

Modello biomeccanico del salto triplo femminile

Milan Čoh¹, Stojan Burnik¹, Krzysztof Mackala²

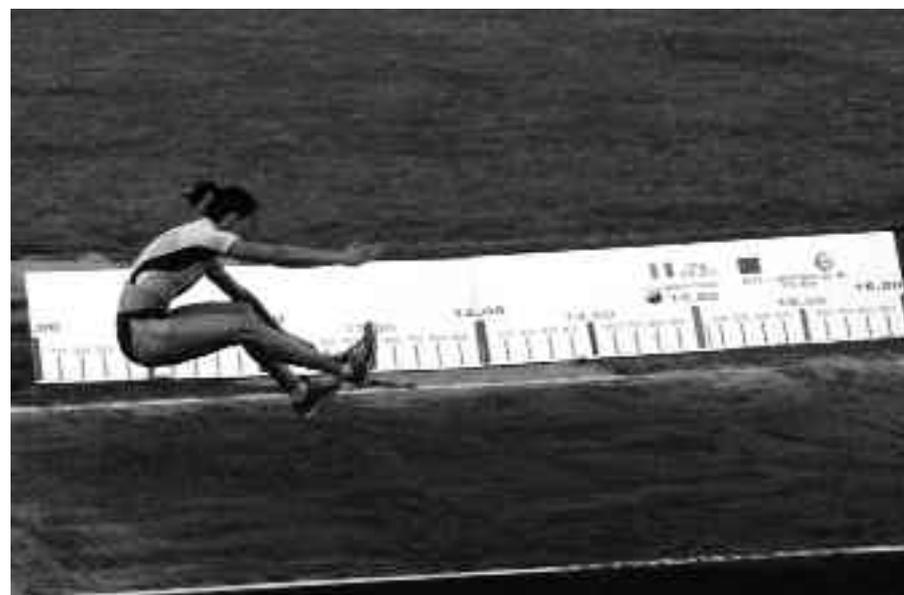
¹ Facoltà dello Sport, Università di Ljubjana, Slovenia

² Scuola Universitaria dell'Educazione di Wroclaw, Dipartimento di Atletica Leggera, Polonia

Introduzione

Per le sue caratteristiche biomeccaniche, il salto triplo è una delle discipline più complesse dell'atletica leggera, dalla rincorsa alle tre fasi consecutive di volo. Il risultato è determinato essenzialmente dalla velocità della rincorsa e dalla proporzione ottimale tra le misure delle tre fasi di volo (Hay, Miller, 1985; Hay, 1992; Grahman-Smith, Lees, 1994; Miladinov, Bonov, 2004). Ogni unità strutturale rap-

presenta uno specifico compito motorio con caratteristiche e compiti ben determinati, che l'atleta deve eseguire allo scopo di effettuare un salto triplo riuscito. In base ad alcuni studi precedenti (Conrad, Ritzdorf, 1990; Grahman-Smith, Lees, 1994; Hay, 1999; Jurgens, 1998, Panoutsakopoulos, Kollias, 2008), nel salto triplo il mantenimento della velocità ottimale orizzontale nelle fasi hop, step e jump, è un fattore cruciale per ottenere la massima misura.



Un momento critico è rappresentato dalla transizione dallo hop allo step. Dal punto di vista della struttura motoria del modello, il salto triplo può essere visto come un insieme di movimenti ciclici e aciclici. La trasformazione efficace della velocità di rincorsa nello stacco dello hop è correlata con un ritmo corretto, ma anche con il controllo visivo e cinestetico (Yu, Hay, 1996; Hay, 1999; Kyrolainen et al., 2007). La prima fase (hop) è la più lunga e rappresenta il 36 – 39% della misura globale delle tre fasi (Grahman-Smith, Lees, 1994; Kyrolainen et al., 2007; Panoutsakopoulos, Kollias, 2008). Perciò un'esecuzione efficace della fase hop è un elemento chiave per l'esecuzione delle due fasi seguenti (step e jump) e quindi per l'intero salto. La proporzione tra le misure delle tre fasi dipende dalle varie strategie motorie messe in atto dagli atleti sia maschi che femmine. Si sono identificate tre tecniche di salto triplo: a) »dominata dallo hop, b) »dominata dal jump« e c) »tecnica bilanciata. Nella prima tecnica (hop predominante) viene enfatizzata la lunghezza del primo balzo (hop), nella seconda tecnica si enfatizza la misura dell'ultimo balzo, mentre nella terza si cerca un bilanciamento tra i tre balzi. Le misure e le proporzioni delle differenti fasi sono determinate dall'esecuzione della spinta e delle fasi di volo. La transizione dalla velocità orizzontale è correlata in buona parte con una tecnica efficiente dell'azione di stacco. La proporzione ottimale tra le componenti orizzontale e verticale della velocità del centro di massa del corpo (BCM) nella fase di spinta è molto importante. Un atleta dovrebbe mantenere una velocità quanto più orizzontale possibile,

assicurando nel contempo un'adeguata velocità verticale per un salto triplo efficiente. L'incremento della velocità della componente orizzontale ha come risultato una velocità ridotta della componente verticale e vice versa.

Lo scopo dello studio è stato quello di stabilire i parametri cinematici rilevanti delle singole fasi nella tecnica del salto triplo, su un campione rappresentato da un'atleta del più alto livello internazionale. I dati raccolti serviranno come base per definire un modello oggettivo e per ottimizzare le strutture motorie del salto triplo. Sono state usate le tecnologie più moderne co-dipendenti e sincronizzate, richieste per questo tipo di studi biomeccanici. Sono state oggetto dello studio la velocità della rincorsa, la struttura degli ultimi due ultimi appoggi della rincorsa e la cinematica delle singole fasi nel salto triplo.

Le misurazioni sono state effettuate nello stadio Šiška di atletica leggera in condizioni climatiche costanti. Il soggetto misurato è una delle migliori tripliste del mondo, Marija Šestak (età 28, altezza 172 cm, peso 66.5 kg, record personale nel salto triplo 15.03m, 6° posto ai Giochi Olimpici del 2008). Il soggetto analizzato ha fatto sei prove e nello studio sono stati inclusi i due salti più lunghi. Le misurazioni sono state effettuate nella fase di preparazione ai Giochi Olimpici 2008 di Beijing. E' stata usata la tecnologia OPTO-TRACK del produttore italiano Microgate per misurare le distanze delle differenti fasi, la spinta e i tempi di volo nella fase di rincorsa come anche nello hop, nello step e nella fase di jump. Le componenti di base del sistema di misurazione sono rappresentate da bacchette intercon-

nesse (100cm x 4cm x 3cm), con annessi sensori ottici e dal programma computer per la registrazione e l'analisi dei dati. Ogni bacchetta contiene 32 sensori – fotocellule, che sono posizionate ogni 4cm e posti 0.2cm sopra la superficie. La lunghezza totale delle bacchette interconnesse è stata di 20 metri. Le bacchette del sistema di misurazione sono state poste ad ogni lato della pedana di rincorsa (larghezza = 1.22 m). Un sistema di fotocellule a raggi infrarossi (BROWER – Timing System) è stato usato al fine di misurare la velocità di rincorsa (11-6m, 6-1m). L'analisi cinematica è stata effettuata con registrazioni effettuate attraverso quattro videocamere sincronizzate (SONY DVCAM DSR-300 PK) con la frequenza di 50 Hz e definizione di 720 x 576 pixel, che sono stati poste ad un angolo di 90° rispetto all'asse ottico. Le prime due videocamere hanno coperto l'area degli ultimi due appoggi della rincorsa e della

fase hop, le altre due videocamere hanno registrato lo step e il jump del salto triplo. Allo scopo di ottenere la migliore precisione ed effettuare l'analisi biomeccanica dell'azione di stacco nelle fasi dello hop e dello step, sono state usate due videocamere digitali ad alta velocità MIKROTRON MOTION BLITZ CUBE ECO-1 e DIGITAL MOTION ANALYSIS RECORDER (fig. 1). Le videocamere potevano registrare 6 secondi di movimento con la frequenza di 100 fotogrammi al secondo e con definizione di 640 x 512 pixel; tuttavia per il presente studio è stata scelta una frequenza di 500 fotogrammi al secondo. L'area analizzata degli ultimi due appoggi della rincorsa e quelle dei tre balzi del salto (hop, step e jump) sono state calibrate con una struttura di misurazione referenziale con dimensioni 1m x 1m x 2m, considerando otto angoli di riferimento. La lunghezza dei movimenti analizzati è stata indicata nell'asse »x«, l'altezza nel-

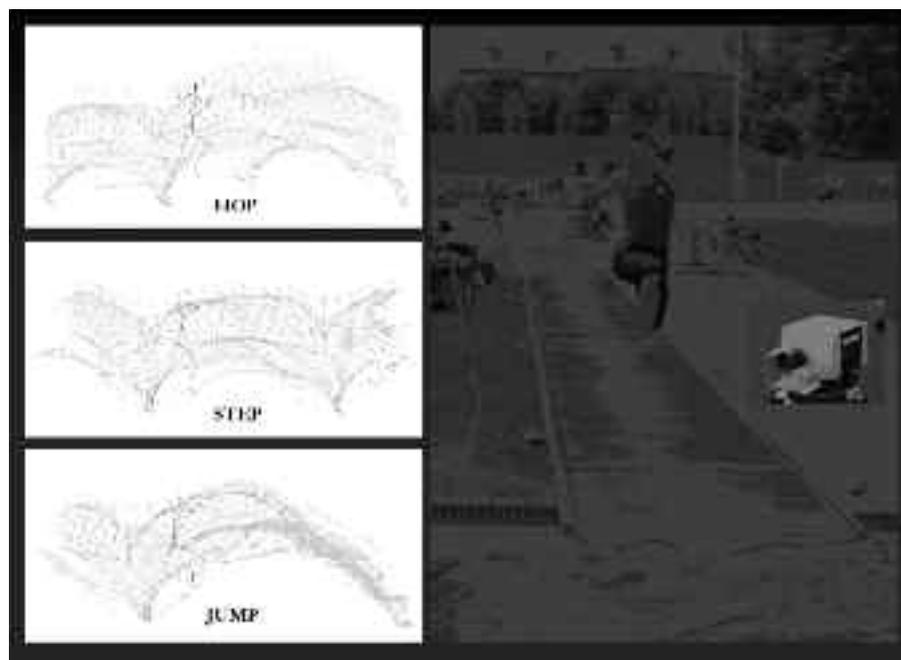


Figura 1: Procedura di misurazione dell'analisi cinematica 3 D del salto triplo

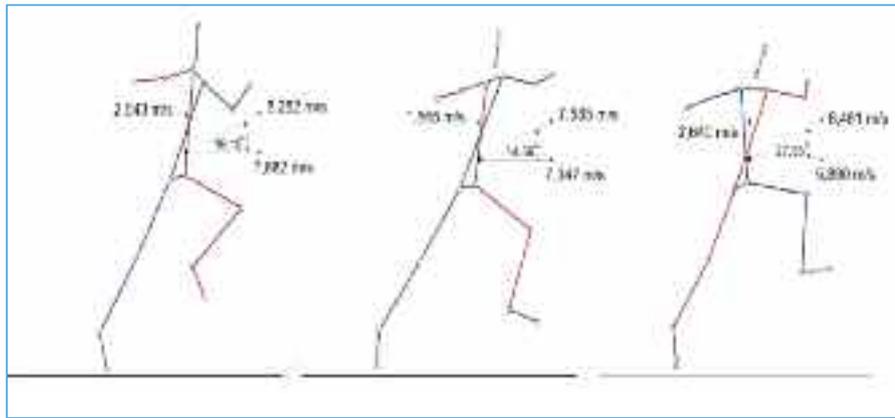


Figura 2: Cinematica della tecnica delle fasi HOP-STEP-JUMP (MŠ: 13.68 m)

l'asse «y» e la profondità con asse «z». Per il calcolo dei parametri cinematici della tecnica, è stato usato un equipaggiamento software 3-D APAS (Ariel Dynamics Inc., San Diego, Ca) (fig.2). Si è realizzata la digitalizzazione del modello a 15 segmenti del corpo

dell'atleta; il modello è stato definito con 18 punti di riferimento (in base a M. Dempster via Miller e Nelson: Biomechanics of Sport, Lea e Febiger, Philadelphia, 1973). Le coordinate dei punti corporei sono state adattate con un filtro digitale Buterworth di livello 7. Il

pacchetto software SPSS è stato usato per l'analisi dei dati statistici.

Risultati

Una velocità ottimale e una rincorsa correttamente strutturata negli ultimi tre appoggi di rincorsa sono requisiti necessari per un buon risultato nel salto triplo. I risultati nella **Tavola 1** mostrano che il soggetto analizzato ha sviluppato una velocità di 8.20ms^{-1} nella zona 6 – 1 m. Nell'ultimo appoggio (1L) la velocità è aumentata a 8.35ms^{-1} . I valori misurati sono leggermente più bassi rispetto ai valori delle atlete in condizioni di gara. La velocità media delle finaliste del salto triplo ai Campionati mondiali IAAF di Atletica, Helsinki 2005, nell'ultimo appoggio è stata 9.30ms^{-1} . L'ultimo appoggio (1L = 2.20m) era

Tavola 1: Parametri cinematici del salto triplo

Parametri	fase	R	Parametri	fase	R
Risultato (m)		13.68		Step	1.86
Velocità rincorsa ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	11 – 6 m	6.94		Jump	2.64
	6 – 1 m	8.20	Velocità 3 – D – xyz (ms^{-1})	Hop	8.28
Rincorsa	2L	2.20		Step	7.58
Lunghezza appoggi (m)	1L	2.30		Jump	6.46
Rincorsa	2 L	8.25	Durata della fase di spinta (s)	Hop	0.11
Velocità ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	1L	8.35		Step	0.15
Lunghezza dell'appoggio (m)	Hop	4.73		Jump	0.16
	Step	4.01	Durata della fase di volo (s)	Hop	0.48
	Jump	4.94		Step	0.39
Distanza relative (%)	Hop	34.6		Jump	0.65
	Step	29.3	Angolo di stacco (°)	Hop	19.2
	Jump	36.1		Step	14.9
Velocità orizzontale ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	Hop	7.88		Jump	27.5
	Step	7.35	Alterzza massima del C.C (m)	Hop	1.06
	Jump	5.89		Step	1.06
Perdita di velocità orizz. ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	Hop	-0.47		Jump	1.15
	Step	-0.53	Altezza minima del C.C (m)	Hop	0.90
	Jump	-1.46		Step	0.90
Velocità verticale (ms^{-1})	Hop	2.54		Jump	0.91



più lungo del penultimo appoggio ($L_2 = 2.30\text{m}$), cosa atipica. Di norma, le atlete praticanti salto triplo eseguono un ultimo appoggio della rincorsa più corto rispetto al penultimo. Una tendenza ad effettuare un ultimo appoggio più lungo, rispetto al penultimo, è stata rilevata anche in altre atlete di élite di salto triplo: Savigne (CUB), Smith (JAM), Lebedeva (RUS), Rahouli (ALG), Topic (YUG). La lunghezza dell'ultimo appoggio è correlata con la trasformazione della velocità orizzontale in velocità verticale, cosa che influenza l'altezza della traiettoria del centro di massa corporea (BCM) nella prima fase (HOP).

In base alle misure totali e relative delle singole fasi, il soggetto misurato è una tipica rappresentante della tecnica «Jump predominante» che enfatizza soprattutto l'ultima fase (JUMP). La misura del primo balzo (HOP) era di 4.73m (34.6%), del secondo (STEP) 4.01m (29.3%) e del terzo (JUMP) 4.94m (36.1%). Nel loro studio Kyrolainen et al. (2009) hanno mostrato che le proporzioni parziali tra i differenti balzi delle atlete ai Campionati Mondiali 2005 di Helsinki

erano di 36.2% : 29.4% : 34.5%. La tecnica «Hop predominante» è quella che si trova più frequentemente sia nei triplisti maschi e femmine. Le caratteristiche dei rappresentanti della tecnica «Hop predominante» è la grande velocità, che viene sviluppata nella rincorsa e nella prima azione di stacco. La caratteristica del soggetto misurato, Marija Šestak, è quella di avere un maggior potenziale di forza elastica rispetto alla velocità, che ha utilizzato per la maggior parte nel secondo e terzo balzo. Le misure parziali delle tre fasi e le loro proporzioni dipendono dalla strategia individuale dell'atleta. Le strategie motorie sono influenzate dalle caratteristiche morfologiche, dalla coordinazione, dalla percezione visiva e dall'abilità di controllare il movimento (Winter, 1990; Latash, 1994; McGinnis, 1999; Schmidh, R. & Lee, T., 1999).

Nel soggetto analizzato, le misure parziali delle singole fasi erano in forte correlazione con la durata delle fasi di spinta e di volo. La du-

rata della spinta nella fase HOP è stata di 0.11 secondi, e nella fase STEP 0.15 secondi nella fase JUMP 0.16 secondi. I tempi di spinta sono aumentati con la riduzione della velocità orizzontale del CM del corpo (**Figura 3**). L'atleta Marija Šestak si distacca leggermente dal modello dei tempi di spinta delle tripliste di élite (Kyrolainen et al., 2009) allo stacco e nella fase di volo del JUMP. Quest'ultima fase (JUMP) nella sua struttura cinematica è più simile al salto in lungo. Un contributo parziale della misura del JUMP alla misura complessiva è arrivato anche al 36.1%. Nell'ultima fase si può anche notare un valore alto dell'angolo di stacco (27.7°). Il valore è significativamente differente da alcuni studi precedenti (Panoutsakopoulos, Kollias, 2008; Kyrolainen et al., 2009; Mendoza et al., 2010). L'ampio angolo di stacco ha come risultato anche una traiettoria di volo alta del CM e si manifesta nella durata della fase di volo del JUMP (0.65s).

Senza dubbio, la velocità orizzon-

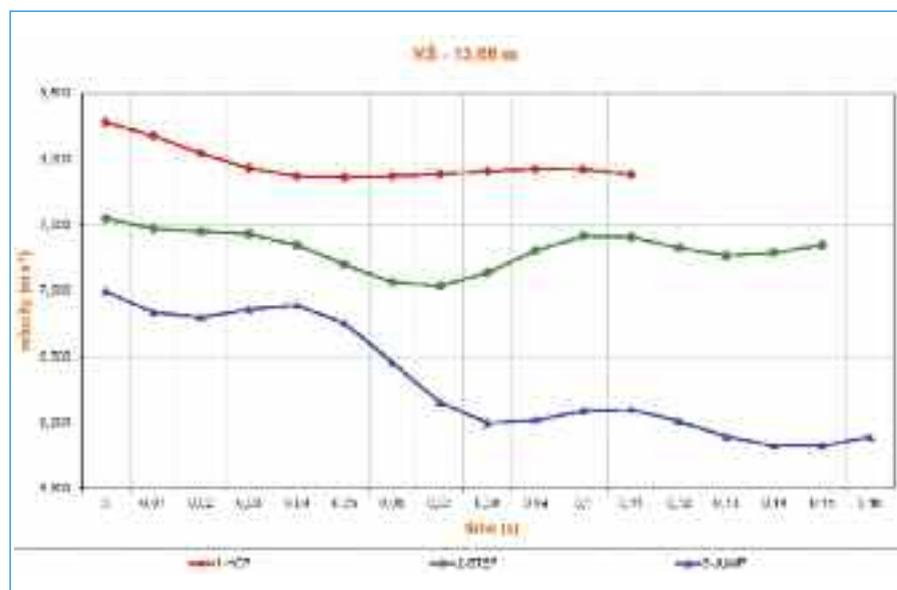


Figura 3: Velocità orizzontale del centro di massa corporea e durata delle fasi di Hop, Step e Jump - MŠ:13.68 m

tale nelle singole fasi di stacco è uno degli elementi più importanti che creano il successo agonistico in questa disciplina dell'atletica. Meno si riduce la velocità orizzontale, tanto più migliora il risultato finale. Il soggetto analizzato ha raggiunto la sua maggiore velocità orizzontale nell'ultimo appoggio (L1) 8.35ms^{-1} . Il calo della velocità orizzontale alla fine dell'azione di stacco nella fase HOP era di -0.47ms^{-1} ossia il 5.6%. Nella fase di stacco dello STEP la velocità orizzontale è diminuita del 7.3%. Nel JUMP, il calo della velocità orizzontale rispetto all'azione di stacco precedente è arrivato al 19.8%. La riduzione della velocità orizzontale è il risultato dell'azione che ha l'obiettivo di assicurare il vettore ottimale della velocità verticale (**Figura 4**). La velocità verticale è maggiore nello HOP e nel JUMP, prima e ultima fase del salto triplo, mentre la velocità verticale più bassa è stata registrata nella fase dello STEP (1.86ms^{-1}). La strategia di base del soggetto misurato è stata quella di mantenere quanto

più alta possibile la velocità orizzontale, cercando di conservare contemporaneamente la velocità verticale ottimale. La grandezza della velocità verticale è correlata con l'angolo di stacco, che è stato anche il più ampio nel primo e terzo balzo. Lo studio di Kyrolainen et al. (2009) ha mostrato i seguenti valori medi degli angoli di stacco delle finaliste ai Campionati del Mondo IAAF di Atletica, Helsinki 2005: HOP= 15.5° , STEP= 11.4° e JUMP= 21.4° . Facendo un confronto, i valori del soggetto analizzato nel presente studio sono risultati significativamente più alti. Il modello motorio del salto triplo nel soggetto analizzato ha messo in evidenza una maggiore altezza delle singole fasi, che è stata messa in relazione con la minore velocità orizzontale del soggetto. Le traiettorie di volo più basse sono di solito caratteristiche di saltatori, maschi e femmine, con una velocità di base maggiore (Hay, 1992; Kreyer, 1993; Panoutsakopoulos, Kollias, 2008). La velocità totale – velocità 3D del

CM corporea (V_{xyz}), sviluppata dal soggetto analizzato nelle singole fasi non evidenzia un calo così notevole, come nel caso della velocità orizzontale del CM corporeo. Il mantenimento della velocità totale è correlato con una velocità verticale maggiore nella fase di spinta. L'azione efficace di stacco è il risultato delle ottimali velocità orizzontali e verticali, che assicurano la lunghezza e l'altezza dell'intero salto.

Le azioni di stacco nel salto triplo sono le situazioni motorie più tipiche, in cui si richiede il rilascio di forza di reazione al suolo combinata con contrazioni muscolari eccentriche e concentriche. Dal punto di vista delle strategie e della struttura motoria, le azioni di stacco si differenziano sia per la durata che per i parametri cinematici e dinamici. In base alla durata della fase di spinta, il tempo più lungo di stacco è stato registrato nello stacco dell'HOP (0.12s) e quello più lungo nell'ultimo balzo (JUMP) (0.18s). Il ciclo eccentrico-concentrico nell'azione di stacco è il risultato dell'allungamento muscolare dovuto alla forza esterna e all'accorciamento muscolare nello STEP (SSC: ciclo allungamento-accorciamento, Komi e Gollhofer, 1997; Komi, 2000, Nicol et al. 2006). Nella fase eccentrica si immagazzina nel complesso muscolo tendineo una certa quantità di energia elastica, che può essere usata nella seconda fase. Una parte dell'energia elastica, che è stata accumulata in un muscolo, è disponibile solo per un periodo di tempo limitato. Questo tempo può essere definito come lo spazio di tempo dei ponti incrociati e dura tra 30 e 140 millesimi di secondo. (Cavagna, 1977; Enoka, 2003). Per quanto riguarda la produzione

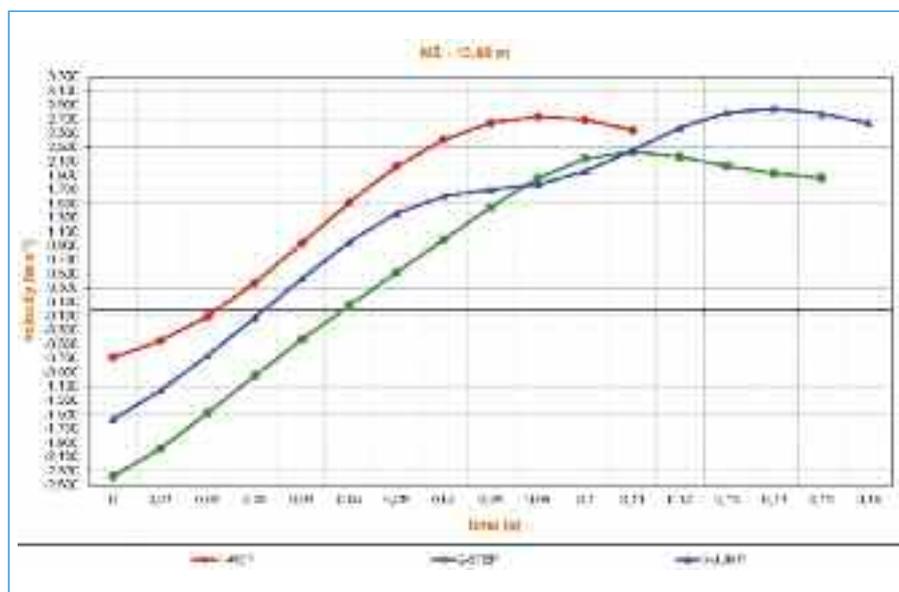


Figura 4: Velocità verticale del centro di massa corporea e durata delle fasi di Hop, Step e Jump - $M\dot{S}:13.68\text{ m}$

di forza è importante che il muscolo in contrazione eccentrica sviluppi quanta più forza possibile e consumi meno energia chimica rispetto alla contrazione concentrica (Komi e Gollhofer, 1997; Enoka, 1998; Enoka, 2003). Anche il tempo di innesco influenza l'efficienza della contrazione eccentrico-concentrica. Quanto più è lungo il tempo di innesco tra due tipi di contrazione, tanto meno efficace è la contrazione. La durata della trasformazione dalla contrazione eccentrica a quella concentrica è correlata con l'angolo di ammortizzazione del ginocchio della gamba di stacco (**Figura 5**). Si può notare una piccola oscillazione del CM corporeo nell'asse verticale nel soggetto analizzato, che evidenzia una scarsa ampiezza dell'angolo del ginocchio con l'ammortizzazione massimale nell'azione di stacco. La variazione dell'altezza del CM nelle prime due fasi è 16cm, mentre la differenza tra il punto più alto e quello più basso del CM nello stacco del JUMP è di 24cm nell'asse verticale. Oltre alla grandezza e alla velocità di cambiamento della lunghezza muscolare e alla durata dell'innesco, anche la pre-attivazione è molto importante per l'efficienza della contrazione eccentrica-concentrica (Gollhofer, Kyrolainen, 1991; Komi, 2000; Enoka, 2003). La pre-attivazione determina il primo contatto del piede con la superficie. Il soggetto analizzato Marija Šestak ha posizionato il piede in maniera estremamente attiva verso il basso-indietro. La pre-attivazione prepara adeguatamente i muscoli per l'estensione e si manifesta nel numero di ponti incrociati e il cambiamento dell'eccitazione dei moto-neuroni. Entrambi i fattori in-

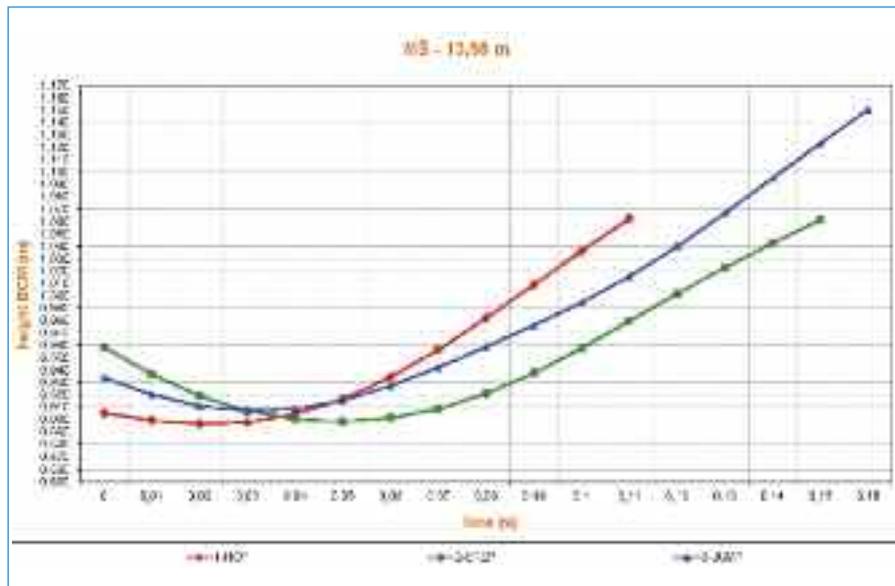


Figura 5: Altezza del centro di massa (BCM) e durata delle fasi di spinta-MS: 13.68 m

fluenzano una maggiore stiffness "short range". Se la stiffness short range è maggiore, l'allungamento dei legamenti e dei tendini è più pronunciato, il che ha come risultato un minore consumo di energia chimica nel muscolo. Il consumo minore di energia chimica è particolarmente importante in quelle situazioni motorie in cui un particolare movimento deve essere effettuato con una grande velocità, e il salto triplo è uno degli esempi più tipici di tale movimento.

Conclusioni

Il salto triplo è disciplina particolarmente complessa dell'atletica leggera, in cui il risultato dipende dal potenziale di velocità, forza e di tecnica di un atleta. Il presente studio ha esaminato il modello cinematico del salto triplo nell'atleta di élite allo scopo di trovare quei parametri chiave che generano il risultato agonistico. Sono state usate le tecnologie e la metodologia più moderne, fornendo dati estremamente precisi. Si possono

presentare i seguenti risultati sulla base dell'analisi cinematica 3-D: il risultato nel salto triplo dipende dall'efficacia di trasformazione della rincorsa in velocità di stacco nello HOP; nella struttura motoria della rincorsa l'ultimo appoggio è più lungo del penultimo; l'atleta ha raggiunto la velocità orizzontale massimale nell'ultimo appoggio; le proporzioni tra le misure parziali dei balzi del salto (hop-step-jump) dipendono dalle singole caratteristiche biomotorie; un fattore cruciale è il mantenimento della velocità orizzontale del CM nelle fasi dello HOP, STEP e JUMP; la velocità orizzontale del CM è correlata con la durata della fase di spinta dell'azione di stacco; la proporzione tra la durata globale delle fasi di spinta e di volo è stata del 28 %: 72 %; le misure parziali dei balzi del salto triplo dipendono dalla durata delle fasi di spinta, e dalla proporzione ottimale tra la velocità orizzontale e

verticale delle azioni di stacco. Sebbene i risultati dello studio non possano essere generalizzati, forniscono informazioni che risultano importanti per la programmazione ed il controllo dell'allenamento tecnico, come anche per la pratica sportiva e la scienza dello sport nell'ambito della biomeccanica. La comprensione dei principi e dei meccanismi biomeccanici faciliterà lo sviluppo di metodi e risorse adatte all'allenamento del salto triplo.



Note Bibliografiche

- Cavagna, G. (1977). Storage and utilization of elastic energy in skeletal muscle. *Exercise and Sport Science Reviews*, 5, 89-129.
- Conrad, A. & Ritzdorf, W. (1990). Scientific Research Project at the Games of the XXIVth Olympiad – Seoul 1988: final report. International Athletic Foundation, *International Amateur Athletic Federation*.
- Enoka, R. (1998). *Neuromechanical Basic of Kinesiology. Champaign IL: Human Kinetics*
- Enoka, R. (2003). *Neuromechanics of human movement. Human Kinetics, Champaign, IL.*
- Gollhofer R, 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.
- Grahman-Smith, P. & Lees, A. (1994). British triple jumpers 1993: approach speeds, phase distances and phase ratios. *Athletic Coach*, 28, 5-12
- Hay, G. & Miller, J. (1985). Techniques used in the triple jump. *International Journal of Sport Biomechanics*, 1, 185-196.
- Hay, J. (1992) The biomechanics of the triple jump: a review. *Journal of Sport Science*, 10 (4), 343-378.
- Jurgens, A. (1996). Biomechanical investigation of the transition between the hop and step. *New Studies in Athletics*, 4, 29-39.
- Komi, P. & Gollhofer (1997). Stretch reflexes can have an important role in force enhancement SSC exercise. *Journal of Applied Biomechanics*, 13, 451-460.
- Komi, P. (2000). Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *Journal Of Biomechanics*, 33(10), 1197-2006.
- Kyrolainen, H.; Komi, P.; Virravirta, M. & Isolehto, J. (2009) Biomechanical Analysis of the Triple Jump. *New Studies in Athletics (supplement)*, 57-64.
- Kreyer, V. (1993). About the female triple jump. *Modern Athlete and Coach*, 31, 13-17.
- Mc Ginnis, P. (1999). Biomechanics of Sport and Exercise. *Human Kinetics, Champaign, IL.*
- Latash, M.. (1994). Control of Human movement. *Human Kinetics. Publishers. Champaign, Illinois*
- Mendoza, L. & Nixdorf, E. (2010). *Scientific Research Project Biomechanical Analysis at the Berlin 2009* ([http:// www.osp-hessen.de](http://www.osp-hessen.de))
- Miladinov, O. & Bonov, P. (2004). Individual approach in improving the technique of triple jump for women. *New Studies in Athletics*, 4, 27-36.
- Nicol, C., Avela, J. & Komi. P. (2006). The Stretch-Shortening Cycle. *Sports Medicine*. 36 (11), 977-999.
- Panoutsakopoulos, V. & Kollias, I. (2008). Essential parameters in female triple jump technique. *New Studies in Athletics*, 4, 53-61.
- Winter, D. (1990) *Biomechanical and motor control of human movement* (2nd edition). Toronto: John Willey & Sons Inc.
- Yu, B. & Hay, G. (1996). Optimum phase ratio in the triple jump. *Journal of Biomechanics*, 29, 1283-1289.