

Caratteristiche cinematiche, dinamiche e elettromiografiche del salto con contromovimento e del drop-jump

Milan Čoh¹, Milovan Bratić², Marko Aleksandrović²

¹ Facoltà di Sport, Università di Lubiana, Lubiana, Slovenia

² Facoltà di Sport ed Educazione Fisica, Università di Niš, Serbi

Introduzione

In molte discipline sportive la forza è la maggiore capacità biomotoria usata nella previsione dei risultati. In qualche misura, anche altre capacità biomotorie sono associate alla forza. Non bisogna quindi meravigliarsi del fatto che molti studi chinesiológicos si occupino dell'argomento della forza, analizzando la sua struttura, la metodologia dell'allenamento, l'applicazione di nuovi metodi e le procedure diagnostiche. Nella moderna chinesiológica, la forza è senza dubbio una delle capacità studiate nella maniera più meticolosa, anche se molte questioni in questo campo restano senza risposta. La classificazione della forza è basata su differenti criteri. Seguendo il criterio di azione, alcuni autori (Luhtanen & Komi, 1980; Buhle et al., 1983; Bosco et al., 1992) distinguono tra picco di poten-

za, forza esplosiva e forza resistente. Un altro criterio è quello dell'attività neuromuscolare, in cui la forza si manifesta sotto forma di contrazione isometrica o anche concentrica, eccentrica o eccentrico-concentrica. La contrazione isometrica quando la forza muscolare è uguale alla forza esterna, per questo motivo non c'è movimento tra i due estremi del muscolo. La contrazione eccentrica avviene quando il carico esterno è maggiore della forza dei muscoli attivati. Nelle situazioni motorie reali, una contrazione eccentrico-concentrica è il tipo più comune e si manifesta allo stacco. La forza esercitata nello stacco è un tipo speciale di forza esplosiva in condizioni eccentrico-concentriche ed è quella più frequente nelle strutture di movimento ciclico, aciclico e combinato. La sua caratteristica principale è l'utilizzazione dell'energia elastica nel ciclo eccentrico-

co-concentrico di una contrazione muscolare. Il contributo delle proprietà elastiche dell'insieme muscolo-tendineo dipende dalla velocità del passaggio dalla contrazione eccentrica a quella concentrica. La transizione deve essere quanto più veloce possibile e non dovrebbe essere superiore ai 260 millisecondi.

Meccanismi neuromuscolari della forza esplosiva

Le strutture di movimento che si producono nelle specifiche situazioni sportive sono associate ai differenti input di contrazioni muscolari eccentriche e concentriche. Spesso lo scopo dell'allenamento è quello di modificare la contrazione muscolare eccentrica, tenendo conto delle caratteristiche neurologiche. Una buona comprensione del ruolo della contrazione muscola-



re eccentrica nelle attività sportive facilita l'adattamento attraverso l'applicazione di appositi mezzi di allenamento. Il ciclo eccentrico-concentrico consiste nell'allungamento muscolare, creato da una forza esterna e dal successivo accorciamento muscolare nella seconda fase, quindi un ciclo allungamento-accorciamento (SSC) (Komi & Gollhofer, 1997). Nella fase eccentrica, si accumula una quantità limitata di energia elastica nell'insieme muscolo-tendineo da utilizzare nella seconda fase. Questa parte di energia elastica, che viene accumulata nel muscolo, è disponibile solo per un tempo determinato. Il tempo disponibile dipende dalla durata dei ponti di miosina e dura da 15 a 120 millisecondi (Cavagna et al., 1965; Enoka, 2003). Per quanto riguarda la produzione di forza, è essenziale che il muscolo sviluppi più forza e consumi meno energia chimica durante la contrazione eccentrica rispetto alla contrazione concentrica (Komi & Gollhofer, 1994; Enoka, 2003). L'efficienza di una contrazione eccentrico-concentrica dipende anche dal tempo di transizione. Quanto più è lungo il tempo, meno efficiente è la contrazione. Oltre alla misura e alla velocità della modificazione della lunghezza del muscolo e alla durata del passaggio, l'efficienza della contrazione eccentrico-concentrica dipende largamente dalla pre-attivazione. Quest'ultima determina il primo contatto del piede con il terreno. La pre-attivazione prepara i muscoli per l'allungamento, ed è caratterizzata dal numero di ponti di miosina attivati e dalla modificazione dell'eccitabilità

dei neuroni α -motori. Entrambi i fattori influenzano la stiffness a breve termine del muscolo. Una maggiore stiffness muscolare causa una marcata estensione dei legamenti del tendine, che, a loro volta, riducono il consumo di energia chimica nel muscolo. Il ridotto consumo di energia chimica è particolarmente importante in quelle situazioni motorie, in cui devono essere eseguiti specifici movimenti ad alta velocità (ad es. l'azione dell'articolazione della caviglia in uno sprint, l'azione di stacco nel salto in lungo, salto in alto e triplo).

In termini funzionali ed anatomici, in un salto verticale il ruolo principale viene svolto dai due muscoli della coscia a due articolazioni, che sono anche indicati come "hamstrings" (muscoli posteriori della coscia) o muscoli ischio-crurali da alcuni autori (Brockett et al.; Šarabon, 2005). Questo gruppo muscolare include: il semimembranoso,

il semitendinoso e il bicipite femorale. In specifiche situazioni sportive questi muscoli sono responsabili dell'estensione primaria dell'articolazione dell'anca in una catena cinetica chiusa e della flessione dell'articolazione del ginocchio. La lunghezza dei muscoli della coscia è altamente variabile, dipendendo largamente dalle articolazioni del ginocchio e delle anche (Šarabon, 2005). La loro efficienza si manifesta maggiormente, quando vi è alta velocità angolare delle articolazioni degli arti inferiori. Per questa ragione, i muscoli della coscia hanno un ruolo importante nei movimenti esplosivi veloci di tipo aciclico e ciclico.

In molti sport, i salti verticali e i drop jump sono una fonte importante di esercitazioni nell'allenamento di forza dell'atleta. Essi migliorano la contrazione muscolare eccentrico-concentrica degli arti inferiori. Nello



stesso tempo rappresentano uno strumento indispensabile di misurazione nella diagnostica della potenza di stacco. Per quanto riguarda la struttura di movimento, i salti verticali e i drop jump riproducono le reali situazioni motorie della pratica sportiva. Si utilizzano differenti batterie di test per diagnosticare la forza esplosiva degli arti inferiori, in laboratorio o di tipo situazionale sul campo. Bosco (1992) ha sviluppato un protocollo classico per monitorare la forza di stacco, basandosi su salti verticali. La forza di stacco concentrica nelle attività neuromuscolari viene misurata attraverso lo squat jump verticale. La forza di stacco esercitata nella condizione in cui i muscoli attivi prima si estendono (contrazione eccentrica) e poi si accorciano (contrazione concentrica) sono misurati attraverso il salto verticale con contromovimento e il drop jump.

Questo studio ha lo scopo di:

1. Stabilire i parametri principali della dinamica e della cinematica, che generano l'efficienza dei salti verticali e dei drop jump;
2. Stabilire l'attivazione elettromiografica dell'ereettore spinale, grande gluteo, retto femorale, bicipite femorale, vasto laterale, vasto mediale, tibiale anteriore e del gastrocnemio mediale nei salti verticali e drop jump.

Metodi

Due atleti di élite – saltatori di triplo (M. Š.: età 29 anni, altezza 173.5 cm, massa corporea 59.0

kg; e M. G.: età 21 anni, altezza 181.4 cm, massa corporea 60.0 kg) – hanno preso parte alle procedure sperimentali. Il protocollo di misurazione del salto verticale è stato effettuato nel Laboratorio di Biomeccanica del Policlinico Peharec di Medicina e Riabilitazione Fisica di Pula, in Croazia. Gli atleti hanno effettuato dei salti nel seguente ordine: salto con contromovimento e salti in basso. Ogni salto è stato effettuato tre volte. Per l'analisi 3-D cinematica dei salti verticali, è stato usato un sistema, composto da nove videocamere CCD SMART-e 600 (BTS Bioengineering, Padua) con una frequenza di 50 Hz e una risoluzione di 768 x 576 pixel. I parametri cinematici sono stati elaborati col programma di BTS SMART Suite. È stato definito un modello dinamico, caratterizzato da un sistema di 17 marker sensibili alla luce infrarossa (testa, spalle, avambraccio, braccio, tronco, anca, coscia, stinco, piede) - *Figura 1*.

I parametri dinamici dei salti verticali e dei drop jump sono stati stabiliti usando due pedane di forza indipendenti (Kistler, Type 9286A). La frequenza di campionamento era 1.000 Hz. L'analisi si è basata sui seguenti parametri dinamici: picco della forza di reazione al terreno, impulso di forza e quantità di lavoro per 1 kg di massa corporea (lavoro concentrico J/kg). La forza di reazione al terreno è stata misurata uni- e bilateralmente. È stato usato un elettromiografo a 16 canali (BTS Pocket EMG, Myolab) per analizzare l'attività elettromiografica (EMG).



Figura 1 - Marija Šestak, Giochi Olimpici, Pechino 2008 - Salto Triplo 6° posto, 15.03 m

Esso era costituito da due unità: un'unità mobile (HP Ipaq 4700) ha catturato tutti i segnali EMG e li ha trasmessi all'unità fissa usando la tecnologia wireless (Wi-Fi). È stata monitorata l'attivazione EMG di sette muscoli della gamba sinistra e sette della gamba destra (il gran gluteo, il retto femorale, il vasto mediale, il vasto laterale, il tibiale, il bicipite femorale, il gastrocnemio mediale), come anche un muscolo estensore del tronco (ereettore spinale). L'attività muscolare elettromiografica superficiale è stata rilevata attraverso elettrodi bipolari di superficie Ag-AgCl (Ambu Blue Sensor SE – 00-S/50, Danimarca), che erano fissati in uno specifico punto di un'unità motoria di ogni muscolo, con una preparazione accurata della pelle. Gli elettrodi sono stati posizionati da una persona qualificata. Nel prosieguo dell'esperimento i segnali registrati sono stati fil-



trati e adattati. L'analisi statistica dei risultati è stata elaborata con il software statistico SPSS.

Risultati e discussione

SALTO CON CONTROMOVIMENTO

Questo compito motorio è costituito da un rapido abbassamento del centro di gravità del corpo, attraverso l'allungamento attivo dei muscoli delle gambe (contrazione eccentrica). Poi il movimento viene bloccato e il soggetto salta immediatamente in una direzione verticale (contrazione concentrica). L'energia che si accumula nei muscoli e nei tendini durante l'allungamento viene trasmessa alla fase concentrica. Di conseguenza, la velocità di movimento aumenta nella seconda fase. Il protocollo di misurazione si è basato sui seguenti parametri (*tabella 1*).

Tabella 1 - Parametri dinamici e cinematici di un salto verticale con contromovimento

<i>salto con contromovimento</i>	<i>unità</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Altezza del salto	Cm	48.8 ± 0.3	40.8 ± 0.1
Tempo di contatto al suolo	Ms	364 ± 10	338 ± 9
Tempo eccentrico	Ms	123 ± 9	131 ± 8
Tempo concentrico	Ms	241 ± 6	207 ± 15
Lavoro concentrico	J/kg	6.4 ± 0.3	5.1 ± 0.1
Efficienza del salto	cm/J	7.6 ± 0.4	7.9 ± 0.1
Picco di potenza	W/kg	50.1 ± 0.9	45.8 ± 0.1
Tempo di volo	Ms	590 ± 1	525 ± 1.9
Velocità di stacco	m.s ⁻¹	2.47 ± 0.3	2.42 ± 0.3
Picco di forza	N	904 ± 1.5	1104 ± 25
Spinta eccentrica	Ns	34 ± 1	96 ± 3
Spinta concentrica	Ns	178 ± 2	145 ± 1
Flessione dell'anca	Deg	77 ± 1	69 ± 2
Flessione del ginocchio	Deg	89 ± 3	89 ± 3
Flessione della caviglia	Deg	32 ± 1	38 ± 2



Il tempo di stacco varia da 338 a 364 millisecondi. In base al principio del transfer energetico elastico, la fase eccentrica è più breve di quella concentrica. Il soggetto A, la cui altezza del salto era 48.8 cm, aveva un rapporto fase eccentrica/concentrica di 33.8%: 66.2%. Per il soggetto B, la cui misura di salto era 40.8 cm, il rapporto era 38.7%: 61.3%. Si può concludere che l'efficacia dell'attività muscolare a due fasi dipende da un rapporto adeguato tra la contrazione muscolare eccentrica e quella concentrica. L'energia elastica generata nella prima fase così si accumula nell'insieme muscolo-tendineo (tendine, aponeurosi, ponti di miosina, perimisio, epimisio e sarcolemma; Bobbert et al., 1987; Bobbert e van Ingen Schenau, G., 1988) e

viene assorbita dall'energia chimica del muscolo nella fase concentrica. Il risultato è una forza muscolare maggiore, che produce un salto più alto. La velocità verticale del centro di gravità del corpo in una contrazione muscolare a due fasi è 9.5% più alta di una contrazione muscolare concentrica a fase singola. Il passaggio dalla contrazione eccentrica a quella concentrica ha luogo quando l'angolo del ginocchio misura 89°. La forza di reazione al suolo varia tra 904 N e 1104 N.

I risultati dello studio sul soggetto A hanno mostrato che,

nelle fasi eccentrica e concentrica, l'attivazione EMG della muscolatura degli arti inferiori in un salto con contromovimento era differente (figura 2). Nella fase eccentrica, si è rilevato un alto livello di attivazione nei muscoli erettore spinale e grande gluteo, mentre nella fase concentrica i muscoli più attivati erano il bicipite femorale, il vasto mediale e laterale e il gastrocnemio mediale. La quantità di energia meccanica alla fine dello stacco viene generata dal vasto mediale e laterale e dal gastrocnemio mediale. Parte dell'energia meccanica viene

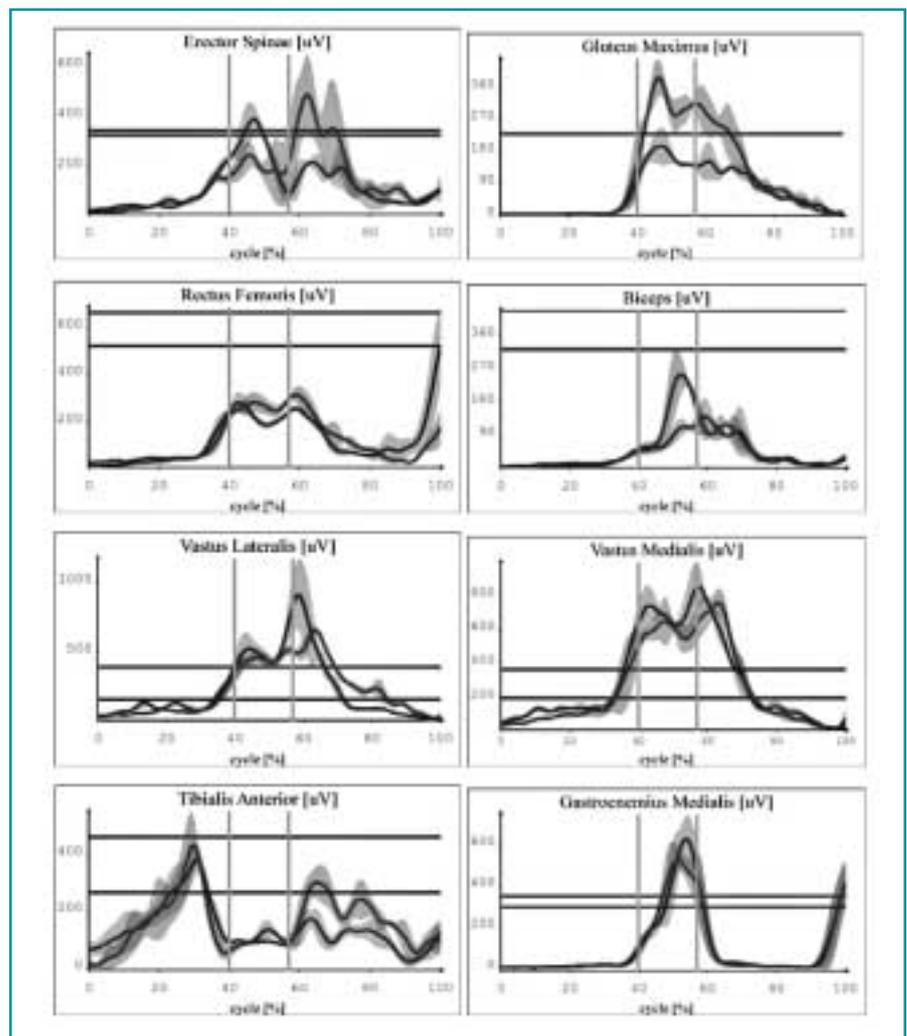


Figura 2 - Attivazione EMG dei muscoli nel salto con contromovimento

Tabella 2 - Parametri dinamici e cinematici del drop jump da un'altezza di 25 cm

salto in basso – 25 cm	unità	a	b
Altezza del salto	cm	47.3 ± 0.8	38.6 ± 0.8
Tempo di contatto al suolo	ms	165 ± 5	174 ± 3
Tempo fase eccentrica	ms	73 ± 2	80 ± 2
Tempo fase concentrica	ms	92 ± 2	94 ± 1
Lavoro concentrico	J/kg	5.1 ± 0.2	4.3 ± 0.1
Efficienza del salto	cm/J	9.3 ± 0.3	9.0 ± 0.3
Picco di potenza	W/kg	92.4 ± 6.7	76.6 ± 1.2
Tempo di volo	ms	580 ± 3	503 ± 6
Velocità dello stacco	m.s ⁻¹	2.78 ± 0.1	2.65 ± 0.4
Picco di forza	N	3654 ± 108	3689 ± 180
Impulso eccentrico	Ns	161 ± 4	151 ± 3
Impulso concentrico	Ns	164 ± 1	141 ± 2
Flessione dell'anca	deg	26 ± 1	29 ± 1
Flessione del ginocchio	deg	56 ± 2	61 ± 2
Flessione della caviglia	deg	13 ± 1	25 ± 1

trasmessa dalla caviglia all'articolazione del ginocchio attraverso il gastrocnemio mediale. Da questa articolazione l'energia meccanica viene poi trasmessa all'articolazione dell'anca attraverso il retto femorale. Il retto femorale è caratterizzato da un alto livello di attivazione sia nella fase eccentrica che in quella concentrica dell'azione di stacco.

SALTO IN BASSO

Un drop jump (salto in basso) è costituito dalle seguenti fasi: lasciare la pedana con un'altezza specifica, volo, preparazione per l'atterraggio, atterraggio, contatto con il terreno, ammortizzazione, contrazione eccentrico-concentrica e accelerazione verticale. Non è importante solo l'altezza della panca, ma anche il picco di altezza del centro di gravità del corpo durante la fase di volo. La fase di pre-attivazione inizia

100 millisecondi prima del contatto con il suolo (Gollhofer e Kyrolainen, 1991). La funzione della pre-attivazione muscolare è di preparare il muscolo per l'allungamento. Questa pre-attivazione è rafforzata dall'attivazione concorrente del gastrocnemio e del tibiale anteriore. La stiffness a breve termine del gastrocnemio quindi facilita l'accumulo di una maggiore quantità di energia elastica nel tendine ed una minore estensione del muscolo. Lo scopo del drop jump è quello di accorciare il tempo dell'assorbimento dello shock, che genera un passaggio ottimale dalla contrazione eccentrica a quella concentrica. L'analisi dei drop jump si è basata sui seguenti parametri (tabella 2).

Il tempo di contatto è uno dei parametri cruciali del drop jump, perché definisce l'efficienza del passaggio dalla contrazione eccentrica a quella concentrica. Il tempo di contat-

to dei soggetti, che hanno effettuato il salto in basso da un'altezza di 25 cm, andava dai 165 ai 174 millisecondi. Il rapporto tra il tempo delle sue fasi, eccentrica e concentrica, del soggetto A è stata 44.2%: 55.8%, mentre per il soggetto B è stata 45.9%: 54.1%. Il soggetto A ha espresso una maggiore efficienza nella fase di ammortizzazione dopo l'atterraggio da un salto di 47.3 centimetri di altezza. Alcuni autori (Gollhofer & Kyrolainen, 1991; Schmidtbleicher, 1992) hanno mostrato che la pre-attivazione dei flessori plantari è il meccanismo più importante nella riduzione del tempo di contatto in compiti motori eccentrico-concentrici. Fondamentalmente, il programma motorio centrale migliora e – attraverso il controllo dell'attivazione muscolare – aumenta la stiffness a breve termine dell'insieme muscolo-tendineo degli arti inferiori al contatto con il terreno. Questo programma è re-

sponsabile della sincronizzazione dei flessori e degli estensori dell'articolazione della caviglia. La pre-attivazione ottimale degli agonisti ed antagonisti prima del contatto con il terreno riduce l'ampiezza del movimento e accorcia la fase eccentrica. Di conseguenza, viene generata una maggiore forza muscolare, insieme ad un minore consumo di energia metabolica muscolare. La riduzione del tempo di contatto al suolo in un drop jump è essenzialmente il risultato della pre-attivazione dei muscoli gastrocnemio, soleo e tibiale anteriore (Gollhofer & Kyrolainen, 1991). L'efficienza della prestazione del drop jump nel soggetto A (questa atleta è una triplista di alto livello) rispetto al soggetto B si evidenzia fondamentalmente nei seguenti parametri: un tempo di contatto più breve, una fase eccentrica più breve, il picco di potenza (W/kg della massa corporea), una maggiore velocità di stacco, un maggiore impulso di forza nella fase eccentrica e, in particolare, in quella concentrica, come anche una minore ampiezza di movimento nelle articolazioni del ginocchio e della caviglia. Una stiffness muscolare a breve termine si evidenzia inoltre nell'articolazione della caviglia, poiché l'ampiezza del movimento del soggetto A era solo 13°, mentre quella del soggetto B era 25°. Il picco della forza di reazione al terreno, misurato da due pedane di forza (Kistler, Type 9286A), era 3654 ± 108 N nel soggetto A, e 3689 ± 180 N nel soggetto B (drop jump da 25 cm). Il picco della forza di reazione al terreno e il picco dell'impulso di forza

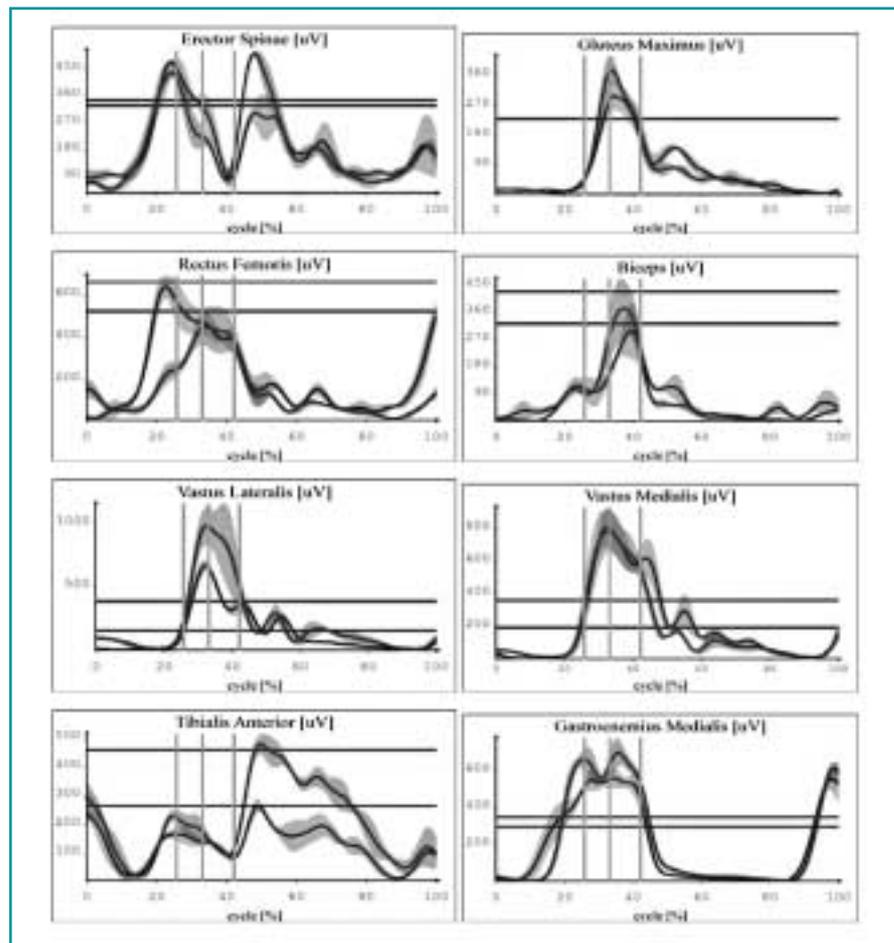


Figura 4 - Attivazione muscolare EMG nel drop jump

sono stati registrati nella fase eccentrica.

Il metodo elettromiografico fornisce importanti informazioni sulle strategie di azione del drop jump (Figura 3). È possibile individuare il picco di attivazione dell'ereettore spinale, del retto femorale, del tibiale anteriore e del gastrocnemio mediale durante la pre-attivazione e la fase eccentrica.

L'attivazione contemporanea del gastrocnemio e del tibiale anteriore ha un ruolo particolarmente importante nella pre-attivazione efficace dei muscoli nella preparazione per l'accorciamento. Il primo muscolo è un agonista e il secondo un anta-

gonista (Gollhofer & Kyrolainen, 1991). Al momento del contatto con il terreno, la maggiore attivazione EMG è stata registrata nel retto femorale, nel gastrocnemio mediale e nel tibiale anteriore. La conclusione dell'azione di stacco (fase concentrica) dipende dall'attivazione EMG del grande gluteo, vasto laterale e mediale e del gastrocnemio. La fase concentrica dura 92 ± 2 millisecondi e l'impulso è di 164 ± 1 Ns.

Conclusioni

La diagnostica biomeccanica della forza esplosiva degli

arti inferiori è un elemento estremamente importante di monitoraggio dei processi di allenamento dell'atleta moderno. I risultati della misurazione di differenti tipi di salto verticale e del drop jump ci forniscono informazioni fondamentali sullo stato e sul funzionamento del sistema neuromuscolare.

Basandosi su queste informazioni il processo di allenamento può essere programmato e controllato molto più accuratamente in riferimento alla forza. Sono state presentate alcune tecnologie e procedure di misurazione per diagnosticare la forza esplosiva, essenzialmente per quanto riguarda il moni-

toraggio dei parametri dinamici e cinematici dei salti verticali e dei drop jump. I test sono implementati in laboratorio, mentre il prossimo passo dovrebbe essere quello di permettere il monitoraggio del sistema neuromuscolare di un atleta sul campo, cioè in un ambiente reale.

Note bibliografiche

1. Bührle, M., Schmidbleicher, D., & Ressel, H. (1983). Die spezielle Diagnose der einzelnen Kraftkomponenten in Hochleistungssport. (La diagnosi speciale delle singole componenti della forza nello sport di alta prestazione). *Leistungssport*, 3, 11-16.
2. Bobbert, M., Huijing, P., van Ingen Schenau, G. (1987). (Drop jumping I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. (Drop jump. L'influenza della tecnica di salto sulla biomeccanica del salto). *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 19: 332-338.
3. Bobbert, M., van Ingen Schenau, G. (1988). Coordination in vertical jumping. (Coordinazione nei salti verticali). *Journal of Biomechanics*, 21: 249-262.
4. Bosco, C. (1992). L'evaluation de la force par le test de Bosco. (*La valutazione della forza attraverso il test di Bosco*) Roma, Societa Stampa Sportiva.
5. Cavagna, G. (1977). Storage and utilization of elastic energy in skeletal muscle. (Immagazzinamento e uso dell'energia elastica nel muscolo scheletrico). *Exercise and Sport Science Reviews*, 5, 89-129.
6. Gollhofer, A., Kyrolainen, H. (1991). Neuromuscular control of the human leg extensor muscles in jump exercises under various stretch-load conditions. (Controllo neuromuscolare dei muscoli estensori della gamba negli esercizi di salto in differenti condizioni di carico-allungamento.) *International Journal of Sports Medicine*, 12, 34-40.
7. Enoka, R. (2003). *Neuromechanics of human movement* (Neuromeccanica del movimento umano). Human Kinetics, Champaign, IL.
8. Komi, P., Gollhofer A. (1997). Stretch reflex can have an important role in force enhancement during SSC exercises. (Il riflesso dell'allungamento può avere un ruolo importante nel miglioramento della forza durante gli esercizi SSC). *Journal of Applied Biomechanics*, 13 (14), 451-459
9. Luhtanen, P., & Komi, P. (1980). Force-, power- and elasticity-velocity relationship in walking, running and jumping. (Relazione forza-potenza ed elasticità-potenza nella marcia, nella corsa e nei salti). *European Journal of Applied Physiology* 44 (3), 79-289.
10. Mero, A., Kuitunen, S., Harland, M., Kyrolainen, H., & Komi, P. (2006). Effects of muscle-tendon length on joint movement and power during sprint starts. (Effetti della lunghezza del muscolo-tendine sul movimento dell'articolazione e la potenza durante la partenza della velocità). *Journal of Sport Science*, 24 (2), 165-173.
11. Marković, G., Dizdar, D., Jukić, I., & Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. (Affidabilità e validità fattoriale dello squat e del test di salto con contromovimento). *Strength and Conditioning Journal*, 16 (5), 20-31.
12. Schmidbleicher, D. (1992). *Training for power sports*. In: Komi, P. (ed.). Strength and power sport. (Forza e sport di potenza). Blackwell Scientific, London, p. 381-395.
13. Šarabon, N., Fajon, M., Zupanc, O., Draksler, J. (2005). Stegenske strune [Hamstrings injuries- Infortuni ai muscoli della coscia]. *Šport*, 3, (53), 45-52.