

Aspetti biodinamici dello sviluppo della velocità massimale

Review di lavoro scientifico

Milan Čoh¹, Mitja Bračić¹, Vesna Babić²,
Marko Aleksandrović³

¹Facoltà dello Sport, Università di Ljubljana, Slovenia

²Facoltà di Kinesiologia, Università di Zagabria, Croazia

³Facoltà di Educazione Fisica e Sport, Università di Nis, Serbia

Introduzione

La velocità massimale è il risultato della frequenza e della lunghezza del passo. Entrambi i parametri sono reciprocamente dipendenti; sono anche legati ai processi di regolazione centrale del movimento, alle caratteristiche morfologiche, alle capacità biomotorie ed ai processi energetici. La relazione tra la frequenza e la lunghezza del passo è definita ed automatizzata in maniera individuale. Cambiando uno dei parametri si ha il risultato di cambiare anche il secondo parametro. Quando viene aumentata la lunghezza dell'appoggio, la frequenza diminuisce e viceversa.

La velocità massimale, che le persone producono in movimento, dipende da vari fattori. Questi fattori sono correlati alle caratteristiche morfologiche e fisiologiche, ai meccanismi energetici, all'età, al genere, alle capacità biomotorie, alla coordinazione inter- e intra-muscolare e alla tecnica ottimale biomeccanica di movimento. La velocità locomotoria nella forma di corsa di velocità è una delle più importanti capacità, che determina la possibilità di successo degli atleti in molte discipline sportive. In base alle caratteristiche del programma genetico (ereditario) motorio, la velocità può essere inserita nella categoria dei movimenti umani primari filogenetici. In situazioni sportive specifiche, la velocità si manifesta sotto forma di "modello a tre segmenti".



Il modello è composto da velocità, forza e coordinazione. Dare un peso ai singoli segmenti di questo modello dipende dalle peculiarità della specifica disciplina sportiva.

Aspetti neuromuscolari della velocità

L'azione di spinta nell'appoggio dello sprint è un fattore chiave per la generazione di forza massimale. Il movimento degli sprinter viene valutato in base alla loro velocità orizzontale. Il maggiore inibitore in questo movimento è la forza gravitazionale; quindi gli sprinter hanno bisogno, come aspetto più importante, di sviluppare in maniera adeguata una grande forza di reazione verticale sulla superficie durante l'azione di spinta, che è anch'essa composta da tre fasi. La prima fase è il posizionamento del piede sulla superficie, seguita dalla fase di ammortizzazione e dalla fase di estensione. L'azione di spinta nell'appoggio dello sprinter è il miglior esempio di ciclo muscolare eccentrico-concentrico (ci-

clo allungamento-accorciamento). Nella fase eccentrica una certa quantità di energia elastica viene accumulata nel complesso tendine-muscolo, che può poi essere utilizzata nella seconda fase. Quando si cerca di produrre la forza di reazione al suolo, i muscoli nella fase eccentrica hanno bisogno di sviluppare una forza quanto più ampia possibile nel minor tempo possibile. Il tempo di transizione deve essere il più breve possibile e ha un importante effetto sull'efficienza della contrazione eccentrico-concentrica. Tendini e legamenti, che resistono all'estensione, possono immagazzinare fino al 100 % in più di energia elastica rispetto ai muscoli (Luhtanen, Komi, 1980; Mero, Komi, Gregor, 1992). La preattivazione del gastrocnemio (muscolo del polpaccio) è estremamente importante per il meccanismo di spinta; questo muscolo viene attivato 80 millisecondi prima che il piede tocchi la superficie (vedere la Figura 1). La preattivazione crea una stiffness dei flessori plantari (muscoli), nel momento in cui la parte anteriore del piede tocca la superficie. La stiffness muscolare, incrementata insieme all'ampiezza minima del movimento nell'articolazione della caviglia, permette di trasferire meglio l'energia elastica da contrazione eccentrica a concentrica (Kyrolainen et al., 2001; Mero et al., 2006). Quando i tendini sono sotto sforzo nello sprint, si allungano fino al 3-4% in più della loro lunghezza, dato che l'allungamento, oltre questo limite, rappresenta un pericolo potenziale di rottura. I tendini ed i legamenti agiscono come molle, che immagazzinano l'energia elastica. L'allungamento eccessivo dei tendini ha come risultato la trasformazione di energia elastica in calore, cioè in energia chimica. L'alta temperatura delle cellule – fibroblasti e molecole di collagene, che costruiscono il materiale tendineo, potrebbe facilitare l'insorgenza di infortuni in questa parte dell'apparato locomotorio (Huijing, 1999).

Nella seconda fase si verifica un'estensione del complesso muscolo-tendine, mentre l'energia elastica precedentemente immagazzinata viene utilizzata sotto forma di propulsione efficiente degli appoggi del velocista. Il muscolo che assorbe maggiormente energia in questa fase è il quadricipite (muscolo della coscia). La maggiore coattivazione degli agonisti e degli antagonisti (vasto laterale, bicipite femorale, gastrocnemio e tibiale) incrementa la

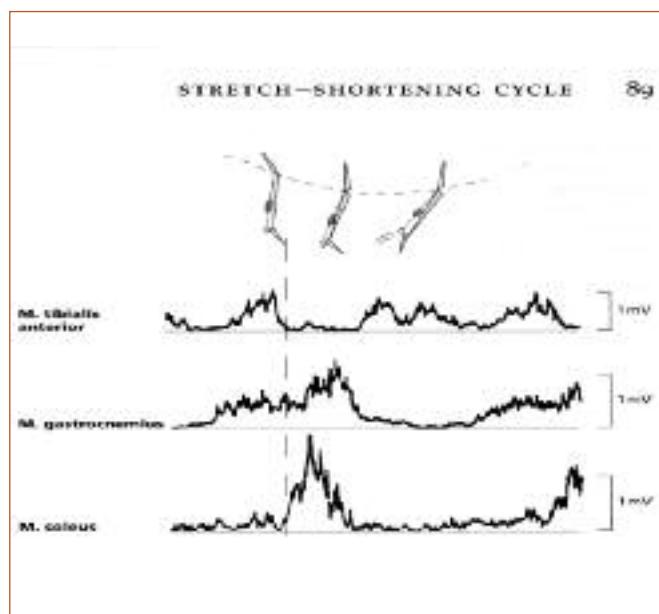


Figura 1: Ciclo di allungamento – accorciamento nell'appoggio dello sprinter (Komi, 2000)

stiffness dell'articolazione ginocchio-caviglia. In questo modo, l'intera gamba viene preparata per il contatto con la superficie. La maggiore stiffness dell'articolazione della caviglia nello sprint riduce il consumo dell'energia chimica nei seguenti muscoli: gastrocnemio – vasto laterale – mediale e soleo (Kuitunen, Komi e Kyrolainen, 2002). L'attivazione muscolare dei flessori plantari e degli estensori del ginocchio aumenta nella fase di pre-attivazione in proporzione all'incremento della velocità. Inoltre, la preattivazione del tricipite surale insieme al riflesso dell'allungamento facilita alti gradi di stiffness dei muscoli nella fase di estensione di spinta.

L'estensione del complesso muscolo e tendine viene gestita e coordinata attraverso due riflessi motori: riflesso di allungamento monosinaptico e riflesso polisinaptico degli organi tendinei del Golgi. Questi due sistemi di riflesso formano un binomio ricorrente che permette di mantenersi vicini all'allungamento ottimale (reazione allo stretching) e alla reazione ad un allungamento eccessivo dei tendini. I recettori del riflesso di allungamento – i fusi muscolari – sono posizionati parallelamente alle fibre muscolari. Quando i muscoli vengono estesi sotto l'azione di una forza esterna, si estendono anche i fusi muscolari. In seguito all'estensione dei fusi muscolari, si attivano i motoneuroni alfa, che a loro volta attivano la contrazione di riflesso dei muscoli allungati, come reazione all'allungamento. Gli organi

tendinei del Golgi si posizionano in maniera seriale, come le fibre muscolari. Questi recettori reagiscono esclusivamente alle forze, che si stanno sviluppando nei muscoli e non reagiscono ai cambiamenti nella lunghezza. Se lo sforzo muscolare aumenta rapidamente, il complesso tendineo del Golgi ostacola la contrazione muscolare. Il calo successivo di sforzo muscolare previene gli infortuni ai muscoli e ai tendini (Jacobs, Ingen Schenau, 1992; Zatsiorsky, Kraemer 2009). Nella fase, in cui il piede prende contatto con il suolo e nella fase di ammortizzazione, gli estensori si allungano e producono contrazione negli stessi muscoli in seguito al riflesso di allungamento. Nello stesso tempo lo sforzo dei grandi muscoli attiva gli organi tendinei del Golgi, che ostacolano l'attività dei muscoli. Attraverso l'allenamento specifico, l'attivazione degli organi tendinei del Golgi viene inibita e quindi gli atleti riescono a sopportare grandi forze, quando entrano in contatto con il suolo, senza ridurre la forza prodotta dai muscoli. Essendo una contrazione muscolare reversibile, essa rappresenta una parte fondamentale in molti movimenti sportivi, e quindi è necessario allenarsi ed essere istruiti in maniera specifica. L'allenamento con salti-balzi con contrazione reversibile oggi è diventato parte integrale dell'allenamento di velocità negli sportivi. I balzi, chiamati pliometrici, e l'allenamento pliometrico producono risultati di alto livello nello sviluppo della forza di spinta. Affinché questo tipo di allenamento abbia successo, è necessaria una preparazione generale a lungo termine con altri mezzi e metodi di allenamento della forza. D'altro canto, i balzi pliometrici possono causare gravi infortuni negli atleti.

Il tempo che intercorre dal momento in cui il piede tocca il suolo fino alla fine della spinta nell'appoggio degli sprinter dura tra gli 80 e i 100 millisecondi. Il tempo di contatto cumulativo è più breve nei migliori sprinter e più lungo nei velocisti meno forti. Quanto più è breve il tempo di contatto, tanto più è alta la frequenza e maggiore la forza al suolo. La relazione tra la fase di contatto e la fase di volo negli appoggi degli sprinter va da 20 a 80. La maggiore forza di reazione al suolo viene registrata circa 30-40 millisecondi dopo il primo contatto con la superficie (Mann, Sprague, 1980). Secondo Mero, Komi e Gregor (1992), la forza di reazione verticale al suolo negli sprinter raggiunge dal 200% al 300% del proprio peso corporeo. La maggiore forza di reazione al suolo negli sprinter si sviluppa nel-

la fase intermedia del contatto – la fase dell'ammortizzazione massimale (vedere Figura 2). Allo scopo di sviluppare la velocità locomotoria massimale, è necessario sviluppare la massima forza possibile nel tempo più breve possibile. Padroneggiare i meccanismi ottimali (tecnica) della corsa di velocità è una condizione per l'utilizzazione della forza, che viene generata dal sistema neuromuscolare.

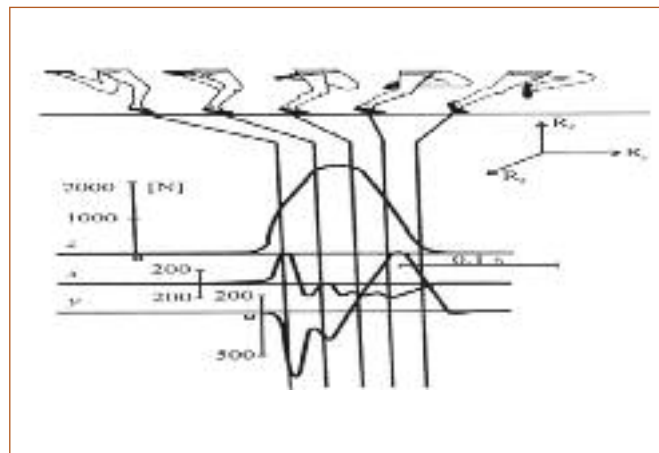


Figura 2: Sviluppo della forza reattiva al suolo (z, y, x) nella fase di contatto degli appoggi degli sprinter (Payne, 1993)

Dinamica dello sviluppo della velocità

Lo sviluppo della velocità massimale segue certe regole, che sono basate sul livello delle abilità biomotorie, delle caratteristiche morfologiche e sul grado dell'efficienza biomeccanica e razionalizzazione del movimento. Nello sviluppo della velocità locomotoria ci sono tre fasi di base: fase dell'inizio dell'accelerazione, fase della velocità massimale e fase di decelerazione. I parametri che generano in misura maggiore il cambiamento di velocità sono la lunghezza e la frequenza dell'appoggio. Nella prima fase un atleta sviluppa l'80-90% della sua velocità massimale. Tra i 50 e gli 80 metri gli sprinter generalmente raggiungono la loro velocità massimale. Dopo gli 80-90 metri la velocità comincia a calare.

Durante l'accelerazione di partenza aumentano sia la frequenza che la lunghezza dell'appoggio. La durata del contatto nell'appoggio degli sprinter si abbrevia e il tempo di volo aumenta. Con una durata più breve del contatto anche il tipo di forza cambia. Cioè, durante l'accelerazione iniziale, in cui la durata del contatto è relativamente lunga, la capacità

biomotoria più importante è la forza nella sua modalità concentrica. Nelle fasi successive della corsa di sprint la durata del contatto è più breve e l'importanza dell'energia elastica aumenta in maniera significativa (Figura 3)

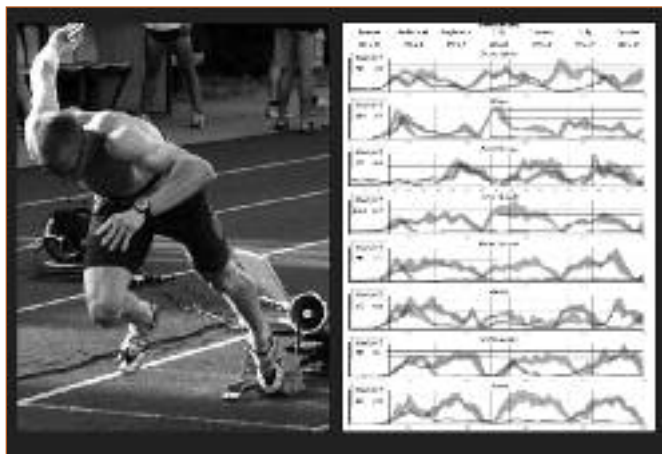


Figura 3: Fase di accelerazione e attività muscolare EMG

Nella fase della velocità massima sia la frequenza che la lunghezza dell'appoggio sono relativamente costanti, la proporzione tra le fasi di contatto e volo si stabilizza. La zona in cui gli sprinter raggiungono la massima velocità è molto limitata. Come principio i migliori velocisti riescono a realizzare questa capacità per una distanza massima da 10 a 20 metri. La zona di massima velocità è situata tra i 60 e gli 80 metri negli uomini e tra 50 e 70 metri nelle donne di élite. La velocità massima è sempre il risultato del rapporto ottimale tra lunghezza e frequenza del passo. Gli autori Donati (1996) e Mackala (2007) affermano che non ci sono differenze nella lunghezza di appoggio tra velocisti di élite e di "sub-élite", ci sono differenze solo nella frequenza di appoggio. Quindi, la frequenza dell'appoggio è uno dei più importanti parametri dell'appoggio nella velocità massima (Mero, Komi e Gregor, 1992; Delecluse et al., 1995; Donatti, 1996). Nell'ultima fase della corsa di velocità, tra gli 80 e i 100 metri, la velocità comincia a diminuire nella misura di 0.5-1.5 metri al secondo. La decelerazione è causata dalla fatica centrale e periferica dello sprinter. La fatica centrale si manifesta come un errore nell'attivazione muscolare, il che significa che il numero di unità motorie attive e la

frequenza degli impulsi neuro-muscolari decrescono. Questo ha come risultato un minor grado di coordinazione inter- e intra-muscolare, che può eventualmente manifestarsi in un calo della frequenza degli appoggi, in particolare negli ultimi 10 metri della corsa di 100 metri. La fatica centrale è correlata con la minore attività dei centri corticali e sub-corticali (Semmler, Enoka, 2000). La maggiore fatica alla fine dei 100 metri è causata anche dai nervi periferici e dai processi metabolici muscolari. Negli ultimi 10 metri la durata del contatto e la lunghezza dell'appoggio aumentano. Il controllo del movimento durante questa fase è al livello più basso. Questo dipende per la maggior parte dalla qualità degli sprinter, poiché il peggioramento di questi parametri è più basso negli sprinter migliori rispetto ai corridori di medio livello.

La coordinazione intra- e intermuscolare dello sviluppo della velocità

Allo scopo di comprendere la dinamica ed i cambiamenti della frequenza e lunghezza del passo nella realizzazione della velocità massima, è necessario chiarire la funzione del sistema nervoso centrale. La forza muscolare non è definita solo dalla quantità di massa muscolare interessata, ma anche dal grado di partecipazione delle fibre muscolari individuali. Per esprimere forza muscolare, i muscoli hanno bisogno di essere attivati in un certo modo. Il movimento coordinato di parecchi gruppi muscolari dipende dalla coordinazione intermuscolare. Le caratteristiche di base degli sprinter di élite è rappresentata da una coordinazione efficiente delle fibre attivate nei singoli muscoli dei gruppi muscolari. Questi sprinter hanno una migliore coordinazione inter- e intra-muscolare. Il sistema neurale genera la forza muscolare in tre modi: con l'attivazione e la disattivazione delle unità motorie individuali, con la frequenza di attivazione delle unità motorie e con la sincronizzazione delle unità motorie. Tutti e tre i modi si basano sulle unità motorie, che rappresentano gli elementi di base nel funzionamento del sistema neuro-muscolare. Ogni unità motoria è costituita dal motoneurone, che è situato nel midollo spinale, e dalle fibre muscolari, che vengono innervate. Dal punto di vista delle caratteristiche di contrazione, le unità motorie pos-

sono essere divise in unità motorie lente e veloci. Le unità motorie lente sono specializzate in un uso esteso ad una velocità relativamente lenta. Esse sono costituite da piccoli motoneuroni con una bassa soglia di attivazione e sono adatte alle attività aerobiche. Le unità muscolari veloci o motorie sono specializzate nelle attività di una certa durata ma relativamente brevi, che richiedono l'espressione di un'ampia forza, velocità e di un alto grado di sviluppo della forza. Esse sono costituite da ampi motoneuroni con un'alta soglia di attivazione, assini con un'alta velocità di implementazione e da fibre muscolari, che sono adatte ad attività anaerobiche di potenza. Le unità motorie seguono la legge del "tutto o niente", il che significa che tutte le unità motorie in qualsiasi momento o sono attive o sono inattive. Le fibre veloci hanno una velocità di accorciamento anche di quattro volte maggiore rispetto a quella delle fibre muscolari lente (Zatsiorsky, Kraemer, 2009). I muscoli umani in generale sono costituiti da unità motorie con un'azione lenta o veloce. Gli sprinter e gli atleti, a cui viene richiesto di sviluppare un'alta velocità o forza in un'unità di tempo, possiedono in maniera predominante unità motorie con fibre veloci.

Nelle contrazioni volontarie, l'attivazione delle fibre muscolari dipende dalla dimensione dei motoneuroni, in cui si applica il "principio di dimensione". Come prima cosa, i motoneuroni piccoli si attivano con una bassa soglia di eccitabilità. Con una richiesta crescente di espressione di forza, si reclutano motoneuroni più grandi con fibre contrattili più veloci e una soglia di eccitabilità più alta. I tipi di fibre misti sono costituiti da unità motorie con attivazione lenta e veloce, che non sono condizionate dal grado di sforzo muscolare e dalla velocità che viene espressa. Solo atleti molto allenati riescono ad attivare le unità motorie con attivazione veloce. La realizzazione della velocità massima locomotoria è associata all'alta coordinazione di movimento. In un ciclo di appoggio degli sprinter, ci sono più di 60 muscoli attivi della parte inferiore della gamba, che devono lavorare in una maniera sincronizzata e coordinata. Eseguendo movimenti precisi, le unità motorie di solito non lavorano nello stesso tempo. Per produrre forza massima, che è uno dei fattori chiave della velocità massima, si deve reclutare una maggiore quantità di unità motorie len-

te e veloci, ed anche raggiungere la frequenza massima di attivazione e realizzare un lavoro simultaneo delle unità motorie nel periodo di sforzo massimale volontario. L'obiettivo primario nell'allenamento di velocità è la creazione di un modello ottimale di movimento, che è basato sulla coordinazione del lavoro dei gruppi muscolari.

Controllare la velocità massima

La velocità è una capacità molto rigida con un programma fortemente prefissato nel sistema nervoso centrale. La carenza di coordinazione neuro-muscolare è uno dei fattori limitanti della velocità poiché la possibilità di controllo ottimale del movimento cala con l'aumento della velocità di movimento. Quanto più è alta la velocità, tanto più è alta la deviazione dal modello ideale di movimento. Il controllo del movimento è al livello più basso proprio in condizioni di massima velocità. La velocità massima appartiene alla categoria dei cosiddetti movimenti terminali, che hanno una struttura ben precisa con un inizio ed una fine del movimento ben definiti (Latash, 1994). I movimenti terminali differiscono in base alla loro dinamica e ai volumi cinematici. Ogni movimento terminale ha bisogno del suo programma motorio specifico. Il programma motorio è definito come un gruppo di comandi simultanei e successivi indirizzati ai muscoli allo scopo di iniziare e poi terminare il movimento desiderato. A livello del sistema nervoso centrale e del midollo spinale, il programma motorio è rappresentato con un gruppo di segnali efferenti, che passano attraverso i nervi motori fino ai muscoli. È risaputo che un gran numero di movimenti veloci differenti è controllato come un processo "open loop" con un programma memorizzato a livello centrale e senza alcuna informazione di feedback (Schmidt, 1990). Le funzioni più importanti in questi movimenti sono ad opera del cervelletto e del midollo spinale. L'alta velocità di movimento non permette alcuna analisi o correzione di movimento. Il controllo preciso del movimento avviene prima nel lavoro del cervelletto e fa affidamento sulle informazioni, che arrivano per la maggior parte via proprio-recettori, che sono situati nelle articolazioni e nei tessuti connettivi dei muscoli. I riflessi spinali da parte del complesso muscolo-tendine nella zona del midollo spinale hanno un ruolo importante nel controllo del movimento. Qualsiasi cambiamento nella lunghezza e nella ten-

sione dei muscoli viene trasferito attraverso il riflesso di allungamento. Il riflesso di allungamento ha la funzione di servo-meccanismo, che rinforza l'effetto eccitante sui motoneuroni alfa, incrementando quindi la precisione del controllo del lavoro del gruppo muscolare.

Uno dei problemi più importanti nel controllo motorio è il ruolo dei muscoli agonisti e antagonisti ed il loro effetto diretto sulla cinematica e la dinamica del movimento attraverso tipo, intensità e sequenza di tempi appropriati dell'effetto della forza muscolare. Nei movimenti terminali veloci, come lo sprint, lo sviluppo della forza è un fattore chiave dell'efficacia del movimento. Le variabili del programma motorio sono la forza dei muscoli agonisti, la forza massima degli antagonisti, il tempo ritardato dei muscoli antagonisti, il tempo di raggiungimento della forza massima da parte dei muscoli antagonisti, il rapporto di co-attivazione dei muscoli in funzione del loro posto nella catena cinetica, la lunghezza del movimento, la posizione finale, la posizione di partenza, la durata del movimento e la velocità del movimento (Ilic, 1999). Lo sviluppo della velocità massima richiede una coordinazione inter-muscolare molto fine dei gruppi muscolari degli arti inferiori. I più importanti sono i muscoli seguenti: grande gluteo, tibiale anteriore, soleo, gastrocnemio, retto femorale, bicipite femorale, vasto laterale (vedere la Figura 4). L'identificazione dei muscoli strategici, che generano la forza di spinta, è molto importante dal punto di vista dell'allenamento sportivo allo scopo di ottimizzare la tecnica ed evitare qualsiasi infortunio.

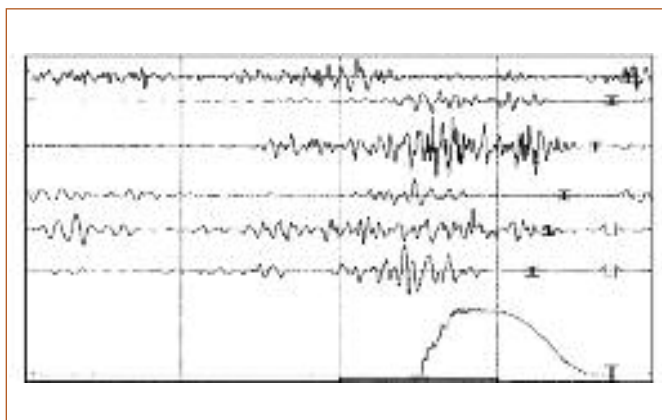


Figura 4: attivazione EMG dei muscoli degli arti inferiori nella fase di velocità massima (Dolenec, Čoh, 2002)

Nella fase di spinta i muscoli sviluppano la forza di reazione con una magnitudo di 280 a 350 kp in un intervallo di tempo di 85 – 95 millisecondi (Luh-tanen, Komi 1980; oh, 2002). Alcuni studi nel campo dell'elettromiografia ed isocinetica degli appoggi dello sprinter hanno rivelato che il bicipite femorale (muscolo della coscia) è uno dei muscoli più importanti nello sviluppo della velocità massima (Mero et. al., 1986; Zatsiorsky, 2000; Komi, 2000). Questo muscolo spesso subisce infortuni durante l'allenamento di sprint, perciò è molto importante fare un lavoro preventivo con un allenamento adeguato. L'allenamento della velocità massima, in relazione alla preparazione fisica degli atleti, è collegato alla tecnica di corsa, che è particolarmente difficile da controllare in condizioni di velocità massima. La coordinazione neuromuscolare ottimale è il fattore limitante principale della velocità massima. Quindi, la formazione del corretto modello dinamico è un processo a lungo termine, che deve definire in maniera precisa la tecnica e deve iniziare in età precoce dell'atleta.



Bibliografia

1. Čoh, M. (ur.). (2008). *Biomechanical Diagnostic Methods in Athletic Training*, Institute of Kinesiology, Faculty of Sport, Ljubljana.
2. Čoh, M. (2002). *Application of biomechanics in track and field*. Faculty of Sport, Institute of Kinesiology, Ljubljana
3. Delecluse, C., Van Coppenolle, H., Willems, E., Van Leemputte, M., Diels, R., & Goris, M. (1995). Influence of high resistance and high velocity training on sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(8), 1203-1209.
4. Donati, A. (1996). Development of stride length and stride frequency in sprint performances. *New Studies in Athletics*, 34(1), 3-8.
5. Hay, J. (1993). *The biomechanics of sports techniques* (4 ed.): Prentice Hall.
6. Huiling, P. (1999). *Elastic potential of muscle*. V: Strength and power in sport. Ured.: Komi, P.V. 1999. The encyclopaedia of sport medicine. Blackwell science.
7. Ili, D. (1999). Motorna kontrola i u enje brzih pokreta. Zadužbina Andrejevi, Beograd.
8. Jacobs, R. & Ingen Schenau, G. (1992). *Intermuscular Coordination in a Sprint Push-Off*. *Journal of Biomechanics*, 25 (9), 953-965.
9. Komi, P. (2000). Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigue muscle. *Journal of Biomechanics*, 33 (10), 1197-2006.
10. Kuitunen, S., Komi, P. & Kyrolainen, H. (2002). Knee and ankle joint stiffness in sprint running. *Medicine & Science in sport & exercise*, 34 (1), 166 - 173.
11. Kyrolainen, H., Belli, A., & Komi, P. (2001). Biomechanical factors affecting running economy. *Medicine & Science in sport & exercise*, 8, 1330-1337.
12. Latash, M. (1994). *Control of Human movement*. Human Kinetics. Publishers. Champaign, Illinois
13. Luhtanen, P., & Komi, P. (1980). Force-, power – and elasticity relationship in walking, running and jumping. *European Journal of Applied Physiology* 44 (3): 279-289.
14. Mackala, K. (2007). *Optimisation of performance through kinematic analysis of the different phases of the 100 meters*. IAAF, 22 (2), 7-16
15. Mann, R., & Sprague, P. (1980). A kinetic analysis of ground leg during sprint running. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 51, 334-348.
16. Mero, A., Komi, P., & Gregor, R. (1992). Biomechanics of sprinting running. *Sport medicine* 13 (6): 376-392.
17. Mero, A., Luhtanen, P., & Komi, P. (1986). Segmental contribution to velocity of centre of gravity during contact at different speeds in male and female sprinters. *Journal of Human Movement Studies*, 12, pp. 215-235.
18. Semmler, J., & Enoka, R. (2000). *Neural contributions to the changes in muscle strength*. V. Zatsiorsky (Ur.), Biomechanics in sport: The scientific basis of performance, (3-20), Oxford: Blackwell Science.
19. Schmidt, R., (1990). *Motor control and learning*. Human Kinetics Publishers. Champaign, Illinois.
20. Zatsiorsky V. (1995). *Science and practice of strength training*. Human Kinetics, Champaign.
21. Zatsiorsky, V. (ur.). (2000). *Biomechanics in sport: performance enhancement and injury prevention*. Oxford: Blackwell Scientific.
22. Zatsiorsky, V., Kraemer, W. (2009). *Nauka i praksa u treningu snage*. Data status, Beograd.

L'atleta della figura 3 è
Matic Osovnikar (SLO) – 11th World Championships
2007 Osaka-sprint 100m 7th place
(10.14 s)