5: Theoretical best performance time over 1000m is plotted for all subjects (\blacktriangle : K1M; \circ : K1 F ; \square : C1) as a function of the actual performance time over the same distance is a coeval time trial. Least square linear regression (C_k line) is described by $y = 0.913x + 20.64$ ($R^2 = 0.919$). Identity line is also show (thin line).

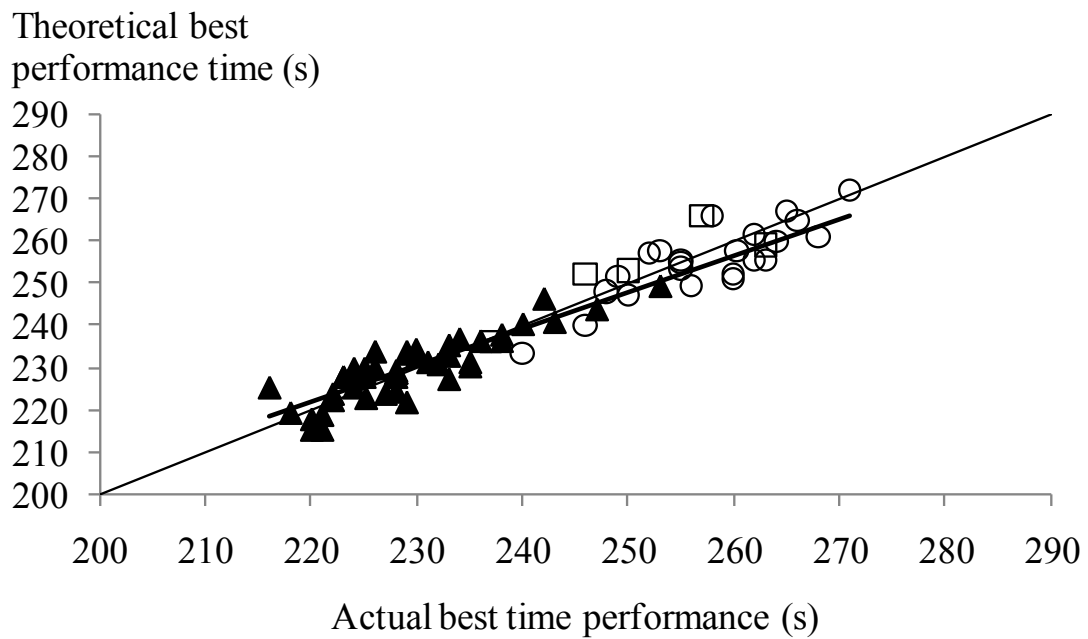
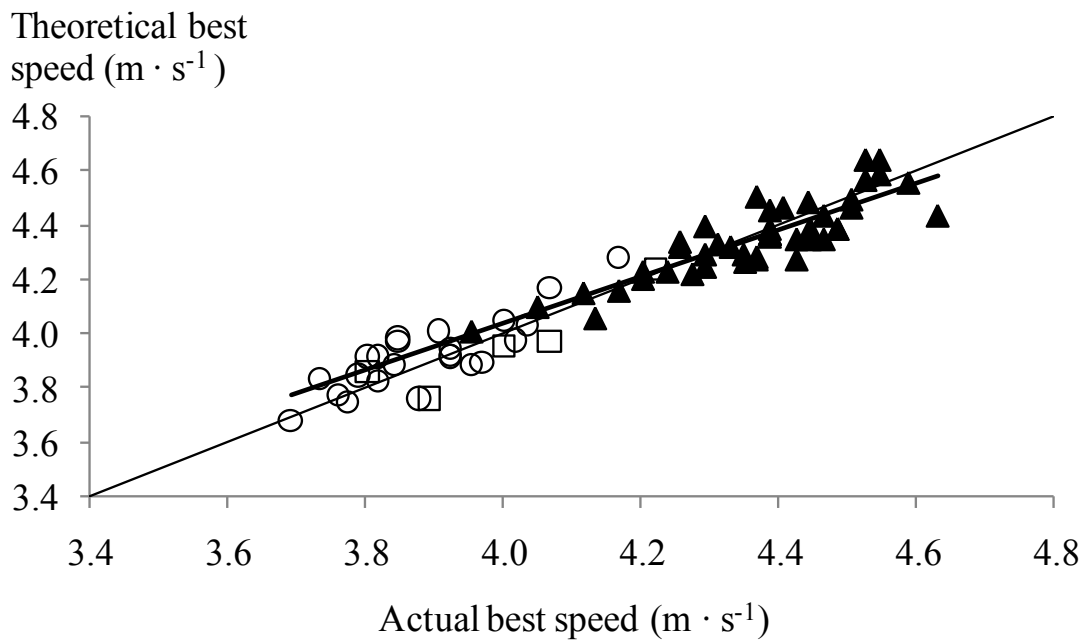


Figure 6: Theoretical best speed, calculation from individual theoretical times over 1000m is plotted as a function of the actual best speed over the same distance a coeval competition (\blacktriangle : K1M; \circ : K1 F ; \square : C1). Least square linear regression (C_k line) is described by $y = 0.914x + 0.355$ ($R^2 = 0.914$), identity line is also shown (thin line).



Discussioni e Conclusioni Generali

La discussione generale sarà focalizzata sugli studi più importanti del dottorato: il costo energetico della corsa intermittente a navetta ed il calcolo teorico della prestazione migliore di kayakers e canoisti d'élite.

Il costo energetico della corsa, in linea, è stato studiato da diversi autori prestigiosi (Margaria 1938; Margaria ed altri 1963; di Prampero, 1985, 1986; di Prampero ed Altri, 1993; Cerretelli 2001; di Prampero 2002; di Prampero e altri 2009). In letteratura, invece, nonostante i test a navetta siano utilizzati da trent'anni, non esistono lavori, a mia conoscenza, che abbiano misurato il costo energetico di questa tipologia di corsa, tranne l'articolo sulla rivista SdS n.72 (Colli, Buglione, Introini, D'Ottavio, 1997), sul quale è stata pubblicata una parte del primo studio.

Nei tre anni di ricerche, il costo energetico della corsa intermittente a navetta è stato misurato su diversi gruppi di soggetti: fisicamente attivi e praticanti attività sportive amatoriali, calciatori professionisti e maratoneti di buon livello. Sono state eseguite 122 misure, del consumo di ossigeno nella corsa intermittente a navetta, su distanze comprese tra 8,5 e 22m, e di queste sono stati considerati 19 punti, ognuno dei quali rappresenta la media di un gruppo di soggetti. Di ogni gruppo di soggetti è stata calcolata l'energia cinetica della corsa, normalizzata per peso corporeo e distanza. Successivamente, è stata costruita la relazione tra il costo energetico e l'energia cinetica della corsa intermittente (C_{isr} J/m/kg) figura 1.

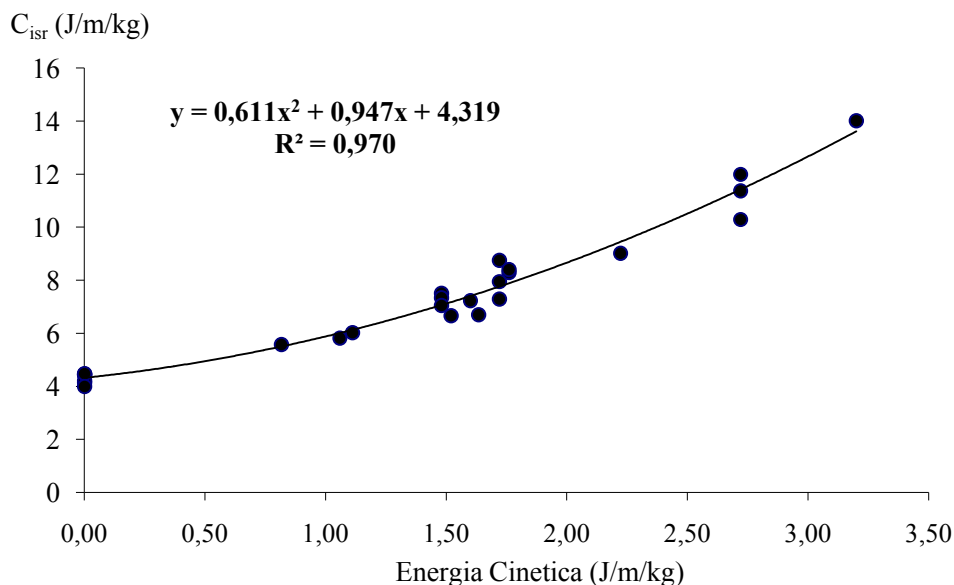


figura 1

La velocità, infatti, non è l'unico determinante del costo energetico della corsa a navetta; quindi determinata l'energia cinetica, le due funzioni diverse, per calcolare il costo energetico della corsa a navetta su 10 e 20m, (Colli ed Altri, 1997), diventano una funzione univoca, che è indipendente da distanza, tempi e pause ed è normalizzata per kilogrammo di peso e distanza percorsa (J/m/kg) figura 1.

Il calcolo dell'energia cinetica ha chiaramente i limiti delle assunzioni fatte: la velocità aumenta e diminuisce in modo triangolare, ed è compresa tra 8,5 e 22 metri, perché se aumenta lo spazio, sicuramente, nel tratto centrale della navetta, troviamo una fase a velocità costante e non un picco; e non è stato tenuto conto del costo della fase di decelerazione, che è diversa da quello di accelerazione.

Sul piano pratico, se utilizziamo l'equazione del costo energetico in funzione dell'energia cinetica (figura 1), possiamo determinare la potenza metabolica della corsa intermittente, ed impostare correttamente l'intensità degli allenamenti.

In kayakers e canoisti d'elite, dopo aver determinato il costo energetico (C_k), è stata calcolata la potenza metabolica richiesta dall'esercizio; di Prampero ed altri (1993) hanno dimostrato che se è conosciuto il costo energetico, in funzione della velocità, la potenza metabolica (\dot{E}_r), per coprire una determinata distanza (d) in un certo tempo (t), e quindi la velocità $v (= d \cdot t^{-1})$, può essere facilmente ottenuta:

$$\dot{E}_r = C_k \cdot d \cdot t_p^{-1} = C_k \cdot v$$

In questo caso, C_k è il costo energetico di kayakers e canoisti ($J \cdot m^{-1} \cdot kg^{-1}$), alla velocità v , ed alla distanza d (m) della gara (1000m) e t_p è il corrispondente tempo della prestazione.

Per tutti i soggetti è stato calcolato il costo energetico sulla distanza di 1000m per differenti tempi di percorrenza (t_p) e conseguentemente differenti velocità (v), permettendo di ottenere la potenza individuale richiesta per la distanza scelta, in funzione del tempo di prestazione (t_p).

Scherrer and Monod (1960), Wilkie (1980), di Prampero e altri (1993), Capelli (1998,1999) hanno dimostrato che la massima potenza meccanica o metabolica, che può essere sostenuta ad un livello costante fino all'esaurimento, decrementa in funzione del tempo di esaurimento (t_e):

$$\dot{E}_{\max} = AnS \cdot t_e^{-1} + MAP - [MAP \cdot \tau (1 - e^{-te/\tau})] \cdot t_e^{-1}$$

dove AnS è l'ammontare di energia che deriva dal completo utilizzo delle riserve anaerobiche (alattacide + lattacide); MAP è la massima potenza aerobica del soggetto; t_e è il tempo di esaurimento; e τ è la costante di tempo con la quale il $\dot{V}O_{2\max}$ è raggiunto dall'inizio dell'esercizio. AnS è stata la somma dei valori individuali di AnAl determinato dopo la prova al tempo massimo su 1000m, e dell' AnLa (assunto a 15 mM = 940 J·kg⁻¹), e τ che è stato assunto a = 10s, come proposto da Wilkie (1980).

Questo ha permesso di calcolare \dot{E}_{\max} , in funzione del tempo di prestazione, che è riportato nella figura 2 e per lo stesso soggetto è stato indicata anche la relazione $\dot{E}_r \cdot t_p^{-1}$.

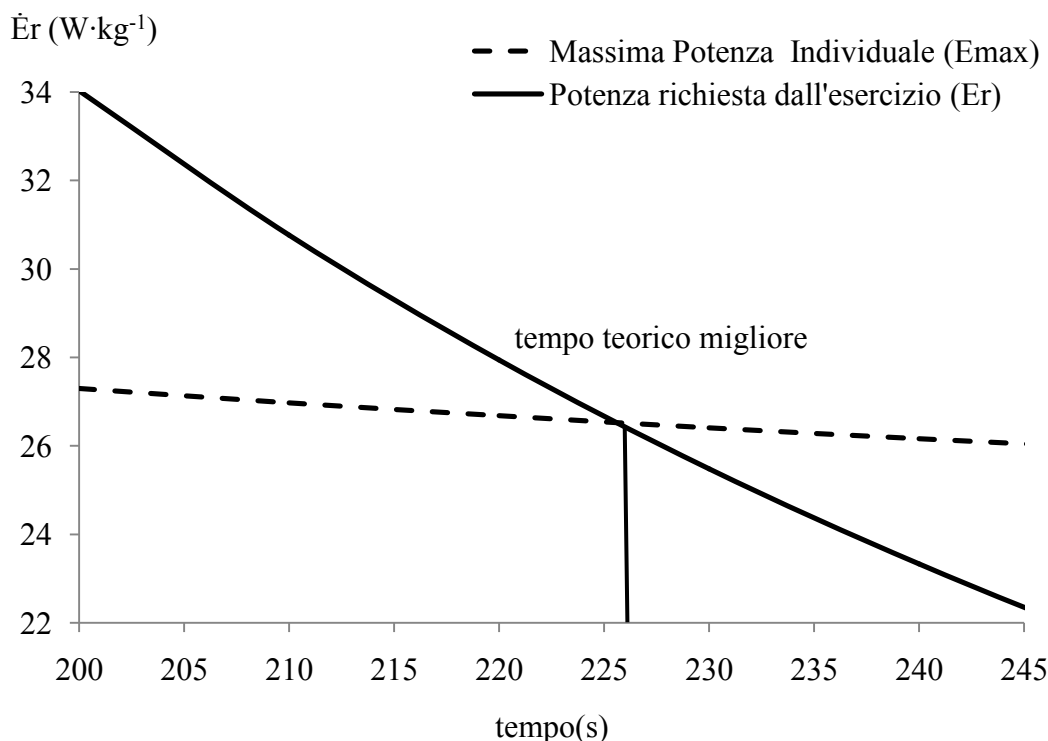


Figura 2

Nella Figura 2 il punto d'incrocio, delle due funzioni, \dot{E}_r e \dot{E}_{\max} , individua il tempo teorico migliore di ogni soggetto.

La prestazione teorica migliore, per una determinata distanza, così come è stata proposta da di Prampero Altri (1993), può essere ottenuta dal punto del tempo in cui le funzioni \dot{E}_r vs t e \dot{E}_{max} vs t , riportate nella figura 2 si incrociano. Infatti, questo è il tempo per il quale $t_p = t_e$, quindi tempi più brevi sono intrinsecamente impossibili (\dot{E}_r sarebbe più grande di \dot{E}_{max}) e tempi più lunghi sono caratterizzati da $\dot{E}_{max} > \dot{E}_r$, quindi il soggetto potrebbe, teoricamente, andare più veloce.

Per tutti i soggetti, i tempi teorici delle prestazioni migliori nella gara sui 1000m sono stati ottenuti quando le due funzioni individuali, \dot{E}_r ed \dot{E}_{max} , si incrociano, come riportato nella figura 2 per ogni singolo soggetto. Tra i tempi teorici e reali, o le velocità è stata osservata un'ottima correlazione. Infatti, oltre ad essere caratterizzati da elevati coefficienti di determinazione ($R^2 = 0,92$ e $0,91$), queste regressioni sono molto vicine alla linea di identità (figure 5 e 6 a pag. 105-106). I tempi e le velocità teorici sono stati stimati dalla relazione tra la potenza metabolica richiesta, in funzione del tempo su una data distanza ($\dot{E}_r = f(t)$) da una parte, e la massima potenza metabolica, in funzione del tempo di prestazione ($\dot{E}_{max} = f(t)$), dall'altra.

La conoscenza del C_k , insieme al $V'O_2^{max}$ ed alla capacità delle fonti anaerobiche, ci ha permesso di stimare i singoli tempi e velocità delle migliori prestazioni, come originariamente proposto da di Prampero ed Altri (1993) per la corsa sulla media distanza, ed successivamente, questa metodologia è stata applicata, con ottimi risultati, da altri autori ad altre forme di locomozione (Capelli et al. 1998; Capelli 1999). Questo studio mostra che lo stesso approccio può essere utilizzato per prevedere con grande precisione anche le migliori prestazioni di kayakers e canoisti. Si deve inoltre rilevare che un simile approccio è stato applicato al record del mondo nella corsa (Peronnet and Thidault 1989).

Il tempo teorico migliore, come individuato dalla intersezione di queste due funzioni $\dot{E}_r = f(t)$ e $\dot{E}_{max} = f(t)$ è il collo di bottiglia energetico nel determinare le prestazioni migliori; e l'analisi fatta, con questa metodica, consente di valutare se il miglioramento dei tempi migliori è causata da un dato cambiamento di $V'O_2^{max}$, e/o AnS, e/o C_k . In questo modo gli allenatore e gli atleti possono migliorare la variabile che, nel caso specifico, permette di ottenere i maggiori miglioramenti in termini di prestazioni, per una determinata variazione percentuale della variabile in questione.

I tempi e le velocità migliori calcolati teoricamente erano essenzialmente uguali ai corrispondenti valori reali, misurati durante la competizione coeva sulla medesima distanza (1000m).

Pochi lavori in letteratura hanno analizzato il costo energetico di maschi e femmine, e di questi non risultano studi che hanno evidenziato le differenza tra i sessi (di Prampero, 1986, 2002);

Ma, nello studio che analizza il costo energetico del cammino, sia in piano che in salita, quest'ultimo è risultato minore nelle femmine rispetto ai maschi del 16,02%, 9,59%, 7,37% rispettivamente a 4, 5, 6, km/h in piano e del 14,50%, 16,30%, 13,89% al 5, 10, 15%

d'inclinazione. Quindi, da questi risultati si deduce, che le femmine , a parità di velocità ed inclinazione, hanno una locomozione più economica dei maschi, normalizzata per peso e distanza percorsa (J/m/kg).

Il costo energetico della corsa in linea dei calciatori è aumentato in maniera significativa dopo alcuni mesi di allenamento e di campionato, in tutte le squadre analizzate, serie C1, primavera e prima squadra serie A (i dati della prima squadra non sono stati riportati). Questo sicuramente è dovuto alla scarsa correlazione tra la corsa in linea ed il modello prestativo dei calciatori; infatti i continui cambi di senso e le tante accelerazioni, che svolgono durante la gare e gli allenamenti (Osgnach ed Altri 2010), evidentemente peggiorano il costo della corsa in linea, ma migliorano la coordinazione specifica tipica della disciplina sportiva svolta (Colli ed Altri 2009).

Lo yo-yo endurance test , dai risultati ottenuti, su calciatori professionisti, si evince che, non solo non si può stimare il $V'O_2^{\max}$ dalla distanza percorsa, ma non si possono valutare neanche le percentuali dell'aumento o della diminuzione del $V'O_2^{\max}$ da quelle dei metri percorsi. Quindi, il calciatore che percorre più metri non è detto che abbia un $V'O_2^{\max}$ maggiore di quello che percorre una distanza minore; e se dopo un periodo di allenamento, il soggetto percorre una distanza maggiore nello yo-yo endurance test, rispetto al test precedente l'allenamento, non è detto che abbia migliorato il suo $V'O_2^{\max}$.

I miglioramenti ottenuti, dopo 5 settimane di allenamento intermittente a navetta, sono , probabilmente, da attribuire ad un miglior controllo neuromuscolare. Infatti, la massima potenza aerobica migliora (3,18%), ma i miglioramenti maggiori sono stati riscontrati nel costo energetico della corsa a navetta intermittente (6,10% , 14,15%), e sorprendentemente anche della corsa in linea sul nastro (7,05%). Da questo si desume che l'allenamento è specifico e consente d'imparare a muoversi in maniera funzionale ed efficiente.

Ogni soggetto, che si allena, impara i gesti ed i comportamenti specifici dell'attività motoria o sportiva, per la quale si esercita, e, con la ripetizione dei i gesti tecnici, rafforza la coordinazione specifica dell'attività praticata.

Bibliografia

Astrand e Rodahl

Fisiologia-Sport-Lavoro Esercizio Muscolare Antropometria edi-ermes Milano 1984

Bangsbo, J.

Fitness Training in Football, a scientific approach

publisher August Krogh Institute - Copenhagen University (December 1994).

Bangsbo, J. Yo-Yo Test. Ancona: Kells, 1996

Bisciotti N., JM. Sagnol , E. Filaire

Aspetti bioenergetici della corsa frazionata nel calcio. SdS. 50: 21-27, 2000.

Bisciotti N.Facciamo due conti.....

Il Nuovo calcio. 128:124-128, 2003

Bosco C., Rusko H.

The effect of prolonged skeletal muscle stretch shortening cycle on recoil of elastic energy and on energy expenditure.

Acta Physiol. Scand. 119 : 219-224 (1983)

Cavagna G.A., Saibene F.P., Margaria R.

Mechanical work in running.

J. Appl. Physiol.. 19 : 249- 256. (1964)

Cavagna G.A. , A. Franzetti e T., Fuchimoto

The mechanism of walking in children

J. Physiol. 343: 323-339, 1983

Chatterjee P, Banerjee AK, Das P, Debnath P, Chatterjee P.

Validity of 20 meter multi stage shuttle run test for prediction of maximum oxygen uptake in Indian female university students.

Kathmandu Univ Med J (KUMJ). 2008 Apr-Jun;6(2):176-80.

Cerretelli P.

Fisiologia dell'Esercizio, sport,età, sesso

Società Editrice Universo Roma 2001

Colli Roberto, Buglione Antonio, Lucarini Luigi, Azzone Vito

I cambi di senso e direzione negli sport di squadra - Aspetti biomeccanici e metabolici
(seconda parte)

Scienza & Sport Anno II numero 6 Aprile/Giugno 2010 pag.72-77

Colli Roberto, Buglione Antonio, Lucarini Luigi, Azzone Vito

I cambi di senso e direzione negli sport di squadra - Aspetti biomeccanici e metabolici
(prima parte)

Scienza & Sport Anno II numero 5 Gennaio/Marzo 2010 pag.66-71

Colli Roberto, Azzone Vito, Lucarini Luigi, Buglione Antonio

Modelli di prestazione del calcio e match analysis: un'analisi critica

Elav Journal Anno II numero 7 Settembre 2009 pag. 12-17

Colli Roberto, Introini Elisabetta, Buglione Antonio, Azzone Vito, Paternoster Michele

Il costo energetico nella canoa-kayak

SdS - Scuola dello Sport Anno XXVIII , nuova serie, numero 80 Gennaio-Marzo 2009 pag. 55-66

Colli Roberto, Introini Elisabetta, Buglione Antonio, Azzone Vito, Paternoster Michele

Valutazione del costo energetico e del V'O2 max nel kayak al pagaierometro e in barca

Nuova Canoa Ricerca Federazione Italiana Canoa Kayak

Anno XXII numero 66 Agosto/Novembre 2008 pag 3-20

Colli Roberto, Buglione Antonio, Introini Elisabetta, D'Ottavio Stefano

L'allenamento intermittente tra scienza e prassi

SdS - Scuola dello Sport Anno XXVI , nuova serie, numero 72 Gennaio-Marzo 2007 pag. 45-52

Fox E.L., Costill D.L.

Estimated cardiorespiratory responses during marathon running .

Arch Environ Health 24:315-324. 1972

Léger, L. A. and Lambert, J.,

A Maximal Multistage 20-m Shuttle Run Test to Predict $V'O_2^{\max}$

European Journal of Applied Physiology 49: 1-12. , 1982

Leger, LA and Rouillard, M.

Speed reliability of cassette and tape players.

Can J Appl Sport Sci 8: 47-48, 1983.

Leger, LA, Mercier, D, Gadoury, C, and Lambert, J.

The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness.

J Sports Sci 6: 93-101, 1988.

Léger, L and Gadoury, C.

Validity of the 20 m shuttle run test with 1 min stages to predict $V'O_2^{\max}$ in adults.

Can J Sport Sci 14: 21-26, 1989.

Margaria R. Sulla fisiologia, e specialmente sul consumo energetico della marcia a varie velocità ed inclinazioni del terreno.

Atti Ass. Naz. Lincei. 7 : 299-368. (1938)

Margaria R., Cerretelli P., Aghemo P., Sassi G

Energy cost of running.

J.Appl. Physiol. 18 : 367-370. (1963)

Margaria R, Cerretelli P, di Prampero P E, Massari C, Torelli G

Kinetics and mechanism of oxygen debt contraction in man.

J Appl Physiol. 18: 371-7. (1963)

Margaria R.

Fisiologia muscolare e meccanica del movimento

Biblioteca Est Edizioni Scientifiche e Techiche Montadori Milano, 1975

Menier D.R. e L.G.G.E. Pugh.

the relation of oxygen intake and velocity in walking and running, in competition walkers .

J. Physiol. 197: 717-731, 1968

Minetti A.E., C.Capelli,P.Zamparo,P.E.di Prampero, e F. Saibene

effects of stride frequency on mechanical power and energy expenditure of walking

Med. Sci. Sports Exerc. 27: 1194-1202, 1995

Osgnach C, Poser S, Bernardini R, Rinaldo R, di Prampero PE

Energy cost and metabolic power in elite soccer: a new match analysis approach.

Med Sci Sports Exerc. 2010 Jan;42(1):170-8.

di Prampero PE, Peeters L and Margaria R

Alactic O₂ debt and lactic acid production after exhausting exercise in man

J Appl Physiol. 34(5): 628-32(1973)

P. E. di Prampero

Energetics of Muscular Exercise.

Rev. Physiol.Biochem. Pharmacol, 89, 143-222, 1981

di Prampero P.E.

La locomozione umana su terra, in acqua,in aria fatti e teorie

edi ermes Milano, 1985

di Prampero PE

The energy cost of human locomotion on land and in water

Int J Sports Med. 7(2): 55-72. (1986)

di Prampero PE, Capelli C, Pagliaro P, Antonutto G, Girardis M, Zamparo P e Soule RG
Energetics of best performances in middle-distance running.
J Appl Physiol. 74(5): 2318-24.(1993)

di Prampero e Veicteinas
Fisiologia dell'uomo
edi ermes Milano, 2002

di Prampero Pietro Enrico, Salvadego Desy, Fusi Simonetta, e Grassi Bruno
A simple method for assessing the energy cost of running during incremental tests
J Appl Physiol. 2009 Oct;107(4):1068-75. Epub 2009 Aug 6.

Ramsbottom, R., Brewer, J. and Williams, C., "
An examination of the maximal multistage shuttle run test as a predictor of V02 max in active
female subjects"
Journal of Sports Sciences 6: 165A. 1988

Ramsbottom, R, Brewer, J, and Williams, C. A progressive shuttle run test to estimate maximal
oxygen uptake
Br J Sports Med 22: 141–144, 1988.