

**Prof. dr Milan Čoh***Fakulteta za šport, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija*

## SAVREMENA DIJAGNOSTIKA ODRAZNE SNAGE

### 1. Uvod

Snaga je jedna od najvažnijih biomotoričkih sposobnosti u predikciji rezultata sportaša različitih sportskih grana. Sa snagom su više ili manje povezane i sve ostale motoričke sposobnosti. Zato nije ni čudno da su mnoga kineziološka istraživanja fokusirana upravo na prostor snage s aspekta proučavanja njene strukture, metodike treninga, primjene novih metoda razvoja i dijagnostičnih postupaka. Snaga je sigurno u ovom trenutku razvoja kineziološke znanosti među najtemeljnije istraženim sposobnostima, iako ima u tom prostoru motorike još puno neriješenih pitanja. Snagu kao biomotoričku sposobnost možemo klasificirati prema različitim kriterijima. S obzirom na akcijski kriterij avtor (Luhtanen & Komi, 1980; Buhle, 1983; Bosco i sur.; Mero & Komi, 1994), razlikujemo maksimalnu snagu, eksplozivnu snagu i snažnu izdržljivost. Osim tog kriterija, postoji još i kriterij živčano-mišićnog djelovanja gdje se snaga može manifestirati u obliku izometrične kontrakcije, koncentrične kontrakcije, ekscentrične kontrakcije ili ekscentrično-koncentrične kontrakcije. Izometrična kontrakcija je prisutna u situaciji kada je snaga mišića jednaka vanjskom opterećenju, pa zato nemamo kretanja između mišićnih hvatišta. Koncentrična kontrakcija posljedica je mišićne snage koja je veća od vanjskog opterećenja. Ekscentrična kontrakcija pojavi se kada je vanjsko opterećenje veće od snage aktiviranih mišića. U realnim sportsko-motoričkim situacijama najčešće se pojavljuje ekcentrično-koncentrični tip mišićne kontrakcije, a manifestira se kao skočnost.

Odrasna snaga (za taj tip snage se upotrebljava još termin: skočnost, sposobnost skočnosti) je specifičan primjer brze snage u ekscentrično-koncentričnim uvjetima koja se javlja u različitim cikličkim, acikličkim i kombiniranim motoričkim situacijama. Glavna karakteristika elastičnosti mišića i tetiva je utilizacija elastične energije u ekscentrično-koncentričnom ciklusu. Doprinos elastičnih karakteristika mišićno – tetivnog sustava ovisan je o brzini tog prelaska. Prelazak mora biti što kraći, u svakom slučaju kraći od 260 milisekundi (Newton & Kraemer, 1994; McGinnis, 1999). Tako izvedena kontrakcija mišića ima za posljedicu da se za isti mehanički rad potroši manje kemijske energije, što omogućava veću brzinu kretanja nego u slučaju samo koncentrične kontrakcije.

### 1.2. Živčano-mišićni mehanizmi odrazne snage

Poznavanje živčano – mišićnih mehanizama razvoja odrazne snage jako je važno, kako s aspekta tehnike izvođenja vježbi i uporabljenih metoda, tako i s aspekta metodičkih postupaka u treningu te sposobnosti. Iako je ekscentrično-koncentričan tip razvoja snage jako čest u različitim situacijama čovjekova kretanja, postao je predmetom proučavanja relativno kasno. Prva istraživanja u tom smjeru su proveli Flitney i Hirst (1978) na izoliranom mišiću žabe. Da prethodno istezanje ima pozitivan transfer na kontraktilne karakteristike mišića u motoričkim situacijama prvi su utvrdili Asmussen, Bonde i Pe-

tersen (1974) te Cavagna (1974) i Verkoshansky (1977). Efikasnost odrazne akcije prvenstveno ovisi o ekscentričnoj kontrakciji koja mora biti dovoljno kratka; u suprotnom ne dolazi do aktivacije miozinskih i aktinskih filamenata u mišićnim sarkomerama. Taj mehanizam mišićnog djelovanja zove se short range stiffness ili krutost mišića. Funkcija mehanizma short range stiffnessa je dominantna u ekscentričnoj fazi odraza, gdje refleksni luk još nije uspostavljen. Minimalno vrijeme potrebno da se aktivira miotatički refleks je 35 milisekundi. Na efikasnost ekscentrično-koncentrične kontrakcije, koja se javlja u mnogim motoričkim strukturama u sportu (trčanja, bacanja, skokovi, udarci), utječe vrijeme transfera toga ciklusa.

Osim veličine i brzine promjene duljine mišića te vremena transfera iz ekscentrične u koncentričnu kontrakciju, jako važnu živčanu funkciju ima mehanizam predaktivacije. Radi se u tome, da se mioelektrična aktivnost u mišiću pojavi već prije njegovog istezanja. Funkcija predaktivacije jest optimalno podraživanje mišićnog vretena, a time i povećavanje refleksa istezanja. Predaktivacija se događa nekoliko trenutaka prije dodira stopala s podlogom da bi se mišići što bolje pripremili za istezanje zbog vanjske sile gravitacije. Što je veća predaktivacija, to će veća biti podraženost alpha motoričkih živaca, pa onda i bolja refleksna potencijacija mišića (Mero i sur., 2006).

Za dijagnosticiranje odrazne snage upotrebljavamo različite baterije testova. Dijagnostički postupci mogu biti laboratorijski ili situacijsko-terenski. Odrasnu snagu u koncentričnim uvjetima živčano-mišićnog djelovanja mjerimo vertikalnim skokom iz polučučnja (SQUAT JUMP) pomoću tenziometrijske platforme. Skok počinje iz potpuno fiksiranog položaja u vertikalnom smjeru bez zamaha ruku. Na taj je način isključen doprinos elastične energije u mišićima i isključeni su mehanizmi aktiviranja refleksov. Osnovni kriterij brze snage je kosina krivulje - gradijent sile. Kosina krivulje ovisni o djelovanju određenih mišićnih grupa. Konačna brzina odraza (visina skoka) u najvećoj mjeri ovisi o aktivaciji ekstenzora koljena i skočnog zgloba.

Odrasnu snagu u ekscentrično – koncentričnim uvjetima mjerimo vertikalnim skokom sa suprotnim kretanjem (COUNTER MOVEMENT JUMP), gdje se mišići najprije rastegnu (ekscentrična kontrakcija) i odmah nakon toga kontrahiraju (koncentrična kontrakcija). Elastična energija koja se stvara u mišićima i tetivama u prvoj fazi prenosi se u drugu fazu da bi se tako povećala brzina odskoka. Tome pridonose i refleksi istezanja koji mišiće u koncentričnoj fazi dodatno aktiviraju. Prema iztraživanjima, ti skokovi su za 10 % do 15 % viši od skokova koji se izvode samo koncentričnom kontrakcijom (Strojnik, 1997).

Treći oblik dijagnosticiranja odrazne snage u ekscentrično – koncentričnim uvjetima su dubinski skokovi (DROP JUMPS), koji se izvode s visine od 25 cm, 40 cm i 60 cm, a u ekstremnim primjerima s visine od 100 cm. Saskoci s visine više od 100 cm realna su prijetnja za zdravlje sportaša (ozljede), pa i onih najbolje pripremljenih, tako da se u kondicijskoj pripremi ne preporučuje njihova upotreba. Optimalna dubina skokova je ovisna o efikasnosti djelovanja ekstenzora skočnog zgloba i koljena. Daskok mora biti izveden tako da ne dođe do udarca petama stopala o podlogu. Ako ekstenzori skočnog zgloba nisu u stanju neutralizirati kočenja kod doskoka, moraju tu funkciju izvršiti ekstenzori koljena. U tom slučaju se ne razvija optimalna brzina prijelaza iz ekscentrične u

koncentričnu kontrakciju, što znači da skok nije bio izveden reaktivno. Udarac petom o podlogu može imati jako neugodne posljedice u obliku ozljede stopala, koljena ili kralješnice.

Osnovni cilj tog istraživanja je bio analizirati i utvrditi najvažnije kinematičke, dinamičke i elektromiografske parametre koji generiraju rezultate u izabranim testovima odrazne snage. Prema Boscovom protokolu (1985) izabrali smo sledeće testove : vertikalni skok iz čučnja (squat jump), vertikalni skok iz čučnja s pripremom (countermovement jump) i dubinski skok s 25 cm (drop jump – 25 cm). Predmet analize je bila visina skoka, vrijeme odraza, vrijeme leta, brzina odraza, maksimalna sila odraza, impuls sile i trajanje ekscentrične i koncentrične faze odraza.

### 3. Metode

U ekperimentalnoj proceduri sudjelovale su dve vrhunske atletičarke, skakačice troskoka. Istraživanje je bilo provedeno u biomehanskom laboratoriju Poliklinike za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju »Peharec« u Puli. Za 3-D kinematičku analizu vertikalnih skokova smo upotrebili sistem 9 kamera SMART-e 600 (BTS Bioengineering), koje su imale frekvenciju 60 Hz in resoluciju slike 768 x 576 pixla. Za obradu kinematičkih parametara smo upotrebili program BTS SMART Suite. Dinamičke parametre skokova smo utvrdili pomoću dveh separatnih tenziometrijskih platformi Kistler Type 9286A. Za analizo elektromiografske aktivnosti (EMG) mišića: m. erector spinae, m. gluteus maximus, m. rectus femoris, m. vastus medialis, m. vastus lateralis, m. biceps femoris, m. tibialis anterior, m. gastrocnemius medialis smo koristili 16 kanalni elektromiograf (BTS Pocket EMG, MYOLAB). Za registraciju površinske elektromiografske aktivacije mišića koristili smo bipolarne elektrode, koje smo pozicionirali na motoričke jedinice nakom temeljite preparacije kože.

### 4. Rezultati i diskusija

Visina skoka kao glavni kriterij eksplozivne snage donjih ekstremiteta je najveća kod vertikalnog skoka s pripremom - countermovement jump i to kod jedne i druge atletičarke ( $A = 48.8 \pm 0.5$  cm,  $B = 40.8 \pm 0.1$  cm). Kod statičnog položaja (squat jump) iznosi visina skoka kod atletičarke A  $= 45.8 \pm 0.5$  cm i kod atletičarke B  $= 37.7 \pm 0.6$  cm (tabela 1). Skok počinje iz fiksiranog položaja (kut u zglobu koljena je oko  $90^\circ$ ) u vertikalnom smjeru. Na taj način je izključen doprinos elastične energije u mišićima . Visina skoka se generira izključivo na osnovu koncentrične mišićne kontrakcije. Kod vertikalnog skoka sa pripremom uključena je ekscentrično – koncentrična komponenta odrazne snage. Visina skoka kod countermovement jumpa je veća od squat jumpa za 9.2 % do 9.3 %.

Ekscentrično - koncentrično mišićno modaliteto djelovanja razvijaju u najvećoj mjeri dubinski skokovi (drop jumps ) s visine od 25 cm. Opterećenje je fokusirano na ekscentričnu mišićnu kontrakciju, koje nastaje zbog sile gravitacije padajućeg tijela. Test je najbolji reprezentant reaktivno – eksplozivne snage. To je sposobnost koja se pojavljuje u mnogim realnim sportskim situacijama (skokovi, bacanja, sprint). Impuls sile u ekscentričnoj fazi je veći za 70 % do 260% od impulza sile kod vertikalnog skoka sa pripremom (countermovement jump).

Tabela 1: Dinamički i kinematički parametri odrazne snage kod testova squat jump, countermovement jump i drop jump

<b>TEST</b>	<b>UNIT</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
<b>SQUAT JUMP</b>			
Visina skoka	cm	45.8 ± 0.5	37.7 ± 0.6
Vrijeme odraza	ms	310 ± 9	326 ± 17
Vrijeme leta	ms	572 ± 4	504 ± 4
Brzina odraza	m.s <sup>-1</sup>	2.38 ± 0.2	2.31 ± 0.3
Maksimalna sila	N	428 ± 1.4	371 ± 1.4
Impulz sile u koncentričnoj fazi	Ns	172 ± 3	153 ± 1.2
<b>COUNTERMOVEMENT JUMP</b>			
Visina skoka	cm	48.8 ± 0.3	40.8 ± 0.1
Vrijeme odraza	ms	778 ± 11	428 ± 9
Vrijeme ekscentrične faze	ms	546 ± 21	230 ± 7
Vrijeme koncentrične faze	ms	232 ± 6	198 ± 14
Vrijeme leta	ms	590 ± 1	556 ± 1.9
Brzina odraza	m.s <sup>-1</sup>	2.47 ± 0.3	2.42 ± 0.3
Maksimalna sila	N	452 ± 1.5	556 ± 25
Impulz sile v ekscentričnoj fazi	Ns	42 ± 2	107 ± 3
Impulz sile u koncentričnoj fazi	Ns	170 ± 2	124 ± 0.1
<b>DROP JUMP - 25 CM</b>			
Visina skoka	cm	47.3 ± 0.8	38.6 ± 0.8
Vrijeme odraza	ms	166 ± 2	174 ± 3
Vrijeme ekscentrične faze	ms	92 ± 2	94 ± 1
Vrijeme koncentrične faze	ms	74 ± 2	80 ± 2
Vrijeme leta	ms	580 ± 3	503 ± 6
Brzina odraza	m.s <sup>-1</sup>	2.77 ± 0.1	2.65 ± 0.4
Maksimalna sila	N	1928 ± 30	1937 ± 6.5
Impulz sile v ekscentričnoj fazi	Ns	161 ± 3	151 ± 4
Impulz sile u koncentričnoj fazi	Ns	164 ± 1	141 ± 2

Maksimalna sila reakcije podloge kod doskoka iznosi kod atletičarke A =  $1928 \pm 30$  N i kod atletičarke B =  $1937 \pm 6.5$  N. Vrijeme odraza je kratko i traje samo 166 do 174 milisekunde. To je izuzetno važan elemenat, koji omogućuje brzi prelazak iz ekscentrične u koncentričnu mišićnu kontakciju. Na taj način dolazi do optimalne aktivacije miozinskih i aktinskih filamenata u mišićnim sarkomerama. Taj mehanizam mišićnog djelovanja zove se short range stiffness ili krutost mišića. Funkcija mehanizma short range stiffnessa je dominantna u ekscentričnoj fazi odraza, gdje refleksni luk još nije uspostavljen. Vrijeme transfera iz ekscentrične faze u koncentričnu fazu ne smije biti duži od životne dobi povezanih poprečnih mostića. Ako je taj transfer predug, poprečni mostići se rasklapaju i elastična energija, koja je bila akumulirana u tim jedinicama, ne može se više uporabiti za koncentričnu kontrakciju. Ukupni učinak ekcentrično-koncentrične kontrakcije umanjuje se za 20% ili 30%. Ekscentrična faza kod atletičarki traje od 92 do 94 milisekunde.

Najveća brzina odraza se manifestira kod dubinskog skoka ( $2.65$  do  $2.77$  m.s<sup>-1</sup>) a najmanja kod vertikalnog skoka bez ekscentrične mišićne kontrakcije (squat jump). Prema rezultatima EMG vertikalna brzina odraza je ovisna od optimalnog proksimalno – distalni principa mišićne aktivacije. U odraznu akciju se u prvoj fazi uključuju ekstenzori trupa (m. erector spinae) i ekstenzori kukova (m. gluteus maximus). U drugoj fazi generiraju efikasnost odraza ekstenzori koljena (m. rectus femoris, m. vastus medialis) i na kraju plantarni fleksori skočnog zgloba (m. gastrocnemius medialis).

## 5. Zaključak

Diagnostika odrazne snage je izuzetni važan sastavni dio procesa treninga sportaša. Rezultati mjerenja mogu nam dati aplikativne rezultate o nivou razvoja odrazne snage, koja ima utjecaj na rezultate u mnogim sportskim aktivnostima. Dinamički, kinematički i EMG parametri vertikalnog skoka iz fiksiranog položaja, skoka sa pripremom i dubinskog skoka mogu biti dobar kriterij kapaciteta sportaša u području odrazne snage donjih ekstremiteta. Na osnovu tih informacija je moguće optimalnije programirati in kontrolirati trenajni proces.

## 6. Literatura

1. Bührle, M., Schmidtbleicher, D., & Ressel, H. (1983). Die spezielle Diagnose der einzelnen Kraftkomponenten in Hochleistungssport. *Leistungssport*, 3, 11-16.
2. Bosco, C., Vittori, C., & Matteuci, E. (1995). Considerazioni sulle variazioni dinamiche di alcuni parametri biomeccanici nella corsa. *Aleticastudi - supplemento*, 2, 155-162.
3. Luhtanen, P., & Komi, P.V. (1980). Force-, power- and elasticity-velocity relationship in walking, running and jumping. *European Journal of Applied Physiology* 44 (3), 79-289.
4. McGinnis, P. (1999). *Biomechanics of Sport and Exercise*. Human Kinetics, Champaign, IL.
5. Mero, A., & Komi, P.V. (1994). EMG, Force, and Power Analysis of Sprint-Specific Strength Exercises. *Journal of Applied Biomechanics*, 10 (1), 1-13.

6. 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.
7. 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.
8. Newton, R., Kraemer, W. (1994). Developing explosive muscular power: implications for a mixed methods training strategy. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18 (3), 551-555.
9. Strojnik, V. (1997). Spremljanje učinkov vadbe moči – primer iztegovalk nog, *Šport*, 4 (45), 37-41.

## SUMMARY

### MODERN TAKE-OFF POWER DIAGNOSTICS

*Take-off power is one of the main biomotor abilities for predicting the results of many sport disciplines. It plays a particularly important role in motor situations when the take-off power is combined with the velocity of movement. The core aim of this study was to establish and analyse the fundamental kinematic, dynamic and electromyographic parameters which generate the results of selected take-off power tests. The experimental procedure involved two elite female triple jumpers. According to Bosco's protocol the following tests were selected: squat jump, countermovement jump and drop jump – 25 cm. The following were analysed: jump height, take-off time, flight time, take-off velocity, maximum take-off force, angle velocity of the ankle, knee and hip joints, force impulse and duration of the eccentric and concentric phases of take-off. The 3D-kinematic analysis of jumps was based on a system of nine SMART-e 600 video-cameras (BTS Bioengineering), with a 60 Hz frequency and a 768 x 576 pixel resolution. The kinematic parameters were processed using the BTS SMART Suite programme. Dynamic parameters were established by means of two separate force-platforms, namely Kistler, Type 9286A. The analysis of the electromyographic activity (EMG) of the following muscles: m. erector spinae, m. gluteus maximus, m. rectus femoris, m. vastus medialis, m. vastus lateralis, m. biceps femoris, m. tibialis anterior and m. gastrocnemius medialis was made using a 16-channel electromyograph (BTS Pocket EMG, MYOLAB). The research showed that the jump height (h) as a criterion of explosive power was generated by: the velocity of take-off, flight time, force impulse in the concentric phase and optimal knee joint angle. The analysis of the EMG activation in vertical jumps showed the proximal-distal principle of muscle activation. In the first phase of the take-off action, the trunk extensors (m. erector spinae) and hip extensors (m. gluteus maximus) are activated. In the second phase, the take-off efficacy is generated by the knee extensors (m. rectus femoris, m. vastus medialis) and, in the final phase, the plantar flexors of the ankle joint (m. gastrocnemius medialis) are activated.*

**Key words:** take-off power, diagnostics, dynamics, kinematics, EMG activation.