

## Differenze tra velocisti di élite e sub-élite nelle variabili cinematiche e dinamiche dei salti pliometrici

Milan Čoh, Milan Žvan

Facoltà dello Sport, Università di Lubjana, Slovenia

### Introduzione

Nello sprint la velocità è definita dalla frequenza e dalla lunghezza degli appoggi. I parametri sono reciprocamente dipendenti, dato che il loro rapporto ottimale permette la realizzazione della velocità massima di sprint. L'incremento della velocità può essere raggiunto aumentando o la lunghezza o la fre-

quenza degli appoggi. L'incremento di entrambi i parametri simultaneamente non è possibile a causa della loro reciproca dipendenza inversa. La maggiore frequenza ha come risultato appoggi più corti e viceversa. Quindi l'incremento nella lunghezza dell'appoggio deve essere direttamente proporzionale al calo della frequenza di appoggi specialmente all'inizio della corsa – la fase di accelerazione iniziale (Mackala 2007). Questo rapporto è condizionato dai processi di regolazione neuro-muscolare del movimento, dalle caratteristiche morfologiche, dalle abilità bio-motorie e dalle risorse energetiche biochimiche a livello individuale (Mann, Sprague, 1980; Harland, Steele, 1997; Novacheck, 1998; Prampero et al., 2005).

La lunghezza dell'appoggio dipende dalle dimensioni degli arti inferiori e dall'impulso delle forze di reazione al suolo. In base agli studi biomeccanici di alcuni autori (Bruggemann, Glad, 1990; Mero et al., 1992), l'appoggio degli sprinter viene definito da un'esecuzione ottimale della fase di contatto, che è costituita da due sottofasi connesse: la fase frenante e la fase di propulsione. Il criterio di base di una tecnica razionale dello sprint è il minore impulso possibile nella fase di ammortizzazione e il maggiore impulso possibile nella fase di propulsione (Man, Sprague, 1980). Il secondo parametro della velocità è la frequenza dei passi, che in gran parte dipende dalla regolazione del funzionamento del sistema nervoso centrale, in particolare dalla conduttività delle sinapsi neuromuscolari in condizione di massima ec-



citazione (Enoka, 1994; De Luca, 1997). Un'alta frequenza di appoggi richiede un lavoro preciso e regolare alternato degli agonisti e antagonisti (gruppi muscolari) degli arti inferiori. La frequenza degli appoggi deriva dalla somma delle fasi di supporto e di volo. Negli sprinter di élite, il rapporto tra fase di supporto e fase di volo è tra 1: 1.3 e 1: 1.7 (Mero, et al., 1992, Glize, Laurent, 1997; Novacheck, 1998).

Lo sprint è un movimento naturale umano, la struttura del movimento comprende una serie di salti da una gamba all'altra. In base alle caratteristiche biomeccaniche, i salti possono essere distinti in salti verticali e orizzontali. I salti verticali sono mezzi importanti di allenamento, come anche un metodo diagnostico per controllare la forza di spinta degli arti inferiori nei velocisti. Il criterio di base di una velocità efficace nello sprint è lo sviluppo della maggiore forza possibile di reazione al suolo nel minor tempo possibile durante la fase di contatto dell'appoggio (Mann, Sprague, 1980; Mero et al., 1992; Mero et al., 2006). Il tempo di contatto nei velocisti di élite equivale a 80-95 millisecondi con forze di reazione al suolo che superano tre-quattro volte il peso del corpo degli atleti. La struttura del movimento in salti e corsa di velocità è molto simile nelle modalità di contrazione muscolare. Lo sviluppo della forza è un risultato della concatenazione tra contrazioni muscolari eccentriche e concentriche. La maggior parte dei movimenti naturali comprende l'allungamento attivo dei muscoli nella fase di ammortizzazione (contrazione eccentrica) seguita da un'estensione (contrazione concentrica).

I salti pliometrici sono mezzi importanti nell'allenamento degli sprinter. Possono essere usati per migliorare la funzione dell'azione muscolare eccentrica-

ca-concentrica degli arti inferiori. Inoltre, questi salti rappresentano uno dei metodi diagnostici più importanti della forza di impulso negli atleti. Lo scopo del presente studio è di trovare differenze nei test di salto pliometrico - 45 cm nei risultati dei parametri biomeccanici dei salti pliometrici e gli elementi che distinguono i velocisti in relazione al loro livello per programmare meglio e controllare il processo di allenamento degli sprinter. Secondo quest'assunto il presente articolo ha avuto principalmente l'obiettivo di esaminare le differenze di forza nelle spinte tra velocisti di élite e di sub-élite.

## Metodi

L'esperimento ha incluso 12 buoni sprinter (età  $22.4 \pm 3.4$  anni, altezza  $177.6 \pm 6.9$  cm, peso corporeo  $74.9 \pm 5.2$  kg). La media dei migliori risultati nei 100 metri è stata  $10.82 \pm 0.25$  s (miglior risultato 10.39 s). Tutti i soggetti misurati erano a conoscenza degli scopi dell'esperimento e delle procedure di misurazione e hanno tutti firmato una dichiarazione di assenso come previsto dalla dichiarazione di Helsinki-Tokyo, che afferma che la partecipazione è volontaria e che vi si può mettere fine in qualsiasi momento. I soggetti selezionati misurati dovevano allenarsi in atletica leggera da almeno cinque anni e dovevano essere specializzati nelle gare di velocità dei 60 o 100 o 200 metri. In base allo scopo dello studio, gli sprinter sono stati divisi in due gruppi.

Il criterio per formare i gruppi degli sprinter di élite e sub-élite era rappresentato dal risultato ottenuto in una gara ufficiale di 100 metri. Le caratteristiche di base dei due gruppi sono illustrate nella Tabella 1.

Parametri	Unità	ÉLITE SPRINTER (6)		SUB-ÉLITE SPRINTER (6)	
		Media	DS	Media	DS
Età	Anni	23.67	3.26	22.67	3.55
Altezza	Cm	179.17	7.65	176.17	6.58
Massa corporea	Kg	77.50	5.32	72.33	3.98
100m	S	10.66*	0.18	10.96	0.16

\*Una differenza tra i gruppi è statisticamente significativa con  $p < 0.05$ .

Tabella 1 – Caratteristiche del campione di sprinter di élite e sub-élite

## Protocollo della procedura di misurazione (raccolta dei dati e metodi di analisi dei dati)

I salti pliometrici sono stati eseguiti da una panca alta 45 centimetri, l'atterraggio è stato eseguito su una superficie – piattaforma tensiometrica – seguita da un immediato stacco verticale. Il salto

pliometrico è stato anche eseguito senza movimento delle braccia (Figura 1). È stato utilizzato un sistema di nove telecamere CCD (BTS martedì, BTS Bio-engineering, Padova, Italia) con una frequenza di 200 Hz e una risoluzione di 768 x 576 pixel al fine di effettuare un'analisi cinematica tridimensionale dei salti verticali. È stato usato un programma BTS

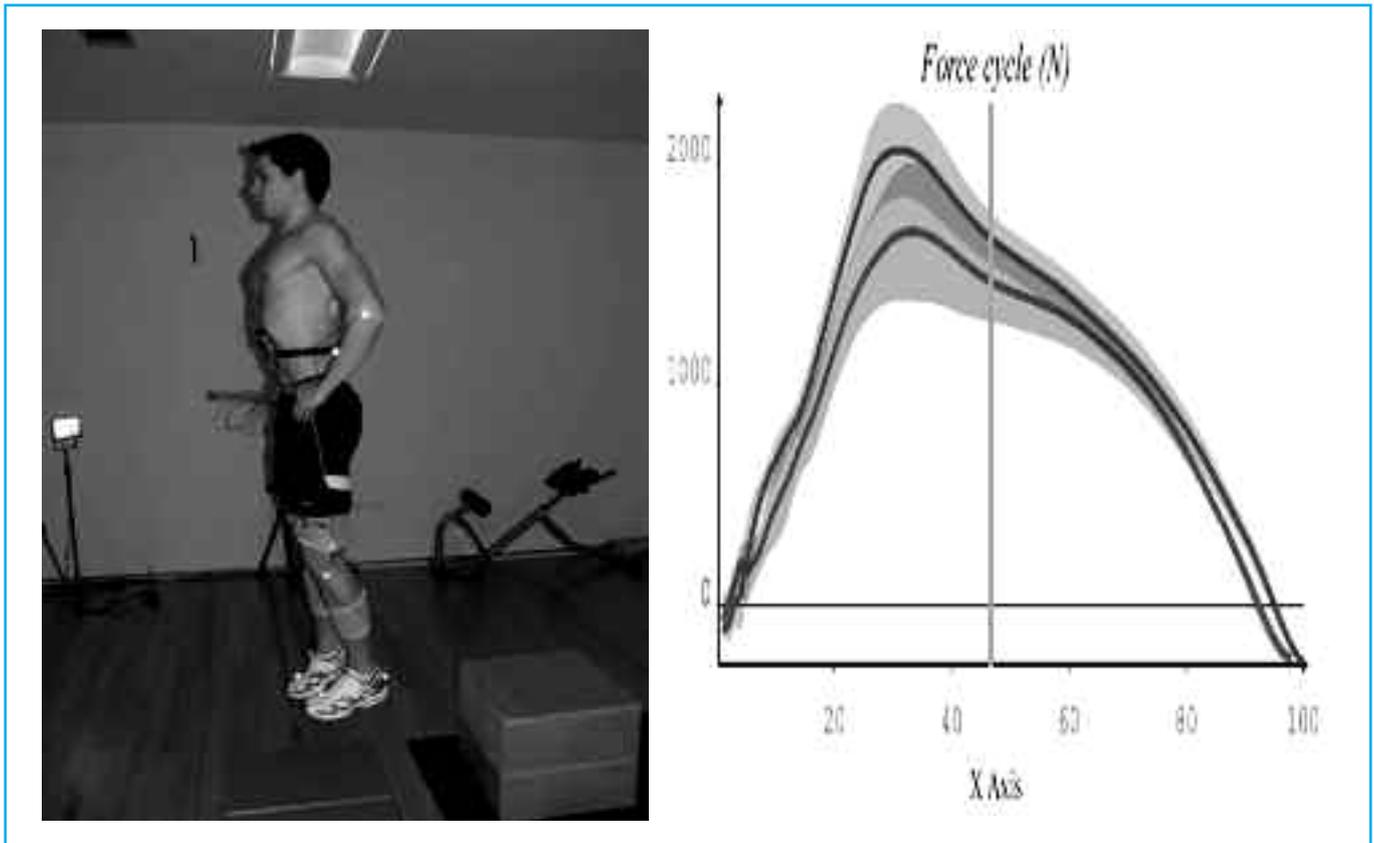


Figura 1 – Protocollo di misurazione dei parametri cinematici e dinamici del salto pliometrico-45 cm

SMART Suite per analizzare i parametri cinematici.

Sono state esaminate le variabili cinematiche dei salti verticali con l'uso di due piattaforme di forza separate (600x400, Type 9286A, Kistler Instrumente AG, Winterthur, Switzerland) ad una frequenza di campionamento di 800 Hz. L'analisi ha incluso le seguenti variabili cinetiche: forza massimale di reazione al suolo e impulso di forza, impulso di forza nelle fasi eccentriche e concentriche. La forza di reazione al suolo (GRF) è stata misurata unilateralmente e bilateralmente. La forza è stata ulteriormente normalizzata in

base al peso corporeo del soggetto misurato (N/kg).

I dati sono stati analizzati statisticamente con l'uso del programma SPSS per Windows 15.0 (Chicago, IL, USA). In entrambi le tipologie di salto sono stati considerati i tre migliori (più alti). In aggiunta ai parametri statistici di base delle variabili sono state anche esaminate le differenze tra le due categorie di velocisti nei test pliometrici attraverso un'analisi di varianza ANOVA a misure ripetute. La significatività delle differenze è stata valutata ad un livello di rischio del 5% ( $p < 0.05$ ).

## Risultati dello studio

I risultati nella Tabella 1 rivelano che i velocisti di élite sono leggermente più vecchi, con una massa corporea e un'altezza maggiore e con risultati statisticamente migliori nei 60 e 100 metri. La Tabella 2 presenta i valori medi e le deviazioni standard delle variabili nel salto pliometrico 45 centimetri. Nel salto pliometrico la differenza nell'altezza del salto tra i due gruppi equivaleva a 8.7 centimetri. Sono state anche rilevate considerevoli differenze tra i gruppi nella velocità verticale di stacco dei salti pliometrici. Inoltre, la velocità del centro di gravità (BCG) nella fase eccentrica del salto in basso ha distinto in maniera significativa gli sprinter di élite da quelli di sub-élite.

Nel salto pliometrico - 45 centimetri si sono rilevate differenze statisticamente significative tra i gruppi di velocisti di élite e sub-élite nei tre parametri: altezza del salto, velocità del baricentro

nella fase eccentrica e concentrica. Gli studi precedenti hanno indicato un'alta correlazione tra il salto pliometrico e la velocità di corsa (Sarasilid, 2000; Young, 2001; Marković, 2004). È stata trovata un'alta correlazione tra i salti in basso e l'accelerazione di partenza da Mero et al., (1992), Rimmer e Sleivert (2000), Marković (2004) e Maulder et al., (2006). I meccanismi neuro-muscolari nell'esecuzione del salto pliometrico e nei passi dello sprint sono molto simili. L'allungamento più veloce del complesso muscolo-tendine, il tempo più breve e l'ampiezza di movimento hanno tutti come risultato una maggior quantità di energia elastica. Si sa che il complesso muscolo-tendine (tendine di Achille, muscoli gastrocnemio mediale, gastrocnemio laterale, soleo) può, in condizioni di velocità maggiore del ciclo eccentrico-concentrico, immagazzinare una quantità maggiore di energia cinetica in forma di energia elastica (Bobbert, van Soest, 2000; Komi, 2000). La generazione di energia

Parametri	Unità	ÉLITE SPRINTER (6)		SUB-ÉLITE SPRINTER (6)	
		Media	DS	Media	DS
Altezza	cm	54.76 *	5.34	46.02	5.95
Tempo concentrica	ms	90.00	5.42	93.55	5.75
Tempo eccentrica	ms	70.43	8.38	77.70	7.51
Tempo di contatto	ms	160.43	10.68	171.25	16.11
Picco forza/destra	N	1551.20	286.07	516.32	309.12
Picco forza/sinistra	N	1433.21	170.58	616.02	229.74
Impulso eccentrico destra	Ns	78.33	16.35	76.03	12.77
Impulsoeccentrico sinistra	Ns	70.85	7.50	80.00	13.14
Impulso concentrico destra	Ns	87.61	12.30	85.18	19.00
Impulso concentrico sinistra	Ns	82.55	12.32	88.48	13.71
Velocità di stacco	m.s -1	3.18 *	0.15	2.87	0.24
Velocità eccentrica	m.s -1	3.05 *	0.11	2.81	0.07

\*Una differenza tra i gruppi è statisticamente significativa con  $p < 0.05$ .

Tabella 2 – Variabili cinematiche e dinamiche del salto pliometrico – 45 cm

elastica significa anche tempi di contatto più brevi, il che rappresenta un fattore decisivo nella velocità. Se il tempo di contatto con la superficie è più lungo, una parte dell'energia cinetica assorbita viene trasformata in energia chimica – calore (Komi, 2000). Rispetto al gruppo di velocisti di sub-élite, i velocisti del gruppo élite hanno una durata cumulativa più corta della fase di contatto (élites=160.4 ms, sub-élite=171.2 ms) come anche la durata minore della fase eccentrica nel salto pliometrico di 45 centimetri; tuttavia la differenza non è statisticamente significativa. In base ad alcuni studi (Gollhofer, Kyrolainen, 1991; Komi, 2000), il meccanismo chiave per un tempo di contatto breve in condizioni di ciclo eccentrico-concentrico (ciclo allungamento-accorciamento - Komi, Nicol, 2000) è una pre-attivazione efficiente dei muscoli agonisti e dei muscoli sinergici dell'articolazione della caviglia (gastrocnemio laterale, gastrocnemio mediale, soleo e tibiale). La pre-attivazione comincia 100 millisecondi prima del contatto del piede con il suolo (Gollhofer, Kyrolainen 1991). Gli agonistici e i sinergici forniscono una maggiore stiffness all'articolazione della caviglia, regolata dal programma motorio centrale (regolazione della stiffness della caviglia), che controlla e sincronizza il lavoro dei flessori e degli estensori della caviglia prima del contatto con il suolo (Gollhofer, Kyrolainen, 1991, Nicol et al., 2006). Young et al. (1999) hanno trovato che l'allenamento con i salti pliometrici negli sprinter riduce significativamente i tempi di contatto e migliora l'altezza dei salti. Una fase di contatto breve è uno dei fattori più importanti nelle gare di velocità, sia dal punto di vista dell'alta frequenza e sia della velocità della spinta nell'appoggio della gara di velocità. Nelle potenti strutture motorie, come anche nello sprint, il tempo disponibile per la generazione di forza è uno dei più importanti fattori limitanti. Nello sprint la velocità di generazione della forza muscolare (gradiente di forza) è un fattore più importante della forza muscolare massima (Zatsiorsky, 1995).

C'è una differenza significativa tra la corsa di velocità e il test di salto pliometrico, che valuta la forza elastica. Dal punto di vista biomeccanico, lo sprint rappresenta un'attività alternata della gamba sinistra e destra, cioè un'attività unilaterale. Secondo Mero et al. (1992), la realizzazione

della forza nello sprint dipende in maniera considerevole dalla coordinazione intra- e inter-muscolare. I salti verticali sono un esempio tipico di attività bilaterale. Tuttavia, vi è una particolare somiglianza tra queste due attività dal punto di vista delle forze di reazione al suolo. Nella fase della velocità di sprint massimale la forza di reazione al suolo verticale equivale a 1300-1600 N (Mero et al., 1992) su ogni gamba. La somma delle forze di reazione al suolo di entrambe le gambe è quindi tra 2600 N e 3200 N. Nel salto pliometrico i velocisti di élite raggiungono in media una forza di reazione al suolo bilaterale di 2984 N, e quelli di sub-élite anche 3132 N. La forza di reazione unilaterale al suolo arriva a 1492 N nei velocisti di élite e a 1566 N nei velocisti di sub-élite. In maniera analoga, l'impulso della forza nella fase eccentrica del salto è in media maggiore nel gruppo di velocisti di sub-élite, in confronto al gruppo dei velocisti di élite (élite 149.18 Ns, sub-élite 156.03 Ns). Evidentemente, gli sprinter di sub-élite, nonostante la maggiore forza di reazione al suolo, non sono capaci di realizzare salti più alti rispetto agli sprinter di élite. Gli sprinter di élite hanno ottenuto salti verticali più alti di 8.7 cm dopo salti in basso da 45-cm rispetto agli sprinter di sub-élite.

In base ai parametri cinematici (durata della spinta, durata della fase eccentrica e concentrica) e dei parametri cinetici (forza massimale di reazione, impulso di forza nella fase eccentrica e concentrica), si può concludere che gli sprinter di élite utilizzano una strategia di salto con un ciclo veloce eccentrico-concentrico, mentre gli sprinter di sub-élite usano una strategia con ciclo lento eccentrico-concentrico. Solo una veloce trasformazione della contrazione eccentrica in quella concentrica, utilizzando un riflesso dell'allungamento, permette un transfer efficiente di energia elastica dalla prima alla seconda fase dell'azione di stacco. Nella fase di pre-allungamento dei muscoli e dei tendini, la parte maggiore di energia elastica viene immagazzinata in elementi seriali elastici muscolari (aponeurosi, tendine e ponti energetici) e una parte minore in elementi paralleli elastici (fasce muscolari, tessuto connettivo, sarcolemma). Questa energia viene rilasciata nella fase concentrica, insieme all'energia chimica di un muscolo. Una parte di energia elastica è disponibile solo per 15-120 mil-

lisecondi, che rappresenta la durata di vita dei ponti energetici (Komi, Nicol, 2000). La velocità del ciclo eccentrico-concentrico negli sprinter di élite è, da un punto di vista statistico, per la maggior parte il risultato di una velocità significativamente maggiore del centro di gravità nella fase di ammortizzazione della fase di salto e nell'estensione della fase di salto. Quando si lascia il terreno, la velocità media verticale dei velocisti di élite è di  $0.31 \text{ ms}^{-1}$  più alta rispetto ai velocisti di sub-élite. Il salto pliometrico come movimento complesso multi-articolare, in cui la coordinazione inter-muscolare in particolare degli agonisti e dei sinergici è di considerevole importanza, si è dimostrato un importante strumento diagnostico di previsione del risultato per le gare di velocità.

## Conclusione

I salti pliometrici sono strumenti importanti di allenamento degli sprinter. Possono essere usati per migliorare il funzionamento del lavoro muscolare eccentrico-concentrico degli arti inferiori. Nel salto pliometrico, gli sprinter di élite e di sub-élite si sono distinti nella realizzazione della velocità di movimento nelle fasi eccentriche e concentriche (c'è una differenza statisticamente significativa tra i gruppi  $p < 0.05$ ). Gli sprinter di élite utilizzano meglio il riflesso dell'allungamento, che permette loro di trasferire in maniera più efficiente l'energia elastica dalla prima alla seconda fase dell'azione di spinta. Inoltre, questi salti sono uno strumento di misurazione affidabile e obiettivo per diagnosticare e pianificare il processo di allenamento della forza degli atleti.

## Bibliografia

1. Brüggemann, G., Glad B. (1990). Time analysis of the sprint events. Scientific Research Project at the Games of the XXXIV Olympiad Seoul 1988, IAAF, Supplement.
2. Bobbert, M., Huijing, P., van Ingen Schenau, G. (1987). Drop jumping I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 19:332-338.
3. Bobbert, M., van Soest, A. (2000). Two joint muscles offer the solution, but what was the problem. *Motor control*, 4 (1), 48-52.
4. Brockett, C., Morgan, D., Proske, U. (2004). Predicting Hamstring Strain Injury in Élite Athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (36), 379-387.
5. Cronin, J., Hansen, T. (2005). Strength and power predictors of sports speed. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19 (2), 349-357.
6. De Luca, C. (1997). The Use of Surface Electromyography in Biomechanics. *Journal of Applied Biomechanics*, 13, 135-163
7. Gollhofer, A., Kyrolainen, H. (1991). Neuromuscular control of the human leg extensor muscles in jump exercises under various stretch-load conditions. *International Journal of Sports Medicine*, 12, 34-40.
8. Glize, D., Laurent M. (1997). Controlling locomotion during the acceleration phase in sprinting and long jumping. *Journal of Sports Science*, 15, 181-189.
9. Harland, M. & Steele, J. (1997). Biomechanics of the Sprint Start. *Sports Medicine*, 23 (1), 11-20
10. Hennessy, L., Kilty, J. (2001). Relationship of the stretch-shortening cycle to sprint performance in trained female athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15, 326-331.
11. Komi, P. (2000). Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *Journal of Biomechanics*, 33 (10), 1197-2006.
12. Komi, P., Nicol, C. (2000). Stretch-shortening cycle fatigue. V: McIntosh, B. and Nigg, B. (ed), *Biomechanics and Biology of Movement*. Champaign (IL): Human Kinetics.
13. Liebermann, D., Katz, L. (2003) On the assessment of lower-limb muscular power capability. *Isokinetics and Exercise and Science*, 11, 87-94.

14. Maćkała K, Optimisation of performance through kinematic analysis of the different phases of the 100 meters. *New Studies in Athletics* 2007; 22, 2: 7-16.
15. Mann, R., & Sprague, P. (1980). A kinetic analysis of the ground leg during sprint running. *Research Quarterly for exercise and sport*, 51: 334-348.
16. Marković, G., Dizdar, D., Jukić, I., & Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Strength and Conditioning Journal*, 16 (5), 20-31.
17. Mero A., Luhtanen P., & Komi P. (1983). A biomechanical study of the sprint start. *Scand J Sport Sci* 5 (1), 20 -28.
18. Mero, A. (1988). Force-Time Characteristics and Running Velocity of Male Sprinters During the Acceleration Phase of Sprinting. *Research Quarterly*, 59, (2), 94-98.
19. Mero, A., Komi, P., Gregor, R. (1992). Biomechanics of Sprint Running. *Sport Medicine* 13, 6, 376-392.
20. Mero, A., Kuitunen, S., Harland, M., Kyrolainen, H., & Komi, P. (2006). Effects of muscle – tendon length on joint moment and power during sprint starts. *Journal of Sport Science*, 24 (2), 165-173.
21. Maulder, P., Bradshaw, E., Keogh, J. (2006). Jump kinetic determinants of sprint acceleration performance from starting blocks in male sprinters. *Journal of Sport Science and Medicine*, 5, 359-366.
22. Novacheck, T. (1998). The biomechanics of running, *Gait and Posture*, 7, 77-95.
23. Nicol, C., Avela, J., Komi. P. (2006). The Stretch-Shortening Cycle. *Sports Medicine*, 36 (11), 977-999.
24. Prampero, P., Fusi, S., Sepulcri, J., Morin, B., Belli, A., Antonutto, G. (1005) Sprint running: a new energetic approach. *Journal of Experimental Biology*, 208, 2809-2816.
25. Rimmer, E., Sleivert (2000). Effects of plyometric intervention program on sprint performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14 (3), 295-301.
26. Saraslanidis, P. (2000). Training for the improvement of maximum speed: flat running or resistance training? *New Studies in Athletics*, 15 (3-4), 45-51.
27. Voigt, M., Simonsen, E., Klausen, K. (1995). Mechanical and muscular factors influencing the performance in maximal vertical jumping after different prestretch loads. *Journal of Biomechanics*, 28 (3), 293-307.
28. Young, W. (1995). Laboratory strength assessment of athletes. *New Studies in Athletics*, 10 (1), 89-96.
29. Zatsiorsky, V. (1995). Science and practice of strength training. Champaign (IL) Human Kinetics.