



BIOMEHANIČKO VREDNOVANJE DUBINSKIH SKOKOVA U PRIPREMI SKAKAČA U DALJ

BIOMECHANICAL EVALUATION OF THE DROP JUMP EXERCISES IMPLEMENTED IN PREPARATION OF LONG JUMPERS

Ljubomir Antekolović, Mario Kasović, Nenad Marelić

Kineziološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Hrvatska

SAŽETAK

Cilj ovog istraživanja je opis i standardiziranje postupka korištenja osnovnih biomehaničkih tehnika za istovremeno dobivanje kinematičkih, kinetičkih i EMG podataka kod vježbi dubinskih skokova. Mjerenje dubinskih skokova izvršeno je korištenjem piezoelektrične platforme za mjerenje sile reakcije podloge, uređaja za mjerenje EMG aktivnosti mišićne mase i akvizicijom video signala na temelju kojih je kasnije učinjena kinematička analiza. Dubinske skokove izvodilo je pet ispitanika, skakača u dalj, koji su vrhunski natjecatelji, a analizirane vježbe često su primjenjivane u tehnologiji atletskog treninga. Analizirane biomehaničke varijable iskazuju visoku zahtjevnost izvođenih zadataka na lokomotorni sustav ispitanika. Rezultati ukazuju na veliku vertikalnu silu reakcije podloge na svim razinama opterećenja (visinama saskoka), što je pokazatelj da se korištenim vježbama dubinskih skokova uspješno može ostvariti opterećenje kao i kod skokova u dalj (vrijednosti vertikalne sile reakcije podloge kreću se od 3500 do 6300N). Rezultati horizontalne sile reakcije podloge očekivano su niži zbog znatno manje horizontalne brzine kretanja skakača i ne prelaze 1500N.

Prema rezultatima EMG aktivnosti mišićne mase odrazne noge moguće je zaključiti kako je priprema u smislu predaktivacije mišićne mase neposredno prije doskoka izuzetno važna kako bi se izveo dobar skok. Maksimalne vrijednosti EMG aktivnosti mišićne mase postizane su, najčešće u trenutku kontakta s podlogom. Analiziranim vježbama dubinskih skokova uspješno se može simulirati kretna struktura odraza koja se pojavljuje kod skoka u dalj iz zaleta, i jednako tako izazvati zadovoljavajuće opterećenje neuromuskularnog sustava.

Ključne riječi: kinematika, sila reakcije podloge, elektromiografija, dubinski skokovi, skok u dalj

SUMMARY

The goal of the research was to give a description and to standardize implementation procedures of the basic biomechanical techniques for simultaneous acquisition of kinematic, kinetic and EMG data on the drop jump exercises. Data collection was done by simultaneous employment of piezoelectric platform, used for measuring ground reaction force, an EMG device for measuring muscular activity and video signal acquisition, on the basis of which the kinematic analysis was later performed. Then the signals were used to interpreting and describing the drop jump exercises. Five top-quality long jumpers performed the drop jump exercises, which were frequently used in the technology of the athletics training.

The EMG results of the take-off leg muscle activity indicated that the voluntary preparation in terms of muscle preactivation just prior to landing is crucial for a good jump performance. The maximum values of EMG activity were most frequently achieved in the very moment of establishing contact with the ground. The analysed biomechanical variables set high demands on the locomotor system of the examinees. The results indicated the high vertical ground reaction force at all levels, suggesting that the applied exercises generated loads equal to the long jump specific loads in actual performance (values of the vertical ground reaction force ranged from 3500 to 6300N). The obtained horizontal ground reaction force was expectedly lower (not exceeding 1500N) due to the lower horizontal speed of movement.

Key words: kinematics, ground force reaction, electromyography, drop jumps, long jump

UVOD

Biomehanički pristup u analizi i vrednovanju funkcije lokomotornog sustava čovjeka omogućava bolje razumijevanje izvođenja velikog broja jednostavnih i složenih kretnih struktura, bolje razumijevanje procesa njihova usvajanja i uvježbavanja. Visoka razina eksplozivne snage važan je čimbenik uspjeha u nizu sportskih disciplina, a osim njezine manifestacije u nazjecateljskoj aktivnosti izrazito je važna i metodika razvoja te sposobnosti u trenajnim uvjetima. Tehnologija atletske pripreme, posebice kod skakačkih atletske disciplina, temelji se na iznimno bogatoj i pažljivo definiranoj primjeni vježbi skočnosti koje su kod kvalitetnih i vrhunskih skakača često dubinskog karaktera.

Biomehaničkim istraživanjima tehničkih atletske disciplina autori (1, 2, 4, 5, 7, 8, 17) utvrđuju egzaktno pokazatelje izvedbe koji doprinose proučavanju istih i modeliranju pripreme atletičara.

Mehanizam mišićnih kontrakcija kod trčanja i skakanja je tipičan primjer kako vanjske sile (npr. gravitacija) produžuju mišiće. Nakon faze istezanja (ekscentrične), dolazi koncentrična (skraćivanje) faza. Prema definiciji ekscentrične kontrakcije, mišići moraju biti aktivni tijekom istezanja. Ta kombinacija ekscentrične i koncentrične kontrakcije naziva se *stretch-shortening cycle*, ili SSC.

Posebno važna značajka SSC-a je predaktivnost (prednapetost) mišića prije nego što započinje proces istezanja (ekscentrična kontrakcija). U odnosu na izoliranu koncentričnu kontrakciju, efekt SSC-a ima veliki utjecaj na povećanje rezultata u završnoj fazi kontrakcije (koncentrična kontrakcija).

Kada se govori o uključenosti refleksa istezanja u pojačanju SSC-a, ključno je pitanje koje su to značajke efikasnog SSC-a (6, 11, 12) iznose tri temeljna uvjeta za kvalitetnu ekscentrično-koncentričnu kontrakciju:

- pravovremenost aktiviranja muskulature neposredno prije ekscentrične kontrakcije,
- kratko trajanje ekscentrične kontrakcije, i
- trenutna tranzicija između istezanja (ekscentrične faze) i skraćivanja (koncentrične faze).

Ovi uvjeti su ostvarivi u aktivnostima kao što su trčanje i skakanje, i čime se pogodnima za moguću interakciju s refleksom istezanja.

Hijerarhija primjene sredstava pogodnih za razvoj eksplozivne snage tipa skočnosti, na najviše mjesto svrstava dubinske skokove. Metodu dubinskih skokova moguće je efikasno primijeniti tek nakon što su sportaši prošli metodiku skokova bez opterećenja, metodiku dizanja utega različitih težina i stekli odgovarajući stupanj temeljne i specifične tjelesne pripremljenosti (4, 15, 16). Značajka takvog načina rada je da se mišići aktivno stimuliraju aktivnim istezanjem koje prethodi aktivnom skraćivanju. Pri tome je ključna sastavnica brzina prijelaza iz ekscentrične, koju je uzrokovala vanjska sila, u koncentričnu kontrakciju. Konačni učinak odražava se u 30% većoj sili koju razvijaju mišići pri odrazu. Za to nije potrebno primjenjivati velika iznadmaksimalna opterećenja, nego se za udarnu stimulaciju mišića može koristiti kinetička energija sportaša akumulirana prilikom slobodnog pada s određene, unaprijed definirane, visine

(skok u dubinu). Optimalna visina saskoka zavisi od motoričke pripremljenosti sportaša. S metodičke točke gledišta, visina saskoka treba osigurati pliometrijsko naprezanje, bez usporavanja prebacivanja mišićne aktivnosti s ekscentrične na koncentričnu kontrakciju mišića opružaka u zglobovima kuka, koljena i skočnog zgloba. Aproximativna visina s koje sportaši skaču u dubinu iznosi onoliko koliko je vrijednost skoka izmjerena Sargentovim testom (npr. 50-80 cm). Vrijednost kuta u koljenom zglobovima u fazi amortizacije doskoka ne bi trebala premala (do npr. 140-150°). Odraz treba izvesti maksimalno brzo uz pomoć zamaha rukama i zamašnom nogom ako se izvodi jednonožni odraz (trajanje kontakta s podlogom što kraće 120 do 200 ms).

CILJ RADA

Cilj istraživanja je utvrđivanje kinetičkih, kinematičkih i EMG pokazatelja vježbi dubinskih skokova koji se koriste u pripremi skakača u dalj. Također, cilj je temeljem egzaktno utvrđenih opterećenja na pojedinim visinama saskoka vježbe staviti u funkciju optimalne primjene u treningu skakača u dalj.

METODE RADA

Ispitanici

Uzorak ispitanika činilo je 5 skakača u dalj vrhunskog međunarodnog ranga, prosječne starosti 24.5 godina, visine 181.54 ± 3.14 cm, mase 75.44 ± 5.04 kg, s prosjekom najboljih rezultata u skoku u dalj (u vrijeme mjerenja) 789 ± 15.26 cm. Za vrijeme istraživanja ispitanici su se nalazili na završetku zimskog natjecateljskog perioda i nisu imali zdravstvenih poteškoća koje bi mogle utjecati na rezultate mjerenja.

Uzorak kinematičkih varijabli

(3D varijable segmenta tijela)

Skup kinematičkih varijabli kojima će biti opisane vježbe dubinskih skokova temelji se na onim pokazateljima koji se najčešće koriste u istraživanjima skoka u dalj. Osnovni kinematički parametri obuhvaćaju putanju (TT), kutove u koljenu odrazne noge, horizontalnu i vertikalnu brzinu (TT) i kut odraza.

Tablica 1. Skup kinematičkih pokazatelja

Table 1. Kinematic parameters

Varijabla	Oznaka	Mj. jed.
Početna visina TT	hTTpoč	cm
Visina TT - amortizacija	hTTA	cm
Kut u koljenom zglobovima - amortizacija	KkoljA	stup.
Horizontalna brzina TT na početku odraza	Vxpoč	m/s
Vertikalna brzina TT na početku odraza	Vypoč	m/s
Horizontalna brzina TT na kraju odraza	VxO	m/s
Vertikalna brzina TT na kraju odraza	VyO	m/s
Kut odraza	Kodr	stup.

Uzorak kinetičkih varijabli (sile reakcije podloge)

Ove varijable odražavaju interakciju koja nastaje između ispitanika i podloge prilikom kontakta ispitanika s

podlogom. Interakcija je opisana pomoću sile reakcije podloge.

Skup kinetičkih varijabli opisuju trajanje faze kontakta (ukupno trajanje i parcijalno -faza amortizacije i faza odraza), te maksimalne vrijednosti sile reakcije po vertikalnoj, horizontalnoj i lateralnoj ravnini.

Tablica 2. Skup kinetičkih pokazatelja

Table 2. Kinetic parameters

Varijabla	Oznaka	Mj. jed.
Trajanje kontakta	tK	ms
Trajanje podfaze amortizacije	tA	ms
Trajanje podfaze odraza	tO	ms
Maksimalna sila po Y ravnini (vertikalna)	Fy	N
Maksimalna sila po X ravnini (horizontalna)	Fx	N
Maksimalna sila po Z ravnini (lateralna)	Fz	N

Uzorak elektromiografskih varijabli

Elektromiografske varijable predstavljaju izmjerene izvorni EMG signali. Tako izmjereni EMG signali odraz su bioelektričke aktivnosti motoričkih jedinica te su pokazatelj funkcije muskularnog sustava.

Mjerenje površinske aktivnosti mišića obuhvatilo je tri dominantna mišića na odraznoj nozi za čiju aktivnost se može reći da je značajna pri odrazu. Mioelektrični signali navedene muskulature grafički su prikazani (tablica 3) punovalno ispravljeni i niskopropusno filtrirani. Tako obrađeni signali integrirani su, izračunata je ukupna površina ispod krivulje, a dobivene vrijednosti izražene su u Vs (mVs) prema formuli:

$$I = \left\{ m(t) \right\} = \int_0^t |m(t)| dt$$

Pri definiranju elektromiografskih varijabli i postupka mjerenja korišten je SENIAM protokol (*Surface EMG for Non-Invasive Assessment of Muscles*) (7).

Tablica 3. Skup elektromiografskih pokazatelja

Table 3. Electromyographic parameters

Varijabla	Oznaka	Mj. jed.
Elektromiografska aktivnost m. rectus femoris	EMGrf	μV
Elektromiografska aktivnost m. biceps femoris	EMGbf	μV
Elektromiografska aktivnost m. gastrocnemius medialis	EMGgm	μV

Prikupljanje podataka

Mjerenje je provedeno u dvorani Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu koja je svojim karakteristikama zadovoljavala potrebe mjerenja. Prostor je bio adekvatan za postavljanje skakačkog poligona, pozicioniranje kamera, i sa dovoljnom razinom svjetlosti. Temperatura u dvorani bila je 25°C što je omogućilo ispitanicima kvalitetnu pripremu i održavanje zagrijanosti za vrijeme mjerenja. Ispitanicima je omogućeno izvođenje tri probna pokušaja na početnoj visini švedskog sanduka.

Akvizicija video zapisa potrebnog za kinematičku analizu izvršena je s tri digitalne video kamere brzine 50

slika u sekundi. Kalibracija prostora mjerenje učinjena je standardnim kalibracijskim okvirom veličine 180x180x90 cm. Izračunavanje 3D kinematičkih varijabli izvršeno je programskim paketom APAS (Ariel Performance Analysis System).

Za mjerenje kinetičkih varijabli korištena je piezo-električna platforma proizvođača Kistler (model 9281 B11) dimenzije je 60 x 40 cm. Registrirani signali bili su u sve tri ravnine (x, y, z) i frekvencije uzorkovanja 1000 Hz.

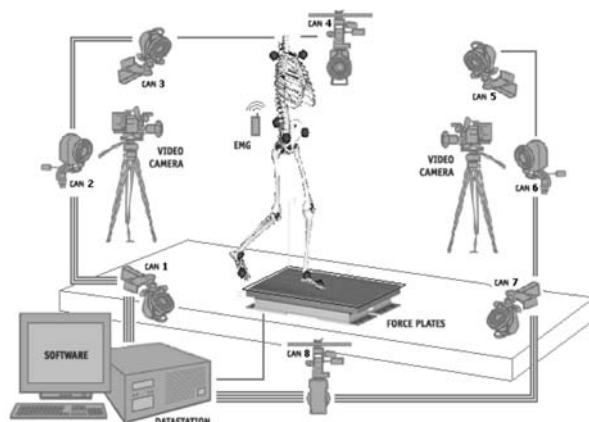
Za izračunavanje potrebnih kinematičkih i kinetičkih oznaka definiran je koordinatni sustav prema kojem je Y vertikalna ravnina, X horizontalna i Z lateralna ravnina. Smjer odvijanja zadataka je bio u horizontalnoj ravnini.

Mjerenje elektromiografske aktivnosti mišića nogu izvršeno je će pomoću EMG uređaja Muscle Tester ME 3000 Professional (Mega Electronics Ltd, 1995).

Ispitanicima su elektrode bile postavljene na mišiće odrazne noge. EMG uređaj bio pozicioniran na leđima ispitanika na način koji nije ometao izvođenje motoričkih zadataka. Uređaji korišteni u ovom istraživanju bili su vremenski usklađeni.

Slika 1. Sustav za biomehaničku analizu

Figure 1. Biomechanical analysis system



Opis stereotipa gibanja

Zadana kretna struktura dubinsko daljinskog skoka izvodila se na način da ispitanik stoji u iskoračnoj poziciji na rubu švedskog sanduka, frontalno okrenut prema platformi i doskočištu. U početnoj poziciji svaki je ispitanik na rub švedskog sanduka postavio svoju zamašnu nogu, nakon čega odraz izvodi prema platformi (udaljena 250cm) na kojoj izvodi kontakt (odraz) i na kraju sunožno doskače na strunjaču.

Slika 2. Ispitanik izvodi zadatak

Figure 2. Subject during task performance

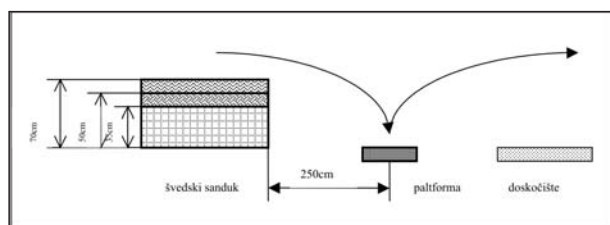


Opterećenje je bilo određeno visinama saskoka i korištenjem dodatnog pojasa. Naime, svaki ispitanik je izveo tri pokušaja na svakoj od visina švedskog sanduka, a oznaka svakog zadatka prikazana je na sljedeći način:

- A (3) -visina švedskog sanduka 35 cm,
- B (3) -visina švedskog sanduka 50 cm,
- C (3) -visina švedskog sanduka 70 cm,
- D (3) -visina švedskog sanduka 70 cm
-+ pojas težine 5 kg

U zagradama je označen broj pokušaja na svakoj visini. Prilikom izvođenja zadnjeg zadatka (saskok s pojasom težine 5kg) nije postojala mogućnost mjerenja EMG aktivnosti mišića, jer je uređaj za EMG trebalo skinuti sa ne bude oštećen prilikom izvođenja skokova s pojasom.

Slika 3. Visine švedskog sanduka i udaljenost od platforme
Figure 3. Box height and distance from platform



Za izračunavanje deskriptivnih parametara korišten je programski paket Statistica 6.0 pri Kineziološkom fakultetu u Zagrebu, dok je za grafički prikaz rezultata korišten program Microsoft Excel.

Tablica 4. Deskriptivni parametri (n=5) za visine 35cm, 50 cm, 70cm i 70cm+5kg

Table 4. Descriptive parameters (n=5) for heights 35 cm, 50cm, 70cm and 70cm+5kg

	Height 35cm Visina 35cm	Height 50cm Visina 50cm	Height 70cm Visina 70cm	Height 70cm+5kg Visina 70cm+5kg
	X±SD	X±SD	X±SD	X±SD
hTTpoč	123.71±3.21	131.28±3.58	142.02±4.19	143.07±3.99
hTTA	92.11±1.49	93.10±1.67	93.37±1.58	92.73±1.52
KkoljA	132.04±4.60	136.58±5.78	135.09±7.01	133.63±5.72
Vxpoč	4.31±0.15	4.45±0.15	4.52±0.22	4.46±0.24
VxO	4.26±0.18	4.41±0.17	4.50±0.22	4.41±0.27
Vypoč	-1.54±0.12	-1.65±0.11	-1.97±0.10	-2.13±0.15
VyO	2.59±0.12	2.50±0.14	2.40±0.15	2.28±0.14
Kodr	31.35±1.77	29.62±1.97	28.42±2.60	27.42±2.06
tK	214.33±18.18	202.93±19.68	202.40±17.86	216.20±18.13
tA	114.73±9.60	100.13±17.00	94.67±12.16	103.20±13.82
tO	99.60±14.72	100.80±18.67	107.73±11.05	113.00±14.91
Fy	4453.35±898.2	5214.24±671.86	5524.18±541.58	5634.78±373.22
Fx	863.96±251.09	1106.91±1003.87	918.51±294.74	1077.50±405.52
Fz	394.36±208.76	533.15±242.65	559.52±305.63	587.52±332.63

* hTTpoč -početna visina TT, hTTA -visina TT u trenutku amortizacije, KkoljA -najmanji kut u koljenom zglobu, Vxpoč -horizontalna brzina na početku odraza, VxO -horizontalna brzina na kraju odraza, Vypoč -vertikalna brzina na početku odraza, VyO -vertikalna brzina na kraju odraza, Kodr -kut odraza, tK -trajanje kontakta, tA -trajanja amortizacije, tO -trajanje odraza, Fy -maksimalna vertikalna sila, Fx -maksimalna horizontalna sila, Fz -maksimalna lateralna sila, X -aritmetička sredina, SD -standardna devijacija

* hTTpoč -CM height at beginning, hTTA -CM height at moment of amortisation, KkoljA -knee angle at amortisation, Vxpoč -horizontal velocity at touch-down, VxO -horizontal velocity at take-off, Vypoč -vertical velocity at touch-down, VyO -vertical velocity at take-off, Kodr -take-off angle, tK -contact time, tA -duration of compression phase, tO -duration of take-off phase, Fy -max vertical force, Fx -max horizontal force, Fz -max lateral force, X -arithmetic mean, SD -standard deviation

REZULTATI I DISKUSIJA

Prikaz izračunatih vrijednosti kinematičkih, kinetičkih i EMG signala nalazi se u Tablici 4.

Rezultati analize skokova s visine 35cm

Ako promatramo vrijednosti vertikalne brzine TT na početku odraza, tada je moguće primjetiti kako se radi o znatno većoj negativnoj vertikalnoj brzini koja je posljedica djelovanja gravitacijskog ubrzanja na tijelo skakača dok vrši saskok s povišenja. Kod skoka u dalj iz zaleta radi se o vrlo malim vrijednostima vertikalne brzine na početku odraza, a nerijetko vrijednosti vertikalne brzine na početku odraza imaju pozitivan predznak. Vrijednost vertikalne brzine na početku odraza bila je oko -1.5 m/s. Dok se horizontalna brzina za vrijeme trajanja odraza gotovo ne mijenja ili lagano opada, vrijednost vertikalne brzine se značajno mijenja i iz negativne raste do 2.5 m/s, što je oko 1.5 m/s (0.75 puta) manja vrijednost nego ona koja se postiže na kraju odraza u skoku u dalj. Očito je kako je vertikalnu brzinu lakše producirati kod vježbi dubinskih skokova nego kod odraza u skoku u dalj iz zaleta, gdje je dominantna velika horizontalna brzina kretanja skakača (4, 14).

Rezultati dobiveni kinetičkom analizom ukazuju na relativno velike vrijednosti vertikalne komponente sile reakcije podloge (Fy) koja je ostvarena već prilikom skokova s visine 35cm. Vrijednost tih rezultata je između 3250 i 5900N. Rezultati horizontalne sile reakcije podloge znatno su nižih vrijednosti (576.44N do

1596.47), nego oni dobiveni prilikom skoka u dalj iz zaleta čemu je zasigurno razlog mala horizontalna brzina ispitanika prilikom doskoka na platformu. Vrijednosti lateralne komponente sile reakcije podloge i njihovo osciliranje može se protumačiti izuzetno stresnim kontaktom s podlogom, što je vidljivo i na video zapisu u smislu lateralnih amplituda skočnog zgloba i koljena u fazi amortizacije.

Trajanje kontakta s podlogom je kinetička veličina koja zavisi od kvalitetne pripreme u smislu prednapetosti muskulature odrazne noge i aktivnog postavljanja odrazne noge na podlogu. Raspon vrijednosti tog parametra je 196-254ms. Duže trajanje kontakta s podlogom najčešće je rezultat postavljanja stopala na mjesto odraza naglašeno na petu što tada produžuje fazu amortizacije (ekscentričnu fazu mišićne kontrakcije), a ujedno i ukupno trajanje odraza.

Rezultati analize skokova s visine 50 cm

Amortizacija izražena u kutu koljena odrazne noge prilikom izvođenja vježbi dubinskih skokova s visine švedskog sanduka 50 cm nije znatno manja nego kod skokova s visine 35 cm. To je još jedan od pokazatelja da veća visina saskoka nije uvjetovala spuštanje TT ispitanika izraženo kroz manji kut u koljenom zglobu odrazne noge usporedivo s rezultatima analiza skoka u dalj iz zaleta (2, 3, 9, 17). No, i nadalje vrijedi prije spomenuta primjedba kako su apsolutne vrijednosti kuta amortizacije uglavnom niže od 140° (najniža vrijednost je 127°) dok je amplituda amortizacije i dalje vrlo povoljna (10-15°). To znači da ispitanici vrlo brzo uspijevaju iz ekscentričnog tipa kontrakcije ostvariti koncentričan rad muskulature.

Deskriptivni parametri skokova s visine 50 cm ukazuju (tablica 4) na veću prosječnu vertikalnu silu reakcije podloge (5214 N), ali i kraće trajanje kontakta s podlogom (202 ms), čemu je vjerojatno razlog adaptacija muskulature ispitanika i kvalitetnija priprema za skokove. Trajanje amortizacijske faze i faze aktivnog odraza je jednako (100 ms).

Rezultati analize skokova s visine 70 cm

Najveća visina TT prilikom skokova s visine 70 cm kreće se u intervalu 140 -150 cm. Zbog veće visine saskoka porasla je vertikalna brzina TT kod doskoka (-1.97 m/s), dok vertikalna brzina TT u trenutku odraza pada (2.40 m/s), što rezultira i manjim vrijednostima kuta odraza (28°). Posljedica veće visine saskoka je i veća vrijednost vertikalne sile reakcije podloge (5524 N).

Rezultati analize skokova s visine 70 cm + opterećenje 5kg

Prosječna vrijednost kuta u koljenom zglobu svih ispitanika na ovoj visini saskoka bila je 133.62° što je i dalje relativno mala vrijednost. Kao što je bilo za očekivati, zbog dodatnog opterećenja koje je ujedno uvećalo i masu ispitanika, prosječna vrijednost vertikalne sile reakcije podloge u izvođenju ovog zadatka je najveća (5634.78 N). Prosječna vrijednost horizontalne brzine bila je 1077.50 N, a lateralne 523.44 N.

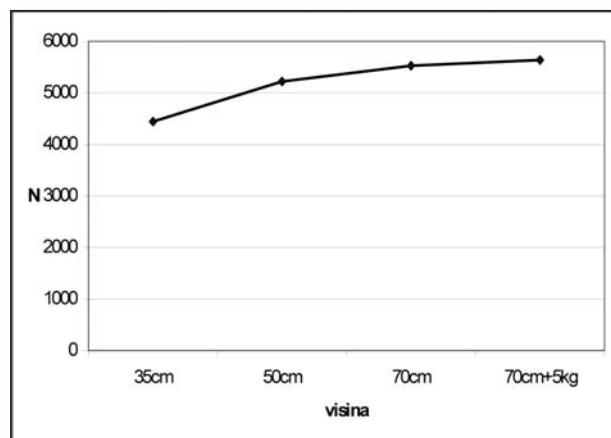
Prosječno trajanje odraza bilo je 216.20 ms, što je više nego kod ostalih razina opterećenja, no uvidom u

rezultate vidljivo je da su ispitanici u nekim pokušajima uspjeli izvesti zadatak s trajanjem kontakta manjim od 200 ms. Zanimljivost u odnosu trajanja amortizacije i aktivnog odraza je kraće trajanje prvog (ekscentričnog) od drugog (koncentričnog) mišićnog režima rada, što povećava efikasnost transfera prikupljene elastične energije u aktivni dio odraza.

Korištenje dodatnog vanjskog opterećenja od 5 kg u obliku pojasa, skakačima je otežalo izvođenje zadatka. To je vidljivo prema nižem kutu amortizacije u koljenom zglobu (133°), što je manja nego na prethodnim razinama opterećenja. Povećala se negativna vertikalna brzina u trenutku doskoka (-2.13 m/s) i vertikalna sila reakcije podloge (5634 N). Također kod ispitanika se produžilo trajanje kontakta s podlogom (216 ms).

Slika 4. Prosječne vertikalne vrijednosti sile reakcije podloge po pojedinim visinama

Figure 4. Average vertical ground reaction forces at particular height



Prema prosječnim vrijednostima vertikalne komponente sile reakcije podloge (slika 4) vidljiva je progresivna zahtjevnost zadataka, a najveće pojedinačne vrijednosti (6311N) veće su do 9 puta od težine ispitanika. Ranijim istraživanjima odraza kod skoka u dalj (1, 2, 3) dobivene su niže vrijednosti (5132N) vertikalne sile reakcije podloge, dakle izvedbe odraza kod nekih dubinskih skokova zahtjevnije su i od izvedbe odraza u skoku u dalj.

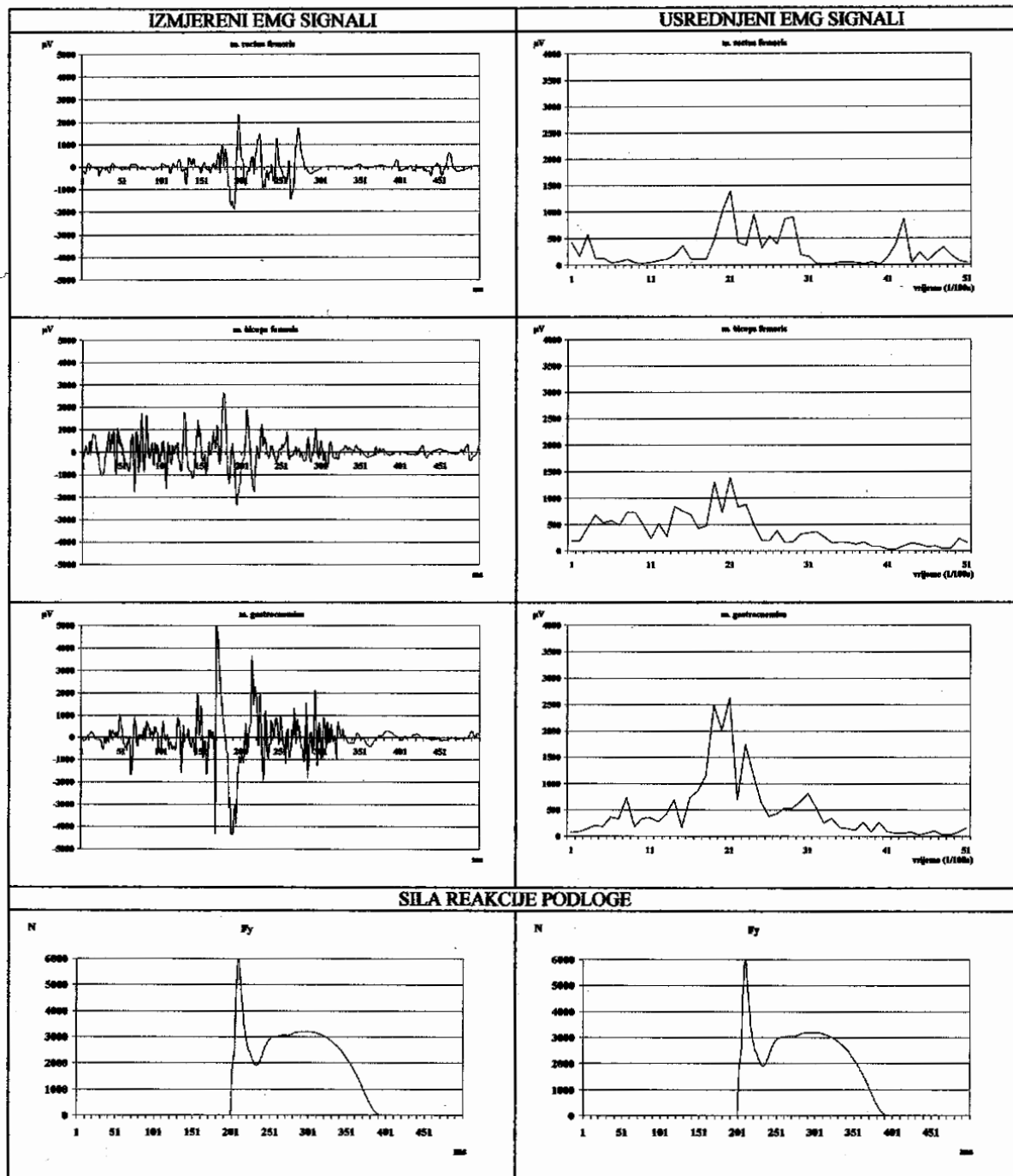
Rezultati EMG analize

Elektromiografska aktivnost muskulature izražena je u μ V. Kod svih ispitanika izražena je značajnija aktivacija muskulature u vrijeme kontakta s podlogom. No, valja primijetiti kako je i prije samog kontakta s (ispitanik se nalazi u fazi leta) podlogom u većem broju pokušaja vidljiva aktivnost koja nije maksimalna, a može se protumačiti prednapetošću muskulature kako bi se osigurao što kvalitetniji doskok i odraz.

Količina mišićnog rada u jedinici vremena izračunata je površinom ispod krivulje usrednjenih signala, a vrijednosti se nalaze u tablici 5. Najujednačeniji rezultati prisutni su kod ispitanika DeVo (tablica 5) na svim razinama opterećenja. Vidljiva je najmanja EMG aktivnost mišića m. biceps femoris, zatim m. quadricepsa, a najveći rad iskazao je m. gastrocnemius. Kod ispitanika MaBa dominantno je izražena aktivnost m.

rectus femorisa, zatim m. biceps femorisa, a najmanje m. gastrocnemiusa. Kod ostalih ispitanika u pokušajima na različitim visinama izmjeren je i različit odnos u sudjelovanju promatranih mišića u odrazu (13).

Slika 6. Prikaz izmjerenih izvornih usrednjenih EMG signala i sile reakcije podloge na visini saskoka 70cm
Figure 6. Measured original and averaged EMG signals and ground reaction forces at height 70cm



Količina mišićnog rada u jedinici vremena izračunata je površinom ispod krivulje usrednjenih signala, a vrijednosti se nalaze u tablici 5. Najjednačiji rezultati prisutni su kod ispitanika DeVo (tablica 5) na svim razinama opterećenja. Vidljiva je najmanja EMG aktivnost mišića m. biceps femorisa, zatim m.

quadricepsa, a najveći rad iskazao je m. gastrocnemius. Kod ispitanika MaBa dominantno je izražena aktivnost m. rectus femorisa, zatim m. biceps femorisa, a najmanje m. gastrocnemiusa. Kod ostalih ispitanika u pokušajima na različitim visinama izmjeren je i različit odnos u sudjelovanju promatranih mišića u odrazu (13).

Tablica 5. EMG aktivnost izražena kao površina ispod krivulje (*izražene u mVs*)
 Table 5. EMG activity expressed as the surface area under the curve (mVs)

	Visina (cm)	m. rectus femoris (mVs)	m. biceps femoris	m. gastrocnemius
SiEr	35	14.50	25.97	31.34
	50	19.27	16.59	22.34
	70	13.71	19.39	25.05
DeVo	35	21.75	16.39	25.66
	50	21.21	16.26	28.52
	70	22.52	16.13	32.05
MaBa	35	23.28	15.40	10.94
	50	28.76	13.76	9.79
	70	31.13	17.70	11.38
BoFr	35	17.42	11.18	*
	50	19.31	9.97	*
	70	20.36	12.67	*
IvPu	35	22.46	20.88	14.49
	50	28.93	14.15	32.36
	70	21.93	13.97	14.61

* kod ispitanika zbog tehničkih problema nije izmjerena EMG aktivnost m. gastrocnemius

* due to the technical problems the EMG activity of the m. gastrocnemius was not recorded

Izračunate vrijednosti površine ispod krivulje ukazuju kako izvođenje dubinskih skokova uključuje sve navedene mišiće, ali u različitim pokušajima oni mogu biti i različito aktivirani, što je vjerojatno posljedica drugih čimbenika koji su vezani uz tehniku izvođenja skokova (položaj tijela u trenutku doskoka, način postavljanja stopala na podlogu, maksimalna svjesna kontrakcija prije doskoka kako bi se osigurala potrebna prednapetost muskulature).

Rezultati istraživanja pokazali su da se već i na manjim visinama saskoka (35-50 cm) prilikom izvođenja vježbi dubinskih skokova može pojaviti vertikalna sila reakcije podloge (5900 N) koja premašuje vrijednosti koje se pojavljuju kod skoka u dalj. Horizontalna sila reakcije podloge manja je od vrijednosti kod skoka u dalj čemu je razlog dvostruko manja horizontalna brzina kretanja skakača prilikom doskoka na platformu. Zbog toga što je doskok na platformu izveden iz mjesta, bez prethodne mogućnosti horizontalnog ubrzanja tijela, brzina i frekvencija pokreta su ograničene.

Manje horizontalno ubrzanje tijela u slučaju dubinskih skokova zamjenjuje veće vertikalno ubrzanje tijela, koje je u trenutku doskoka negativnog predznaka, što zajedno s već prije spomenutim nedostatkom pripreme za skok rezultira dužim trajanjem kontakta s podlogom (oko 200 ms) i nalazi se na gornjoj granici intervala preporučenog za trening eksplozivne snage putem dubinskih skokova.

Odnos između trajanja amortizacijskog i aktivnog dijela odraza je podjednak (50%:50% na visini 50 cm) ili je trajanje faze amortizacije kraće od trajanja odraza, npr. na visini saskoka 70cm+5kg, gdje je omjer 47%:53%. Zbog navedenih razloga skakači vrlo uspješno produciraju veću vertikalnu brzinu na kraju odraza koja im omogućuje veći odrazni kut (između 24° i 33°) nego kod skoka u dalj (5, 9, 17).

Prema rezultatima EMG aktivnosti muskulature odrazne noge moguće je zaključiti kako je priprema i predaktivacija prije samog doskoka izuzetno važna kako bi se izveo dobar skok. Ne može se izvesti generalan zaključak o veličini uključenosti mjerenih mišića prilikom skokova za sve ispitanike, jer je prilikom izvođenja pojedinih pokušaja došlo do različite uključenosti promatrane muskulature. No, moguće je primijetiti kako je aktivnost m. rectus femoris i m. biceps femoris značajna prije doskoka i u prvoj fazi odraza, a m. gastrocnemiusa za vrijeme trajanja odraza i na kraju odraza.

ZAKLJUČAK

Razmatranjem biomehaničkih karakteristika skoka u dalj s načinom mišićnog rada *-ekscentrično-koncentričnog* -u vježbama analiziranih dubinskih skokova pronađene su sličnosti u funkcioniranju muskulature nogu u biomehaničkim značajkama važnim za izvođenje dubinskih skokova.

Rezultatima istraživanja prikazana je mogućnost cjelovitog biomehaničkog opisa vježbi dubinskih skokova i potvrđena je opravdanost istih u pripremi skakača u dalj. Za očekivati je da će se rezultati istraživanja jednostavno prenijeti u proces treninga i to u dio gdje se uz pomoć dobivenih podataka može odrediti razina sredstava fizičke pripreme *-eksplozivne snage* - kod skoka u dalj. Treneri će lakše određivati visine i udaljenosti povišenja u odnosu na mjesto doskoka, dok volumen opterećenja u smislu broja serija i broja ponavljanja, naravno, zavisi od treniranosti, kvalitete, dobi i spola skakača.

Literatura

1. Ballreich R, Kuhlow A, editors. *Biomechanik des Weitsprungs*. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag; 1986.
2. Bosco C, Luhtanen P, Komi PV. Kinetics and kinematics of the take-off in the long jump. *Proceedings of the Fifth International Congress of Biomechanics*, Jyväskylä, Finland University Park Press 1975;174-80.
3. Čoh M, Đorđević S, Mikuž B. Modelling long jump technique. Ljubljana: Biomechanical characteristic of technique in certain sports, Faculty of sport, Institute of Kinesiology 2000;191-203.
4. Čoh M. *Treniranje snage u sportu*. Fitness, Međunarodno savjetovanje, Zagreb: Fakultet za fizičku kulturu, 1996;36-40.
5. Fukasiro S, Wakayama A. The men's Long Jump. *New Studies in Athletics* 1992;7:53-6.
6. Gollhofer A. Functional importance of proprioceptive activation on neuromuscular properties. *Proceedings of Limiting Factors of Human Neuromuscular Performance*, Jyväskylä, Finland 1999;51-2.
7. Hay JG, Miller JA, Canterna RW. The techniques of elite male long jumpers. *J Biomech* 1986;19:855-66.
8. Hay JG, Miller JA. Techniques used in the transition from approach to take-off in the long jump. *J Sport Biomech* 1985;1:174-84.
9. Hay JG. The takeoff in the long jump and other running jumps. *Scientific Proceedings of the XVII International Symposium on Biomechanics in Sports*, School of the Biomedical and Sports Science Perth, Western Australia 1999;3-13.
10. Hermens HJ, Freriks B, Marletti R, Rau G, Hägg G, Stegeman D, editors. *SENIAM -European Recommendations for Surface ElectroMyoGraphy (Results of the SENIAM project)*. Roessing Research and Development; 1999.
11. Komi PW, Gollhofer A. Stretch reflex can have an important role in force enhancement during SSC exercise. *J Appl Biomech* 1997;13:451-60.
12. Komi PW, Nicol C. Stretch-Shortening Cycle of Muscle Function. In: *Biomechanics in sport* (ed. V. M. Zatsiorsky), Blackwell Science Ltd., London; 2000
13. Medved, V. *Measurement of human locomotion*., Boca Raton: CRC Press LLC; 2001.
14. Mero A, Komi PV. EMG, Force, and Power Analysis of Sprint-Specific Strength Exercises. *J Appl Biomech* 1994;10:1-13.
15. Milanović D, Čoh M. Metodika treninga eksplozivne snage. U: *Fitness, Međunarodno savjetovanje* (ur. D. Milanović). Zagreb: Fakultet za fizičku kulturu, 1996;47-52.
16. Spägle T, Kistner A, Gollhofer A. Modelling, simulation and optimisation of a human vertical jump. *J Biomech* 1999;32:521-30.
17. Vorobiev A., Ter-Ovanesian I, Ariel G. Two world's best long jumps: Comparative biomechanic analysis. *Track&Field Quarterly Review* 1992;92:6-10.