

FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA
UNIVERZITET U BEOGRADU

Dragan M. Mirkov

**ULOGA MIŠIĆNE JAČINE U
KINEMATIKOJ ŠEMI POKRETA**

Doktorska disertacija

Beograd, 2003. godine

FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA
UNIVERZITET U BEOGRADU

Dragan M. Mirkov

**ULOGA MIŠIĆNE JAČINE U
KINEMATIČKOJ ŠEMI POKRETA**

Doktorska disertacija

Rad ima 113 strana, 12 slika i 10 tabela

Beograd, 2003. godine

Mentor:

Prof. dr. Miloš Kukolj, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, Univerzitet u Beogradu

Članovi komisije:

Prof. dr. Dušan Ugarković, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja,
Univerzitet u Beogradu

Prof. dr. Slobodan Jarić, Department of Health and Exercise Sciences,
University of Delaware

Prof. Dr. Dušan Ristanović, Institut za biofiziku, Medicinski fakultet,
Univerzitet u Beogradu

Istraživanja su izvedena u Laboratoriji za biomehaniku Instituta za biofiziku, Medicinskog fakulteta u Beogradu, Laboratoriji za neurofiziologiju Instituta za medicinska istraživanja u Beogradu i Metodičko istraživačkoj laboratoriji Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja u Beogradu.

Istraživanja su delom finansirana sa Projekta MINISTARSTVA ZA NAUKU I TEHNOLOGIJU REPUBLIKE SRBIJE BROJ 1758: Institut za medicinska istraživanja, (rukovodilac projekta: Slobodan Jarić): **Procena mišićne funkcije na osnovu motoričkih testova**. I BROJ 1737: Institut za medicinska istraživanja, (rukovodilac projekta: Miloš Ljubisavljević): **Poremećaji funkcije bazalnih ganglija u centralnom zamoru**.

Materijal izložen u ovoj disertaciji delom je zasnovan na rezultatima koji su objavljeni ili poslani u međunarodne i domaće časopise:

1. Mirkov MD, Milanovic S, Ilic DB, Jaric S:(2002) Symmetry of discrete and oscillatory elbow movement: Does it depend on torque that agonist and antagonist muscle can exert. Motor Control, 6:.274-285.
2. Mirkov MD, Nedeljkovic A, Milanovic S, & Jaric S: Muscle strength testing: evaluation of tests of explosive force production. European Journal of Applied Physiology (SUBMITTED)
3. Mirkov MD, Nedeljković A: Procena mišićne jačine: da li su testovi jačine pouzdani za procenu efekata treninga snage. Fizička kultura (Poslato)

SAŽETAK

Glavni cilj prikazanih istraživanja je da se ispita povezanost mehaničkih osobina aktivnih mišića i kinematičke šeme voljnih pokreta. U tu svrhu izvedena su tri eksperimenta:

I EKSPERIMENT: U ovom istraživanju testirana je hipoteza da jačina testiranih mišića utiče na simetriju profila brzine voljnih pokreta. Dvanaest ispitanika izvodilo je diskretne i oscilatorne pokrete, fleksije i ekstenzije. Pokreti su izvođeni umerenom i najvećom brzinom, u dva različit ugaona intervala. Koeficijent simetrije (KS) računat je sa ciljem da se proceni simetričnost pokreta (profila brzine). Dobijeni rezultati pokazali su da je $KS > 1$ kod diskretnih, a delom i oscilatornih pokreta. Pokazano je da je promena KS povezana sa povećanjem brzine. Promene ugaonog intervala odnosno smeru pokreta, takođe su uticale na promenu KS. Odstupanja od idealno simetričnog pokreta su se do sada najčešće objašnjavala ili nedostacima različitih modela i hipoteza motorne kontrole, ili nesavršenosti kontrole pokreta posebnih grupa ispitanika. Ova studija predlaže alternativna objašnjenja, zasnovana na mehaničkim karakteristikama aktivnih mišića.

II EKSPERIMENT: Predmet ovih istraživanja je evaluacija četiri testa tzv. brzine razvoja sile (BRS). Ispitanicima ($N=26$) je testirana brzina razvoja sile (BRS) mišića fleksora i ekstenzora u zglobu lakta. Takođe, ispitanici su izvodili brze oscilatorne i diskretne pokrete fleksije i ekstenzije u zglobu lakta. Pored maksimalne sile (F_{max}), četiri različita kriterijuma za procenu BRS izvedena su iz zabeležene vremenske funkcije signala sile: vremenski interval od trenutka kada je dostignut nivo jednak 30% F_{max} do trenutka kada je dostignut nivo od 70% F_{max} ($T_{30\%-70\%}$), maksimum prvog izvoda signala sile u vremenu (RFD), maksimum prvog izvoda signala sile u vremenu relativizovan maksimalnom silom (RFD/F_{max}), kao i nivo sile dostignut u stotoj milisekundi od početka delovanja silom (F_{100ms}). Pouzdanost većine testova za procenu BRS je procenjena kao veoma dobra, odnosno dobra. Povezanost F_{max} sa RFD i F_{100ms} je bila pozitivna ali ne i sa $T_{30\%-70\%}$ i RFD/F_{max} . Bez obzira na jednostavnost testiranih pokreta, povezanost između testova BRS i parametara pokreta bila je neznatna. Iz svega pomenutog zaključeno je da se većinom pomenutih testova mogu pouzdano procenjivati neuromišićne funkcije. Tzv. eksterna validnost ovih testova ovde nije dokazana.

III EKSPERIMENT: Predmet ovog istraživanja je ispitivanje osetljivosti izometrijskog testa jačine (F_{max}) i pojedinih testova za procenu brzine razvoja sile (testovi BRS), na promene izazvane treningom jačine. Nakon familijarizacije sa eksperimentalnim zahtevima, 8 ispitanika (eksperimentalna grupa) pre i posle šestonedelnog treninga jačine, imalo je zadatak da na što brži način razvije maksimalne izometrijske sile fleksora i ekstenzora u zglobu lakta. Preostalih 13 ispitanika takođe je testirano pre i posle perioda od šest nedelja, ali bez treninga između dva testa. Poređenjem rezultata pre i posttesta u eksperimentalnoj grupi za fleksore, kao posledica treninga, uočeno je značajno poboljšanje F_{max} i RFD-a, dok je na preostale veličine efekat treninga bio neznatan. Povezanost F_{max} sa RFD i $T_{30\%-70\%}$ i RFD/F_{max} bila je statistički značajna. Pouzdanost ponovljenog merenja bila je veća kod fleksora nego kod ekstenzora. Pouzdanost većine testova kod fleksora ocenjena je kao dobra. Dobijeni rezultati sugerišu da je, pored F_{max} , i RFD osetljiv na promene izazvane primenjenim treningom. Iako je između pre i posttesta proteklo šest nedelja, pouzdanost F_{max} i RFD ostala je zadovoljavajuća. Rezultati prikazanih istraživanja sugerišu da pojedini periferni faktori, na primer, sposobnost mišića da što brže razvije silu, utiču na kinematičku šemu voljnih pokreta. Da bi se pomenuti faktori uzeli u obzir, neophodno je preispitati postojeće teorije i modele motorne kontrole.

Ključne reči: diskretni, oscilatorni, koeficijent simetrije, fleksori, ekstenzori, relacija sila-vreme, pouzdanost, validnost, lakat, pokret.

ABSTRACT

The main aim of present research was to investigate the relationship between mechanical properties of active muscles and kinematic patterns of voluntary movements. The following experiments were performed:

I EXPERIMENT: the hypothesis that strength of active muscles affects the symmetry of the velocity profiles of voluntary movements was tested. Twelve subjects performed flexions and extensions in blocks of either discrete or oscillatory movements. They were tested under high and moderate speed conditions, as well as within different ranges of elbow joint angles. The symmetry ratio (SR; acceleration time divided by deceleration time) was calculated in order to assess movement symmetry. The results demonstrated $SR > 1$ under most of the discrete and, particularly, oscillatory movement conditions. A velocity associated increase in SR was recorded, while different ranges of elbow movements assumed to provide different torques of the agonist and antagonist muscles, also provided different SR. Since deviations from the ideal movement symmetry have been usually interpreted as either weakness of various motor control models and hypotheses or as a sub-optimal control of movements in certain subject populations, the present study suggests an alternative interpretation based upon the ability of active muscles to exert torque.

II EXPERIMENT: The aim of the study was to evaluate four tests of explosive force production (EFP). Subjects ($N=26$) were tested on maximum explosive strength of the elbow extensor and flexor muscle, as well as on rapid elbow extension and flexion movements performed in both oscillatory and discrete fashion. In addition to maximum force (F_{max}), four different EFP tests were assessed from the recorded force-time curves: the time interval elapsed between achieving 30% and 70% of F_{max} ($F_{30\%-70\%}$), the maximum rate of force development (RFD), the same value normalized with respect to F_{max} (RFD/F_{max}), and the force exerted 100 ms after the contraction initiation (F_{100ms}). Most of EFP tests revealed either good or fair reliability which was also comparable with the reliability of F_{max} . RFD and F_{100ms} demonstrated positive relationship with F_{max} , but not $T_{30\%-70\%}$ and RFD/F_{max} . Despite the simplicity of the tested movement tasks, the relationship observed between the EFP tests and movement performance remained moderate and partly insignificant. It was concluded that most of the EFP tests could be reliable for assessment of neuromuscular function. However, their 'external validity' when applied to assess ability for performing functional movements could be questioned.

III EXPERIMENT: The aim of the study was to investigate sensitivity and reliability of strength test and different tests of explosive force production (EFP) on changes induced with resistance training. After preliminary familiarization 8 male subjects (experimental group) were tested on maximum explosive strength of the elbow extensor and flexor muscle, prior and after 6 weeks of intensive heavy resistance training. Another 13 male subjects were tested prior and after 6 weeks, without being involved in any training regimen. When pre- and post- test were compared (experimental group), a prominent training associated improvement in F_{max} and RFD were recorded, while changes in other measures of EFP were insignificant. RFD and $T_{30\%-70\%}$ demonstrated a significant relationship with F_{max} . Reliability of repeated measures was higher for elbow flexors than for elbow extensors. Most of the applied EFP tests revealed moderate reliability. Therefore, the results obtained generally suggests that except F_{max} and RFD was sensitive to the effects of performed training and that most of the EFP tests could be reliable for assessment of effects of performed training. Taken together, the present results suggest that some peripheral factors, such as ability of active muscle to exert high forces in an explosive way, could also affect kinematical patterns of voluntary movements.

Therefore, it could be concluded that a number of motor control models and theories based exclusively on central programming of movement patterns should be revisited in order to include the studied peripheral factors.

Key words: discrete, oscillatory, elbow extensor and flexor muscle force-time, reliability, validity, elbow, movement.

Pregled skraćenica:

- $\Delta\phi$: Ugaoni pomeraj
- **1RM**: jedno maksimalno ponavljanje
- **AG1**: početak EMG bloka agonista
- **AG2**: drugi blok agonista
- **ANT1**: EMG blok antagonista
- **ANT2**: drugi blok antagonista
- **BRS**: testovi za procenu brzine razvoja sile
- **CNS**: centralni nervni sistem
- **CV**: koeficijent varijacije
- **DT**: dizači tegova
- $d^n\tau/dt^n$: n-ti izvod mišićnog momenta
- **EMG**: elektromiografija
- **F_{100ms}**: postignuta sila u stotoj milisekundi od početka delovanja
- **F_{max}**: maksimalna sila (mišićna jačina)
- **ICC**: "Intraklas" korelacioni koeficijent
- **KS**: koeficijent simetrije
- **LT**: kašnjenje antagonista
- **MB**: maksimalna brzina pokreta
- **MVC**: maksimalna voljna kontrakcija
- **RFD/F_{max}**: priraštaj sile relativizovan maksimalnom postignutom silom
- **RFD**: priraštaj sile
- **SG**: sistematska greška
- **SSC**: ciklus skraćanja i izduženja mišića
- **T_{30%-70%}**: vremenski interval od trenutka dostizanja 30% maksimalne sile do trenutka dostizanja 70% maksimalne sile
- **TP**: trajanje pokreta
- **VG**: varijabilna greška
- **α -MN**: alfa motorni neuroni
- **τ** : mišićni moment

UVOD	10
Pojam i predmet istraživanja motorne kontrole	10
Metode u motornoj kontroli	11
Klasifikacija kretanja	11
Merenje u motornoj kontroli	12
Neke kinematičke karakteristike osnovnih pokreta	14
Elektromiografija (EMG).....	17
Elektromiografske karakteristike osnovnih pokreta	17
Kinetičke i elektromiografske karakteristike jednozglobnih izometrijskih kontrakcija	18
Hipoteze i modeli	20
“Inženjerski” modeli	20
“Neuro - fiziološki” modeli	22
Testovi za procenu jačine.....	22
Definicije.....	22
Primena testova jačine	23
Tipovi dinamometrije.....	24
Rezultati istraživanja neuromišićnih funkcija.....	28
Pouzdanost testova.....	28
Korelacije testova jačine i testova za procenu performansi	32
Osetljivost testova jačine i snage na efekte treninga	34
Uticaj telesnih dimenzija na procenu jačine i snage	36
Budući pravci istraživanja.....	37
CILJEVI I ZADACI ISTRAŽIVANJA	39
HIPOTEZE	40
I EKSPERIMENT: Simetrija diskretnih i oscilatornih jednozglobnih pokreta.	
Zavisnost od momenata mišićnih sila koje mogu da razviju agonisti i antagonisti	41
Sažetak	41
Uvod.....	42
Metode	44
Uzorak	44
Uslovi eksperimenta.....	44
Instrukcije	44
Protokol eksperimenta	46
Akvizicija i obrada eksperimentalnih rezultata.....	46
Rezultati	49
Diskusija	52
II EKSPERIMENT: Procena mišićne jačine i evaluacija testova za procenu brzine razvoja sile	56
Sažetak	56
Uvod.....	57
Metode	58
Uzorak	58
Uslovi eksperimenta.....	59
Akvizicija i obrada eksperimentalnih rezultata.....	61
Statistička analiza.....	63
Rezultati	64
Diskusija	68
Pouzdanost testova za procenu BRS.....	69

Povezanost testova za procenu BRS sa $F_{\max}$	70
Veza sa performansama pokreta	72
Zaključci	74
III EKSPERIMENT: Osetljivost i pouzdanost procene mišićne jačine i brzine razvoja sile pri testiranju efekata treninga jačine	76
Sažetak	76
Uvod	77
Metode	79
Uzorak	79
Trening jačine	81
Akvizicija i obrada eksperimentalnih rezultata	81
Statistička analiza	82
Rezultati	82
Diskusija	86
Osetljivost pojedinih testova na promene izazvane treningom	86
Zaključci	88
OPŠTA DISKUSIJA	90
Uticaj mehaničkih karakteristika	90
Testovi jačine i brzine razvoja sile (BRS)	92
Dalji pravci istraživanja	94
OPŠTI ZAKLJUČAK	96
LITERATURA	98
BIOGRAFIJA	107

UVOD

Pojam i predmet istraživanja motorne kontrole

Kretanje predstavlja osnovu života. Život bez kretanja, ne bi bio moguć. Naša sposobnost da vršimo razne pokrete znatno je više od puke pogodnosti koja nam omogućuje da hodamo, igramo ili upravljamo objektima. Kretanje predstavlja značajan aspekt našeg evolutivnog razvoja, ne manje važan od evolucije naših intelektualnih sposobnosti ili emocija.

Pokreti koje svakodnevno vršimo toliko su različiti i raznovrsni, da ih je gotovo nemoguće sve nabrojati a još teže klasifikovati. Svakog dana izvodimo rutinske pokrete ali i učimo i usvajamo nove. Bez obzira na složenost pokreta koje izvodimo, prirodna je težnja da ih izvedemo što optimalnije. To podrazumeva usavršavanje mehanizma upravljanja tim pokretima, kao i što uspešnije savlađivanje raznih uticaja koji dolaze iz naše neposredne okoline a koji na te pokrete mogu da utiču.

Postoje razne vrste pokreta. Neke vrste možemo da smatramo prvenstveno genetski određenim, kao što je kontrolisano pomeranje udova. Drugi primer genetski predodređenih pokreta su pokreti nastali kao posledica refleksnih mehanizama. Svojstva ovih pokreta su, po svemu sudeći, genetski kodirana, ili se razvijaju tokom rasta i razvoja jedinke.

Druga vrsta pokreta može se smatrati “trajno naučenim”, kao što su pokreti prilikom vožnje automobila, plivanja ili kucanja na pisačkoj mašini. Ovi naučeni pokreti se obično nazivaju *veštinama*. Oni izgleda nisu urođeni i zahtevaju srazmerno dug period uvežbavanja i sticanja iskustva da bi se njima ovladalo. Gathrie (1952) je dao verovatno najbolju definiciju veština: “Veština se sastoji u sposobnosti da se nešto izvede krajnje precizno i sa najmanjim utroškom energije i vremena”.

Obe vrste pokreta (genetski predodređeni pokreti i veštine) mogu da budu krajnje jednostavni (pucketanje prstima), ili krajnje složeni (vežbe na konju sa hvataljkama). Pitanje koje se tu logično postavlja odnosi se na to kako se, bez obzira da li je reč o genetski predodređenim pokretima ili o veštinama, ti pokreti *kontrolišu*, tj. kako je centralni nervni sistem (CNS) organizovan da koordiniše rad tolikog broja zglobova i mišića. Takođe se postavlja pitanje kako informacije, koje prikupljaju i registruju naša čula iz okoline, utiču na upravljanje (kontrolu) pokretima i kako te informacije učestvuju u selekciji pokreta za koji je najcelishodnije da se u datim okolnostima izvrši. Istraživačka oblast koja se bavi ovom problematikom, naziva se **motorna kontrola** (Schmidt 1987).

Metode u motornoj kontroli

Klasifikacija kretanja

Klasifikacije pokreta i motornih zadataka važne su i iz drugih razloga: U oblastima koje se bave motornim ponašanjem i motornom kontrolom određeni motorni zadaci i odgovarajući pokreti opisuju se različitim pojmovima, koje je važno precizno definisati. Takođe, zakoni motornog ponašanja su, izgleda zavisni od vrste i načina izvođenja pokreta pa je zato jasno da bi se, bez odgovarajuće podele motornih zadataka i samih pokreta, rezultati istraživanja motorne kontrole znatno teže interpretirali i razumeli. Podela ima raznih. Po jednoj takvoj podeli (Schmidt, 1988), pokreti mogu da budu *diskretni*, *kontinualni* i *serijski*. *Diskretni* pokreti imaju poznat početak i kraj. *Kontinualni* pokreti definišu se kao pokreti koji nemaju uočljiv početak i kraj, a koji traju sve dok se ne ispuni određeni zadatak. *Serijski* pokreti se najčešće sastoje od niza diskretnih pokreta povezanih u odgovarajuću celinu. Za izvršenje takvih pokreta, ponekad je potrebno puno vremena, pa se zbog toga čini da su kontinualni, iako imaju diskretni početak i kraj. Serijski pokreti se zato mogu smatrati nizom diskretnih pokreta, poređanih po, za taj pokret, bitnom redosledu.

Prema drugoj podeli (Schmidt, 1988), pokreti mogu da budu otvoreni i zatvoreni. Ova podela izvršena je prema tome da li je na te pokrete moguće da

se utiče iz okoline ili ne (Poulton, 1957). Otvoreni pokreti ili veštine su oni koji se izvode u okolini koja se konstantno (ponekad nepredvidljivo) menja, tako da onaj koji te pokrete izvodi, ne može unapred da predvidi motorni odgovor. Uspeh izvršenja ovakvog pokreta, zavisi od sposobnosti izvođača da se adaptira promeni koja je posledica dejstva njegove okoline. Često je ta promena munjevita, tako da izvođač mora imati na raspolaganju više mogućnosti da bi mogao da odgovori postavljenim zahtevima. Zatvoreni pokreti ili veštine, su pokreti kod kojih je uticaj okoline potpuno predvidljiv. To znači da su uticaji konstantni, ili ako se menjaju, da su te promene pravilne, te ih je moguće u potpunosti kontrolisati (odrediti). Kod tih pokreta, ključna je činjenica da je u vremenskom intervalu dok se pokret izvodi, uticaj okoline potpuno poznat, pa mogu da se isplaniraju unapred. Kod otvorenih pokreta je dakle, neophodno biti spreman na nagla prilagođavanja nepredvidivim uticajima okoline, dok je kod zatvorenih pokreta neophodno da se obezbede homogeni i vrlo stabilni pokreti.

Merenje u motornoj kontroli

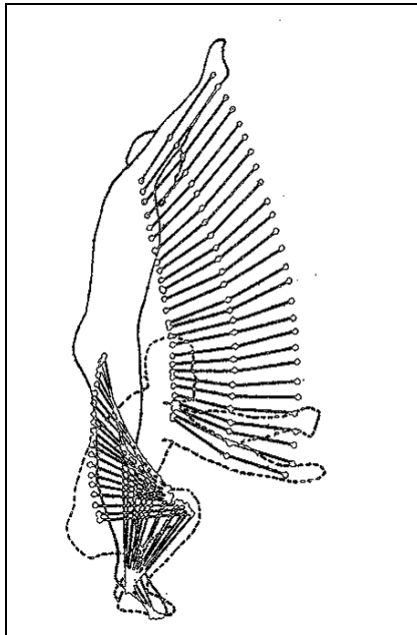
Istraživači u motornoj kontroli nastoje da odgovore na dva osnovna pitanja. Prvo pitanje je kakva je priroda pokreta koji se izvode, dok je drugo, koliko je uspešno ispunjen određeni cilj, karakterističan za postavljeni zadatak (npr. da li je data meta pogođena ili ne). Da bi smo na ta pitanja uspešno odgovorili, neophodno je da se definišu varijable koje opisuju posmatrane pokrete (u zavisnosti od nivoa posmatranja) i kako da se te varijable odrede odnosno na odgovarajući način izmere.

Opisivanje karakteristika kretanja

Postoji mnogo metoda koje se upotrebljavaju za opisivanje karakteristika pokreta. Primena određene metode zavisi od osobina pokreta koji se ispituje. U ovom radu korišćene su tzv. *kinematičke metode*, koje za opisivanje kretanja koriste termine iz fizike (Plagenhoef, 1971).

Kinematika kretanja

Kinematika je oblast mehanike koja izučava kretanje bez obzira na uzroke koji su to kretanje izazvali. U motornoj kontroli kinematičkim merenjima odabiraju se one veličine koje opisuju pomeranje udova ili celog tela. Npr. predmet merenja mogu da budu: položaji različitih segmenata tela, uglovi u raznim zglobovima, vremenske relacije između pokreta u dva različita zgloba itd. Ovde će biti pomenute samo najopštije kinematičke metode.



Slika 1

Skok iz čučnja, analiziran putem filmskog zapisa. Položaji obeleženih tačaka prikazani su u funkciji od vremena. Slika preuzeta iz "Motor Control and Learning" R. A. Schmidt, Human Kinetics Publishers, Inc. Champaign Illinois

Beleženje položaja

Najčešće se kinematičke metode koriste za beleženje položaja udova tokom kretanja. U ranom periodu izučavanja motornog ponašanja i biomehanike, za beleženje pokreta korišćena je kinematografija. Filmski zapisi odgovarajućih pokreta analizirani su "sliku po sliku" (Slika 1), da bi se zabeležili razni položaji različitih delova tela u vremenu (npr. položaj lakta, zgloba šake...). Vremenom, filmsku analizu su zamenile savremenije metode. Tako se na primer, za udove prikače mali svetlosni izvori (npr. svetlosne diode), čiji se položaji prate svetlosnim senzorima. Ovakva instrumentacija obezbeđivala je znatnu uštedu u

vremenu, ali se zbog cene takve opreme, filmska tehnika i dalje upotrebljava u značajnoj meri. Drugi način beleženja položaja u funkciji od vremena, postiže se beleženjem položaja poluge (ili neke druge, u tu svrhu konstruisane naprave), koju ispitanik pomera. Za polugu je pričvršćen potenciometar, instrument koji na svom izlazu daje napon proporcionalan ugaonom pomeraju. Signal sa izlaza potenciometra beleži se i kompjuterski dalje analizira. Ova metoda beleženja promene položaja u funkciji vremena korišćena je i u ovom radu. (Slika 2a). Na toj slici prikazan je ugaoni pomeraj u funkciji vremena, za jedan od brzih diskretnih pokreta.

Beleženje brzine

Slika 2b) prikazuje promenu brzine istog pokreta u funkciji od vremena. Grafik brzine predstavlja prvi izvod po vremenu pomenute funkcije ugaonog pomeraja. Radi lakšeg poređenja, vremenska skala ovog grafika ista je kao i skala grafika funkcija ugaonog pomeraja.

Beleženje ubrzanja

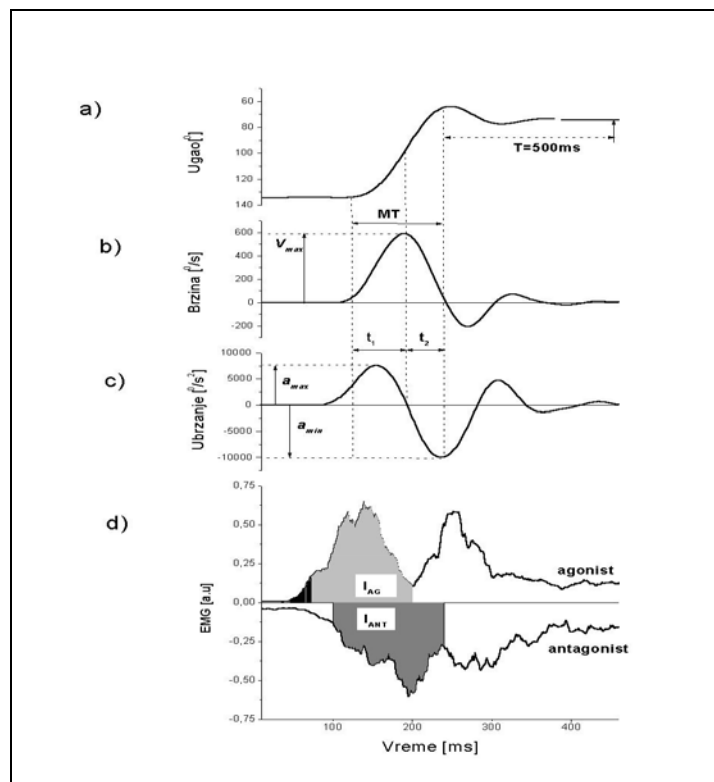
Slika 2c) prikazuje promenu ubrzanja istog pokreta u funkciji od vremena. Zavisnost ubrzanja od vremena dobijena je kao prvi izvod funkcije brzine po vremenu (drugi izvod funkcije ugla po vremenu). I ovde je vremenska skala ista kao za predhodne dve funkcije.

Neke kinematičke karakteristike osnovnih pokreta

Vremenske funkcije kinematičkih varijabli (ugaoni pomeraj, brzina i ubrzanje), posmatrane zajedno, pružaju kompletnu sliku ispitivanog pokreta. Često se u istraživanjima polazi od ovako dobijenih funkcija da bi se ispitala zavisnost ovih varijabli od promena određene nezavisne varijable (npr. položaj ili veličina mete u koju dati pokret treba da se izvede). Promene spoljnjih uslova i zahteva izvođenja imaju različit uticaj na vremenske zavisnosti ispitivanih varijabli.

Smanjivanje srednje brzine pokreta obično je praćeno povećanjem varijabilnosti putanje (ali ne i konačnog položaja) i manje glatkim krivama brzine. Kod sporih pokreta kriva zavisnosti brzine od vremena započinje porastom funkcije, nakon čega nailazi period približno konstantne brzine da bi, kako se pokret bliži kraju, funkcija počela da opada (Mayer et al. 1990). Povećanje ugaonog pomeraja pokreta izvedenog maksimalnom brzinom dovodi do skoro proporcionalnog povećanja kako maksimalne, tako i srednje brzine. Povećanje inercionog opterećenja bez promena dužine pokreta produžava trajanje pokreta i smanjuje mu prosečnu brzinu (Gottlieb et al. 1991). Slični odnosi između brzine, trajanja i inercijalnog opterećenja sistema u pokretu zapaženi su i pri promeni instrukcija kada nije zahtevana maksimalna brzina (Latash et al.1990).

Slika 2c) prikazuje promenu ubrzanja istog pokreta u funkciji od vremena. Zavisnost ubrzanja od vremena dobijena je kao prvi izvod funkcije brzine po vremenu (drugi izvod funkcije ugla po vremenu). I ovde je vremenska skala ista kao za predhodne dve funkcije.



Slika 2

Promena položaja (a), brzine (b) i ubrzanja (c) u funkciji od vremena brzog terminalnog pokreta u zglobu lakta. Pod (d). Tipičan EMG signal mišića agonista i antagonista tokom brzog terminalnog jednozglobnog pokreta u zglobu lakta. Slika preuzeta iz "Changes in Movement Variables associated with transient overshoot of Final Position" Milanovic, Blesic, Jaric, 1999, Journal of Motor Behavior.

Jedna od karakteristika koja dovodi u vezu oblik funkcije (konkretno, funkciju brzine) sa vrstom izvedenog pokreta je tzv. *simetrija pokreta*. *Simetrija pokreta* se odnosi na oblik grafika vremenske zavisnosti brzine (tzv. *profila brzine*) diskretnih pokreta. Koeficijent simetrije pri tome definiše se kao količnik *vremena ubrzanja* (interval od trenutka kada je započeto izvođenje pokreta, do trenutka dostizanja maksimuma brzine) i *vremena usporenja* (interval od trenutka dostignute maksimalne brzine do trenutka završetka pokreta). Profil brzine se često opisuje kao zvonast, sa jednakim vremenima ubrzanja odnosno usporenja ekstremiteta, čija se brzina posmatra. Takvi profili su uočeni i kod jednozglobnih i kod višezglobnih pokreta (Abend et al. 1982; Atkeson and Hollerbach 1985; Schmidt et al 1988). Takođe, pri promeni uslova izvođenja odgovarajućih pokreta (Lestienne 1979; Carter and Shapiro 1984; Schmidt et al. 1988) dobijeni su isti profili brzine. Zbog toga je sugerisano da simetrija pokreta može da doprinese objašnjenju osnovnih organizacionih principa koji učestvuju u njegovom generisanju (Brown and Cooke, 1990, s. 455). S druge strane, neki istraživači negiraju opšte prihvaćen stav o *simetriji pokreta*. Tako je Nagasaki (1989) pokazao da simetrčan profil brzina imaju samo oni pokreti koji su izvedeni umerenom brzinom. Maksimalna vrednost brzine kod sporih pokreta se postiže ranije, dok se kod brzih pokreta dostiže kasnije. Wiegner i Wierzbicka (1992) pokazali su da su brzi pokreti simetrični, sporiji asimetrični, sa kraćim intervalom ubrzanja odnosno dužim intervalom usporenja pokreta. Istraživanja u kojima se pratila sposobnost izvođenja određenih pokreta nakon njihovog uvežbavanja, pokazala su da je povećanje srednje brzine brzih diskretnih pokreta, kao posledica uvežbavanja, praćeno smanjenjem odnosa maksimalnih dostignutih vrednosti ubrzanja i usporenja (Corcos et al. 1993), kao i smanjenjem odnosa vremena ubrzanja i usporenja pokreta (*koeficijenta simetrije – KS*) (Jaric et al. 1993; Jaric et al. 1995).

Elektromiografija (EMG)

Jedan od načina da se odredi učešće pojedinih mišića u kretanju je beleženje njihove električne aktivnosti. Ta aktivnost je posledica kontrakcije odgovarajućih mišićnih grupa. Najjednostavniji način beleženja ove aktivnosti ostvaruje se postavljanjem (lepljenjem) elektroda na kožu iznad mišića čija se aktivnost posmatra. Da bi se beležile električne aktivnosti pojedinih delova mišića, elektrode takođe mogu da se postave pod kožu, na same snopove mišića ili mogu biti ubodene u same mišiće. Dobijen signal pojačava se i filtrira, da bi se u takvom obliku dalje obrađivao uz pomoć računara. Od vremena kad su nastali prvi snimci EMG pa do danas značajno se napredovalo u tumačenju EMG signala. Na osnovu tih rezultata objašnjene su mnoge pojave i mehanizmi u mišićnoj mehanici, kao i centralni procesi koji te signale prouzrokuju.

Elektromiografske karakteristike osnovnih pokreta

Na Slici 2d prikazan je tipični EMG signal sa mišića *tricepsa* i *bicepsa*, snimljen tokom izvođenja brzog terminalnog pokreta u zglobu lakta. Ovakva EMG šema naziva se „trofazni obrazac“. Mišić koji deluje u smeru pokreta (ubrzava segment) naziva se agonist, a mišić koji deluje u suprotnom smeru od smera pokreta (usporava segment) naziva se antagonist. Početak EMG bloka agonista (AG1) obično je prvi događaj brzog pokreta. On prethodi prvim kinematičkim promenama koje se pojavljuju nakon nekoliko desetih delova milisekunde. AG1 praćen je relativno niskom koaktivacijom mišića antagonista, da bi zatim usledio EMG blok antagonista (ANT1). Za to vreme je agonist neaktivan.

Tokom vremena dosta je truda uloženo da bi se utvrdile neke pravilnosti u EMG šemama mišićne aktivacije. Oguctoreli i Štajn (1983) posmatrali su odnos površine blokova antagonista i veličinu maksimalne kinetičke energije za vreme pokreta u odnosu na dužinu pokreta. Ova korelacija je praćena za različite dužine, brzine ili opterećenja pokreta. Uočeno je da je blok AG1 povezan sa ubrzanjem segmenta, a blok ANT1 sa usporenjem, dok uloga bloka AG2 nije do

kraja razjašnjena, ali se pretpostavlja da je povezan sa prigušenjem konačnih oscilacija segmenta, i/ili korekcijom finalnog položaja (Marsden et al. 1983).

Kinetičke i elektromiografske karakteristike jednozglobnih izometrijskih kontrakcija

Reč "izometrijski" ukazuje na odsustvo promene dužine mišića tokom kontrakcije, što se sa sigurnošću ne može obezbediti ni u eksperimentima sa životinjama (Griffiths, 1991). Svaka aktivna kontrakcija mišićnog vlakna dovodi do smanjenja njegove dužine. Iako je u slučaju izometrijskih kontrakcija ta promena dužine relativno mala, ona može da se realizuje velikom brzinom, čime se menja aktivnost mišićnih aferentnih nerava zavisnih od promene dužine i brzine. Rezultati istraživanja ukazuju da tetive i meko tkivo koje okružuje zglobove i mišiće izazivaju neizbežne male promene u položaju zgloba tokom promene nivoa aktivacije. Smatra se da male promene ugla u zglobu i mišićne dužine imaju glavnu ulogu u definisanju "trifazičnog" EMG obrasca koji prati brzi porast momenta u zglobu (Latash & Gotlieb, 1991b).

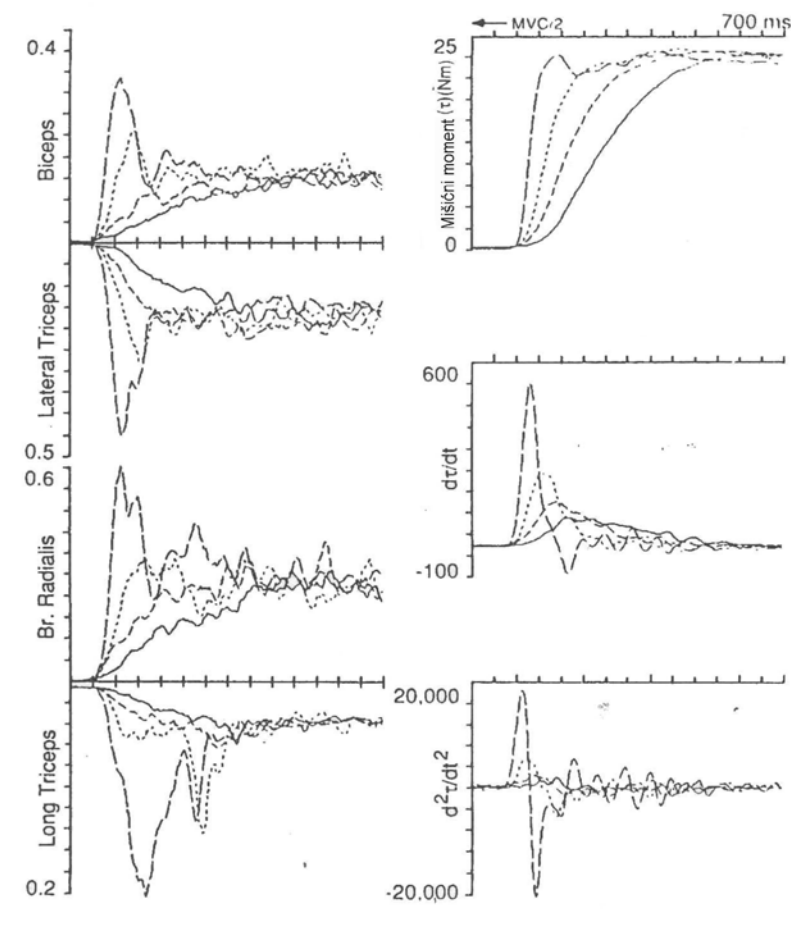
Pokazano je da su gotovo svi mišići ramena multifunkcionalni (Flanders & Soechting, 1990), što znači da se aktiviraju dok razvijaju tzv. izometrijske sile u širokom opsegu pravaca. Zbog toga je znatno teže definisati na zadovoljavajući način ulogu agonista i antagonista u izometrijskim kontrakcijama nego kod izotoničnih pokreta.

Pre diskusije rezultata izometrijskih eksperimenata potrebno je usaglasiti pojedine definicije. Prema Latash-u (1994) izometrijska kontrakcija definiše se kao kontrakcija pri kojoj ne postoji vidljiva promena ugla u zglobu lakta. Ako se diskusija ograniči na kontrakcije sa samo jednim stepenom slobode, svi delujući mišići mogu da se podele na agoniste (čija kontrakcija dovodi do povećanja momenta u zglobu lakta u zadatom smeru) i antagoniste (čija kontrakcija dovodi do povećanja momenta u suprotnom smeru) (Latash 1994).

Obično se izučavaju dva tipa izometrijskih kontrakcija: "step" i "pulsni". Kod step kontrakcija od ispitanika se traži da poveća moment sile do određenog

nivoa, dok se kod pulsnih kontrakcija zahteva povratak na početni nivo. Dodatne instrukcije se koriste da bi se zadalo vreme potrebno da se dostigne zadati nivo, stepen tačnosti itd.

Brze izometrijske kontrakcije su praćene trifazičnim EMG obrascem koji je



sličan onome dobijenim kod brzih izotoničnih pokreta (Corcos et al. 1990a), mada je drugo kašnjenje agonista znatno češće odsutno. "Izbijanja" u EMG obrascu se izobličavaju sa smanjenjem brzine (Slika 3).

Slika 3

EMG, moment sile i odgovarajući vremenski izvodi momenta sile usrednjeni iz deset pokušaja nastali izvođenjem izometrijskih kontrakcija ("što brže moguće") fleksora u zglobovima lakta. Prikazani su četiri različita krajnja nivoa momenata sile. Preuzeto iz: Latash, M.L. (1994): Control of Human Movement. Human Kinetics Publishers. Champaign, Illinois.

Nema nedoumice kada je u pitanju uloga agonista tokom izometrijske kontrakcije. Njegova uloga je da izazove porast intenziteta momenta sile. Kada su u pitanju antagonisti, njihova uloga nije najjasnija. Ona bi mogla da bude u ograničavanju brzine porasta momenta koji razvija agonist, stabilizovanju trajektorije ili vraćanju intenziteta momenta na početni nivo (Sanes & Jennings, 1984; Corcos 1990a).

Hipoteze i modeli

Većina modela nastala je u želji da se opišu izvesni aspekti motornog ponašanja. Modeli koji će ovde biti razmatrani mogu se uslovno podeliti u dve grupe: Prva grupa modela opisuje kinematičke i/ili kinetičke osobine osnovnih pokreta polazeći od fizičkih ili inženjerijskih veličina kao što je sila mišića u zglobu, kinetička i potencijalna energija, trzaj (prvi izvod ubrzanja u funkciji vremena) i druge. Modeli svrstani u drugu grupu više su psihofizički i orijentisani su na pokušaje da se opišu EMG obrasci osnovnih pokreta.

Većina modela polazi od osnovnih Bernštajnovih principa (1967). U tim principima, Bernštajn se suprostavljao uspostavljanju isuviše bliskih veza između koordinacije i lokalizacije (za detalje videti Latash, 1994). Posvećivanje pažnje anatomskim strukturama i specifičnostima njihovih veza, može da omete otkrivanje opštih principa funkcionisanja lokomotornog sistema. To znači da funkcionisanje složenog sistema, sastavljenog od velikog broja relativno jednostavnih elemenata, ne bi trebalo da bude izvedeno iz svojstava pojedinačnih elemenata.

"Inženjerski" modeli

Mnogi savremeni modeli motorne kontrole jednozglobnih i višezglobnih pokreta zasnovani su na Bernštajnovom pristupu (Flash & Mussa Ivaldi, 1984; Hogan 1984), odnosno analizi opštih karakteristika ponašanja sistema, na osnovu čega su pokušavali da ga modeluju sa relativno malim brojem kontrolisanih parametara.

Prva grupa tih modela zasnovana je na tzv. "principima optimizacije" kao što su minimalizacija kinetičke energije (Kathlib, 1983), trzaja (prvi izvod ubrzanja po vremenu) (Hogan, 1984, 1985), momenata u zglobu (Hollerbach & Suh, 1985), zglobnog kretanja (Brooks, 1982) i drugih kinetičkih odnosno kinematičkih veličina (za detalje pogledati Baillieuli, et al., 1984, Latash 1994). Svi modeli iz ove grupe ostavljaju opšti utisak da su zasnovani na pretpostavci da je sistem upravljanja pokretima ili dizajniran od strane vrhunskih inženjera po osnovnim inženjerskim principima i poznatim zakonima fizike, ili da je sistem nastao samostalno, zasnovan na istim principima i zakonima. Ovim se ne želi reći da sistemi kontrole narušavaju zakone fizike, nego da sistem možda ne vodi računa o minimiziranju ma čega što bi svojim dizajnom minimizovao savremeni inženjer (Stein et al. 1988).

Druga grupa modela zasnovana je na uvođenju ograničenja u sistem upravljanja pokretima u veoma apstraktnoj formi a da nisu zasnovani na nekom konkretnom fizičkom zakonu ili bez objašnjenja zašto se to određeno ograničenje ili jednačina koristi za rešenje problema redundantnosti (Gutman & Gotlieb, 1989; takođe videti Berkinblit et al. 1986b, Saltzmann & Kelso 1987 za modele upravljanja višezglobnim pokretima). Ovi modeli najviše obećavaju jer ne pokušavaju da definišu opšti fizički zakon zasnovan na iskustvima "inženjerskog" upravljanja i primene ga u motornoj kontroli živih bića. Nasuprot tome, njihov napor je usmeren na pronalaženje "nedeformisanog", postojanog načina opisivanja ponašanja živih sistema.

S jedne strane, mi nemamo dovoljno informacija da problem motorne kontrole rešimo direktno i nedvosmisleno ga zasnujemo na nekom konkretnom fizičkom principu. S druge strane, strategije koje CNS koristi da bi upravljao, izgledaju razumno sa različitih inženjerskih tački gledišta. Sistem ne koristi previše energije (iako je možda ne minimizuje), ne izaziva preterane poremećaje u zglobovima (iako možda ne minimizuje trzaj u zglobu) itd. Činjenica da su brojni inženjerski principi podjednako dobri (ili loši) za opisivanje prirodnih pokreta sugerise da treba da tragamo za onim osobinama sistema kontrole po kojima se oni razlikuju od neživih sistema.

“Neuro - fiziološki” modeli

Modeli koji se svrstavaju u ovu grupu izučavaju EMG obrasce, odnosno promene u obrascima EMG-a izazvane promenama parametara i varijabli zadatka. Pokušano je da se opiše ponovljivost EMG obrazaca kao posledica motornih komandi koje direktno određuju “tajming” i amplitudu EMG-a mišića agonista i antagonista ili signala odgovarajućeg α -motoneuronskog toka (Hallet et al. 1975; Lestienne, 1979; Wallace, 1981; Bizzi et al., 1982). Ti modeli su nazvani “modelima sa tzv. nametnutim obrascem”. Oni su zasnovani na direktnoj regulaciji aktivnosti α -MN.

Alternativa predhodnim pretpostavkama je da se EMG obrazac razmotri kao posledica međusobnog delovanja centralnih motornih komandi i stvarnih promena mišićne dužine, pri čemu drugi faktor ima podjednako važnu ulogu. Ovi modeli mogu se nazvati “modeli koji generišu obrazac”. Oni koriste prednost postojećih povratnih petlji i zasnovani su na kontrolnim parametrima tih lukova, pre nego na pokušaju da ih se oslobode ili da izvrše kompenzaciju zbog njihovog delovanja. Značaj povratnih signala od mišićnih vretena u koordinaciji pokreta jednog zgloba takođe je naglašen u radu Jongena i sar. (1989). Oni su, međutim, razmatrali drugi aspekt problema baveći se “sinergijskim” grupama mišića koji deluju u zglobu sa više od jednog stepena slobode.

Testovi za procenu jačine

Definicije

Jačina je definisana (Sale 1991) kao maksimalna sila ($F_{\max}$ - u njutnima, N) koja nastaje tokom maksimalne voljne kontrakcije (MVC), u zadatim uslovima. Na sličan način Herman (1993) definiše jačinu kao silu koja se razvije pri zadatim uslovima (pod uslovima se smatraju: položaj, tip pokreta, brzina pokreta itd). U literaturi se često, pored maksimalne sile, istražuje i sposobnost mišića da odgovarajućom brzinom razvije silu (ili moment sile) što predstavlja posebnu vrstu testova jačine (za detalje pogledati Abernethy et al. 1995, i Wilson and Murphy 1996). Pored opštih razloga, za procenu neuromišićne funkcije značaj

procene brzine razvoja sile ogleda se u činjenici da je vreme neophodno da se dostigne neki nivo sile u određenim sportskim ali i nekim svakodnevnim aktivnostima ponekad i od presudne važnosti (Wilson i Marphy 1996; Ugarković et al 2002; Paasuke 2001). U literaturi koja se ovom problematikom bavi, pominje se nekoliko različitih kriterijuma za procenu brzine razvoja sile (testovi BRS). Test BRS koji se najčešće pominje je tzv. priraštaj sile (RFD). Ukratko, od ispitanika se traži da na najbrži moguć način razviju maksimalnu silu, pri čemu se RFD određuje kao maksimum prvog izvoda zabeleženog signala sile u vremenu (Haff et al 1997; Wilson i Marphy 1996; Slievert and Wenger 1994) ili kao nagib krive u datom vremenskom trenutku u odnosu na početak razvoja sile (Aagaard et al 2002). Uzimajući implicitno i moguće efekte dimenzija mišića, pojedini autori prikazuju RFD po jedinici postignute mišićne jačine (Sahaly et al 2001; Aagaard et al. 2002). Pored RFD-a, u brojnim radovima predlažu se alternativni testovi BRS. Na pr., pojedini autori procenjuju BRS vremenom potrebnim da se dostigne određeni nivo sile. Najčešće primenjivani takav kriterijum je interval između dva odgovarajuća postignuta nivoa sila (pri čemu se nivoi određuju relativno u odnosu na postignutu maksimalnu silu (Bobbert i van Zandwijk 1999; Gorostijaga et al. 1999; Slivert i Wenger 1994; Zhou et al 1999). U nekim radovima se kao test BRS uzima vreme potrebno da se dostigne određeni nivo sile u odnosu na nulti nivo (Hakkinen et al. 1985; za detalje pogledati Wilson i Marphy 1996) ili dostignuti nivo sile u zadatom trenutku vremena (Izquierdo et al. 1999).

Primena testova jačine

Testovi jačine primenjuju se u velikom broju disciplina. U sportu cilj testiranja jačine sportista je da se obezbede normativi za pojedine sportske discipline (tzv. "sportsko profilisanje"), (Slievert et al. 1995, Wisloff et al. 1998, Agre et al. 1988, Andersson et al. 1988, Jaric et al. 2002, Reilly et al. 2000, Taylor et al. 1991), selekcija sportista mlađih kategorija (tzv. "identifikacija talenata"), (Reilly et al. 2000, Faria & Faria 2001), definisanje razlika u performansama sportista različitog takmičarskog nivoa, (Reilly et al. 2000, Faria & Faria 2001, Cometti et al. 2001, Fry & Morton 1991) ili da se procene efekti fizičkog vežbanja ili programa atletskog treninga (Matavulj et al. 2001, Fry &

Morton 1991, Abernethy et al. 1994, Bembien & Murphy 2001, Kanehisa & Mitsumasa 1983, Kraemer et al. 2001, Murphy & Spinks 2000). U Ergonomskim studijama često je testirana mišićna jačina, sa ciljem da se odrede bitni kriterijumi za selekciju pri zapošljavanju na određene poslove. (Mathiassen & Ahsberg 1999, Stevenson et al. 1996). U medicini jačina se testira sa ciljem da se proceni mišićna funkcija (Abernethy et al. 1995, Akima et al. 2001, Marcora & Miller 2000) i ustanove normativi za zdravu populaciju (Andrews et al. 1996, Beenakker et al. 2001), da se procene rezultati operativnih i terapijskih tretmana (Pfeifer & Banzer W. 1999, Reuter et al. 1999), ili da se odredi stepen rizika od povređivanja ili zdravstvenih problema (Fleck et al. 1986, Magnusson 1995, Takala et al. 2000). Konačno, važna svrha testiranja mišićne jačine, zajednička za sportsku ergonomiju i medicinske studije, je procena funkcionalnih performansi (Akesson et al. 1997, Kwon 2001, Takala et al. 2000, Imrhan 1994, Kraemer 2000). Veza između jačine aktivnih mišićnih grupa i izabranih performansi pokreta često se označava "spoljašnjom validnošću testova mišićne jačine". (Abernethy et al. 1995, Wilson & Murphy 1996, Marcora & Miller 2000, Desrosiers 1995).

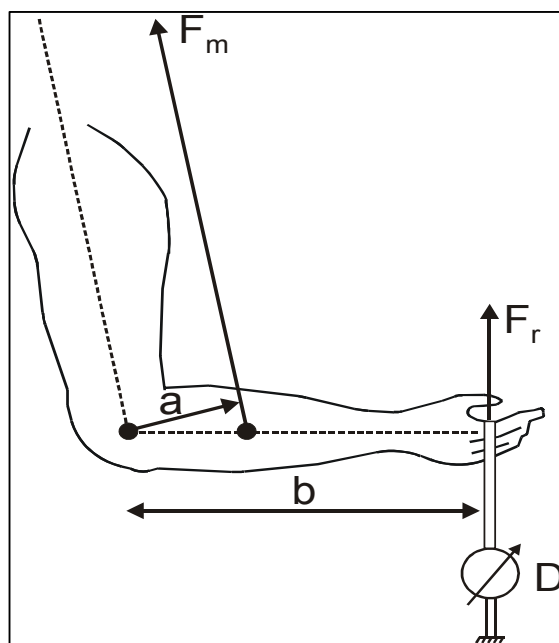
Tipovi dinamometrije

U proceni jačine i snage koriste se tri tipa dinamometrije u kojima se deluje protiv izometrijskog, izoinercijalnog i izokinetičkog opterećenja. Sa stanovišta metodologije, bez obzira na vrstu dinamometrije koja se upotrebljava, sve laboratorije koje procenjuju jačinu i snagu, pored odgovarajućih parametara, trebalo bi da beleže i sve podatke koji se odnose na tzv. internu validnost. Bezbednost sportista je od najvećeg značaja bez obzira na tip dinamometrije, pri čemu dati test uopšte ne treba primenjivati ukoliko postoji i najmanji rizik od povreda ispitanika.

Izometrijska dinamometrija

Izometrijska jačina predstavlja maksimalnu silu koja se razvije prilikom maksimalne voljne kontrakcije (tokom delovanja protiv spoljašnjeg opterećenja)

(Slika 4), sa konstantnim uglom u zglobu odgovarajućeg ekstremiteta. Rezultati izometrijske dinamometrije su često korišćeni kao indikatori (pokazatelji) jačine sportista (Fry et al. 1991, Secher 1975). Interesantno je da su neki istraživači brzinu razvoja sile tokom početnog perioda (60 do 100 ms) izometrijske kontrakcije koristili kao meru snage sportista (Hakkinen et al. 1986, Young & Bilby 1993). Ovo je u suprotnosti sa iznetom definicijom snage, jer nema pomeraja (ugao u zglobu konstantan) pa nema ni vršenja rada, odnosno “razoja” snage. Razlozi upotrebe tzv. testova brzine razvoja sile (BRS) počivaju na činenicama da je u mnogim sporstkim dešavanjima vreme za dostizanje odgovarajuće sile ograničeno. Na primer, vreme neophodno da donji i gornji ekstremiteti razviju silu pri odgovarajućim pokretima ili stavovima u gimnastici, iznosi 137 odnosno 245 ms. Trajanje kontakta sa podlogom u sprintu je manje od 100 ms, dok kod različitih aktivnosti koje obuhvataju skokove ono iznosi oko 300 ms (za detalje videti Abernethy et al. 1995).



Slika 4

Test jačine hipotetičkog mišića koji pomera ekstremitet u zglobu lakta (E). Mišićna sila F_m se procenjuje indirektno merenjem sile (F_r) uz pomoć dinamometra (D). (a) i (b) su odgovarajući kraci sile

Izometrijska dinamometrija ima svoje pristalice u krugovima istraživača i sportskih radnika pre svega zbog visokog stepena kontrole merenja. Protivnici

ovog tipa dinamometrije zasnivaju svoje kritike na pretpostavci da izometrijski testovi imaju malo sličnosti sa dinamičkom prirodom većine sportskih zadataka (Murphy et al. 1996).

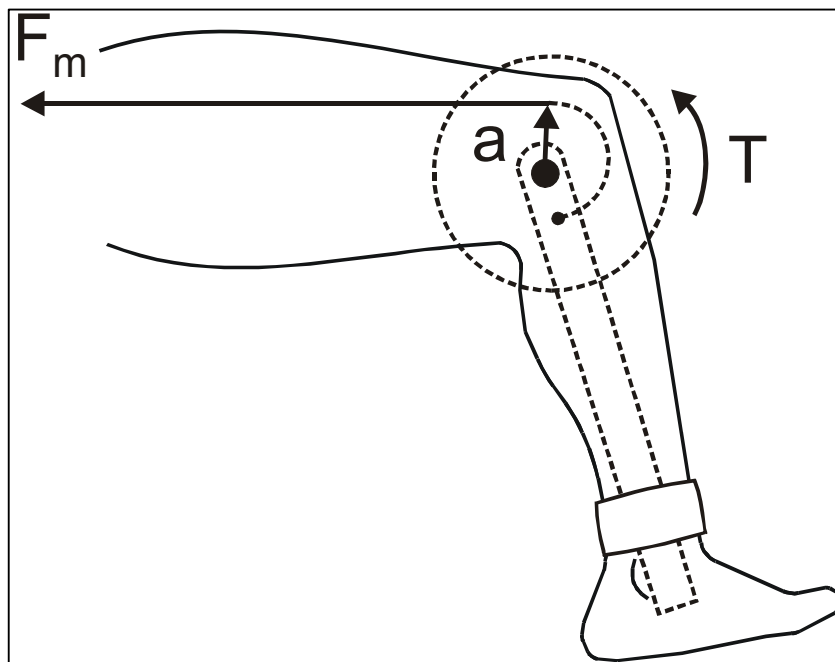
Izoinercijalna dinamometrija

Izoinercijalni testovi zasnovani su na savladavanju odgovarajućeg konstantnog opterećenja. Maksimalna izoinercijalna jačina (na primer jedno maksimalno ponavljanje [1 RM], konkretnog zadatka), često se upotrebljava za procenu jačine u tzv. profilisanju sportista. Pristalice ovakvih testova smatraju da je za razliku od izometrijske dinamometrije, ovaj pristup dinamičan i da je tzv. eksterna validnost ovih testova veća nego kada se primenjuju izometrijski testovi, kao i da je zbog prisustva i ekscentrične i koncentrične kontrakcije moguće aktivirati tzv. “ciklus izduženja – skraćanja” (SSC) (Wilson et al. 1991, za detalje videti Abernethy et al. 1995). To može biti značajno jer su ovi ciklusi deo pokreta u većini sportskih aktivnosti (sprint, skok u vis, skok u dalj). Na suprot ovome, oni koji kritikuju upotrebu ovih testova svoje kritike argumentuju tvrdnjama da iako je 1RM dinamičan, ima malo sličnosti sa osobinama pokreta specifičnih za većinu sportova (položaj, tip i brzina pokreta). Takođe, dobijeni rezultati donekle su uslovljeni veštinom i iskustvom pojedinaca.

Zbog toga se smatra da je značajnija primena ovih testova u proceni snage. Na primer, često se beleži vremenska zavisnost sile reakcije podloge (odakle se očitavaju odgovarajuće sile i trajanje pojedinih faza i računaju visina, rad, snaga...), tokom vertikalnih skokova sa promenljivim opterećenjem (Hakkinen et al. 1987; 1988). Pristalice upotrebe ovih testova smatraju da je njihova prednost u dinamičnosti i da postoji dosta sličnosti sa zahtevima u realnim sportskim zadacima. Na drugoj strani, protivnici ove metode smatraju da kod ovih testova postoji značajan rizik od povreda, da im je pouzdanost i ponovljivost mala, i da je rezultate dobijene u raznim laboratorijama međusobno teško uporediti.

Izokinetička dinamometrija

Izokinetička procena jačine zasniva se na merenju mišićnih momenata i snage (Slika 5) u odgovarajućem opsegu kretanja konstantnom ugaonom brzinom (teorijski nema ubrzanja ekstremiteta). Upotrebom specijalno konstruisanih mernih sistema moguće je pratiti zavisnosti: ugaone brzine - ugao u zglobu, snaga – ugaona brzina, mišićni moment – ugao u zglobu. Pored toga sa zabeleženih funkcija mogu se očitati odgovarajuće maksimalne vrednosti i vremenski indeksi. Takođe, moguće je poređenje rezultata agonista i antagonista, kontralateralnih ekstremiteta (Marshall et al. 1990, Mahler et al.



1992).

Očigledna prednost izokinetičke dinamometrije u odnosu na izoinercijalnu dinamometriju, je znatno veća pouzdanost i objektivnost merenja (dobra kontrola brzine, tehnike i amplitude izvođenja pokreta). Oni koji kritikuju ovaj tip dinamometrije, svoje kritike zasnivaju na činjenicama da obrazac kretanja (često se posmatraju pojedinačni, izolovani pokreti) i opterećenja (izostanak faze ubrzanja i SSC), ima malo sličnosti sa pokretima i otporu koji se savladava u

većini sportova (Ashley & Weiss 1994, Mahler et al. 1992). Zato među istraživačima koji se bave problematikom procene jačine i snage, preovladava mišljenje da izokinetička dinamometrija ima očigledno veliku tzv. “internu” i malu tzv. “eksternu validnost”.

Slika 5

Test jačine kvadricepsa koji pomera potkolenicu u zglobu kolena. Mišićna sila (F_m) se procenjuje merenjem momenta (T), pri čemu je (a) krak mišićne sile. Isprekidana linija predstavlja polugu standardne izokinetičke aparature.

Kada se uopšteno sagledaju svi tipovi dinamometrije, postaje jasno da ni jedan od pomenutih tipova dinamometrije nije bez nedostataka. Mnogi istraživači su svesni da postoje i da treba da bude ograničenja pri korišćenju različitih formi dinamometrije, ali da to ne treba smatrati preprekom, već motivom više da se povećaju aktivnosti u smeru sistematizacije i standardizacije opreme i primenjivanih protokola.

Rezultati istraživanja neuromišićnih funkcija

Pouzdanost testova

Osnovna pretpostavka pri sprovođenju ma kog merenja u sportskim laboratorijama, je da taj postupak mora biti pouzdan. Na žalost, veliki broj istraživača pri objavljivanju svojih rezultata, ne prikazuje podatke o pouzdanosti svojih merenja. Bez obzira na to, od odgovornog osoblja u laboratorijama se očekuje da pored rezultata merenja, prikažu i “intraklas” korelacione koeficijente i tzv. tehničku grešku merenja (Denegar & Ball 1993, Gore 2000). Vrednost koeficijenta pouzdanosti zavisi od primenjene metode izračunavanja (Hopkins, 2000). Takođe u obzir treba uzeti sve veličine koje sadrže informaciju o veličini i heterogenosti uzorka, sistematskoj varijansi (metodologija odabira podataka za dalju analizu). U skorije vreme uzima se u obzir i vreme proteklo od završetka poslednjeg treninga do trenutka procene jačine i snage.

Pouzdanost izometrijske dinamometrije

Smatra se da je izometrijska procena jačine metoda koja ima visoku tzv “test – retest” pouzdanost. Mereći $F_{\max}$, veći broj istraživača dobio je koeficijente pouzdanosti u intervalu od 0,85 do 0,99 (Wilson et al. 1993, Agre et al. 1987, Bemben et al. 1992, Viitasalo et al. 1981, Kroll et al. 1980). Zanimljivo je da su Agre i saradnici. (1987) zabeležili znatno niže koeficijente pouzdanosti za donje ekstremitete (0,20 do 0,96) nego za gornje ekstremitete (0,85 do 0,99). Ovaj rezultat delimično može poticati od opreme koja je korišćena, od razlika u metodologiji sprovedenih testova ili kao posledica različite pouzdanosti usled merenja različitih mišićnih grupa.

Wilson i saradnici. (1993) zabeležio su slabije korelacione koeficijente za RFD ($r = 0,84$) nego za $F_{\max}$ ($r = 0,96$). Nasuprot tome Christ i saradnici. (1994) dobili su veće korelacione koeficijente za RFD (0,83 do 0,94) nego za $F_{\max}$ (0,64 do 0,91). Ovakve razlike su verovatno posledica razlika između mišićnih grupa. Neki istraživači smatraju da na pouzdanost utiče i frekvencija beleženja podataka. Christ je skupljao podatke na svakih 10 ms i usrednjavao ih na svaka 3 ms. Nasuprot tome Wilson i saradnici. prikupljali su podatke na svaku milisekundu a usrednjavanje vršio na intervalu od 5 ms.

Dalje, pažnju treba obratiti na strukturu baterije testova i broja ponovljenih merenja tokom testiranja (Christ et al. 1994). Takođe, testovi koji se primenjuju za testiranje različitih grupa ispitanika (sportisti, nesportisti, muškarci, žene i deca) bi trebalo da budu različiti (Christ et al. 1994, Bemben et al. 1992, Going et al 1987, Kroll 1962a, 1962b).

Na pouzdanost dobijenih rezultata mogu uticati još neki faktori. Bemben i saradnici (1990), (1992) pokazali su da individualno vežbanje i nekoegzistentno (nepostojano) zadavanje komandi ispitanicima, može uticati na pouzdanost izometrijskih testova.

Konačno, neki autori smatraju da tamo gde se beleže i $F_{\max}$ i RFD, potrebno je izvršiti dva merenja sa različitim komandama (“jako”, odnosno “jako i

brzo”) (Bemben et al. 1990), a ako postoji vremensko ograničenje onda se savetuje jedno merenje uz komandu “najače i najbrže” (Christ et al 1994).

Analiza rezultata dobijenih u različitim uslovima, pokazala je da položaj koji se zauzima pri testiranju treba da bude sličan onom koji se najčešće zauzima tokom izvođenja odgovarajućeg sportskog zadatka (Secher 1975). Ovo je u saglasnosti sa tvrđenjem da ispoljavanje jačine zavisi od odgovarajućeg konteksta (gde je odgovarajući stav jedna od kontekstualnih veličina) (Rutherford et al. 1986). Takođe, važno je odabrati i pogodan ugao u zglobu. Sale (1991) predlaže da se izometrijska merenja vrše u položaju u kome je za dati opseg kretanja sila najveća. Time se između ostalog smanjuje varijabilitet koja nastaje usled mogućih grešaka u određivanju zglobnog ugla.

Pouzdanost izoinercijalne dinamometrije

Koeficijent tzv. “test – retest” pouzdanosti 1RM testova zabeleženi kod iskusnih dizača tegova (muškarci i žene) bili su u intervalu od $r = 0,92$ do $0,98$ (Sale 1991, Hortobayi et al. 1989, Hennessey & Watson 1994). Koeficijenti pouzdanosti za aktivnosti koje su više dinamičke (skokovi sa opterećenjem), bili su manji od gore pomenutih. Na primer, Viitasalo (1985a, 1985b) beleži “interklas” korelacione koeficijente od $0,86$ do $0,96$ za uzastopne pokušaje skokova sa i bez zamaha i opterećenjem od 20 , 40 , 60 i 80 kg. Koeficijent varijacije (CV) rastao je sa povećanjem opterećenja, počev od 40 kg, za obe vrste skoka (sa zamahom $CV_{0\text{ kg}} = 4,3\%$; $CV_{20\text{ kg}} = 4,8\%$; $CV_{40\text{ kg}} = 6,8\%$; $CV_{60\text{ kg}} = 7,1\%$ i $CV_{80\text{ kg}} = 9,5\%$).

U nekim laboratorijama se za izoinercijalna testiranja koriste sprave kod kojih se opterećenje kontroliše uz pomoć hidrauličkih uređaja. Hortobagy et al. zaključio je da iako ovako kontrolisano opterećenje povoljno utiče na pouzdanost ($0,89$ do $0,93$) treba uzeti u obzir i uticaje interakcije “obrasca” zadatog pokreta, efekata učenja, broja pokušaja i vremena oporavka. Nekoliko akutnih varijabli, uključujući i “predopterećenje” i oporavak između 1RM pokušaja, mogu uticati na dobijeni rezultat. Izvođenje izoinercijalnih zadataka može se poboljšati

prethodnim izometrijskim opterećenjem i SSC (Hakkinen et al. 1987). Nasuprot tome, neki istraživači smatraju da se na rezultat 1RM testova negativno odražavaju pokušaji koji se izvode u cilju definisanja 1RM. Drugi smatraju da je taj strah neopravdan jer, kako izveštavaju Andersen i Kearney (1983), 60% ispitanika koje je učestvovalo u istraživanju, bilo je dovoljno samo 4 pokušaja da bi odredili vrednost 1RM, dok je ostalim ispitanicima bilo potrebno šest pokušaja. Takođe, ponovljeni pokušaji (1RM za potisak sa klupe) nisu uticali na konačan rezultat kada je pauza između ponavljanja bila 1, 3, 5 ili 10 min (Andersen & Kearney 1983). Slično tome, ponovno određivanje vrednosti 1 RM (čučanj ili potisak sa klupe) nakon 2, 6 ili 24 sata nije uticalo na dobijeni rezultat (Sewall & Lander 1991).

Neki istraživači su kreirali formulu za predviđanje 1RM vrednosti iz broja ponavljanja izvedenih sa manjim opterećenjima (Brzycki 1993, Lander 1985, Mayhew et al. 1992). Kada su upoređene vrednosti dobijene uz pomoć formule i one dobijene merenjem, dobijeni su vrlo dobri koeficijenti korelacije ($r = 0,89$ do $0,96$). Ove jednačine zasnovane su na pretpostavci da se broj ponavljanja sa opterećenjem relativno manjim u odnosu na maksimalni (određeni % 1RM), ne menja sa treningom. Ovo se pokazalo tačnim samo u nekim slučajevima (Hoeger et al. 1990). Međutim, treba imati u vidu da kako raste broj ponavljanja, to su razlike rezultata dobijenih računom i empirijski, sve značajnije.

Kada se uzme sve zajedno u obzir, može se zaključiti da primena ovih jednačina ima svoje mesto u slučajevima kada su u pitanju neiskusni dizači ili tamo gde postoji povećan rizik od povreda. Ipak treba imati u vidu ovde iznete probleme.

Pouzdanost izokinetičke dinamometrije

Smatra se da je tzv. "test – retest" pouzdanost izokinetičke dinamometrije jako dobra ($r > 0,9$) (Achley & Weiss 1994, Vanderwalle et al. 1987, Wilson et al. 1993, Taylor et al. 1991, Hortobagyi & Katch 1990). Ali ovu tvrdnju treba prihvatiti sa rezervom jer nisu objavljeni rezultati pouzdanosti merenja mišićnih momenata

za različite ugaone brzine. Neke grupe dobile su veoma dobre koeficijente pouzdanosti ($> 0,9$) za maksimalne momente u zglobu kolena, merene pri ugaonim brzinama u intervalu od 1,04 rad/s do 5,2 rad/s (Feiring, et al. 1990). Međutim, koeficijent varijacije uzastopnih pokušaja rastao je sa povećanjem ugaone brzine. (Osternig 1986). Iako su koeficijenti pouzdanosti za ekscentrične kontrakcije nešto niži od onih dobijenim za koncentrične kontrakcije, još uvek se smatraju jako dobrim (od 0,92 do 0,94) (Snow & Blacklin 1992, Seger et al. 1988). Koeficijenti pouzdanosti merenja maksimalnog momenta pri ugaonim brzinama od 1,04; 2,08; 3,13 rad/s opadali su kada su merenja izvođena prvo većim ugaonim brzinama. Međutim, treba uzeti u obzir činjenicu da se pri određivanju pouzdanosti izokinetičkih sistema uglavnom prikazivale vrednosti dobijene za pokrete fleksije i ekstenzije u zglobu kolena. Istraživanja koje je sproveo Wennerberg (1991) ukazuje da visoke korelacije dobijene kod fleksora i ekstenzora u zglobu kolena, ne treba uopštavati za ostale mišićne grupe. Dalje, na pouzdanost mogu uticati pozicioniranje i stabilizacija odgovarajućeg ekstremiteta ili dela tela (Hakkinen et al. 1987, Walmsley & Szybbo 1987).

Korelacije testova jačine i testova za procenu performansi

Iznenadjujuće mali broj publikacija bavi se ispitivanjem korelacija testova jačine i testova za procenu performansi. Očigledno da se ovoj problematici do skora nije posvećivalo dovoljno pažnje. Prema Abernethy-ju i saradnicima (1995), to je razočaravajuće jer bi potencijalni rezultati ukazali na ulogu jačine i snage u odgovarajućim sportskim aktivnostima, odnosno pomogli bi da se reše neke nedoumice: (1) da li razlike u jačini i snazi omogućavaju razlikovanje nivoa performansi; (2) da li su pokazatelji jačine i snage "osetljivi" na odgovarajući trenažni ili rehabilitacioni postupak; (3) da li ti pokazatelji mogu da posluže za predviđanje budućih performansi; (4) da li dobijeni rezultati mogu da posluže kao smernice za dalja "mehanicistička" istraživanja (za detalje pogledati Abernethy et al. 1995).

Obično se smatra da visoke korelacije između parametara jačine i parametara koji služe za procenu performansi sportista, ukazuju na uzročnu povezanost ovih veličina. Da ovakvo izvođenje zaključaka može biti pogrešno, ilustruju rezultati Callister-a i saradnika (1988). Oni su dobili značajne korelacije rezultata testa snage (15 sekundi vertikalni skokovi), dobijenih pre ($r = 0,68$) i nakon treninga ($r = 0,70$) i performansi (sprinta na 100m). Pri tome treningom su poboljšane performanse ali ne i rezultati testa snage. Jasno je da faktori koji značajno koreliraju ne moraju biti uvek uzročno povezani. Međutim, korelacione analize mogu da pomognu u identifikovanju razlika između pojedinaca (prema nekom kriterijumu) posebno unutar heterogene grupe. Pregled nekih od objavljenih rezultata prikazani su u Tabeli 1.

Tabela 1: Korelacije pokazatelja jačine i snage i vertikalnog skoka ili nekih drugih testova performansi korišćenih u preglednim publikacijama Preuzeto iz Abernethy P, Wilson G, Logan P (1995): *Strength and power assessment. Issues, controversies and challenges.*

Referenca	Br. ispitanika	Test	Test performansi	Korelacije
Achley & Weiss	50 studenata (devojke) neiskusni DT	Maksimalna sila («skok u dubinu»)	Ograničeni skok	Od 0,53 do 0,63
		Maksimalna snaga («skok u dubinu»)	Ograničeni skok	Od 0,59 do 0,69
Callister i saradnici	46 studenata (mladići i devojke) neiskusni DT	15 s vertikalni skokovi	100 m sprint	Od 0,68 do 0,70
Considine & Sullivan	38 studenata fakulteta sporta, neiskusni DT	MVC	Vertikalni skok	0,35
Humphries i saradnici	22 rekreativaca (muškarci)	30 s izokinetički, izotonični test	200 m sprint	-0,93
Mahler i saradnici	8 sprintera (muškarci)	Izotonični test snage	100 m sprint	-0,59
Mayhew i saradnici	53 studenata (američki fudbal)	1 RM potisak sa klupe	36 m sprint	>0,89
Murphy i saradnici	13 muškaraca, jednogodišnje iskustvo DT	MVC (ugao od 1,56 rad)	9 m sprint	0,16
		MVC (ugao od 2,08 rad)	Izbačaj iz sedećeg položaja	0,11
		Izotonični: Koncentrični 100% MVC		0,65
		Ekscentrični 100% MVC		0,25
		Koncentrični 30% MVC		
			1RM potisak sa klupe	0,83
			Izbačaj iz sedećeg položaja	0,93
Shetty	23 dizača tegova (studenti)	MVC (koleno)	Trzaj	0,86
			Izbačaj	0,84
		MVC (leđa)	Trzaj	0,84
			Izbačaj	0,72

DT-dizači tegova; MVC – maksimalna voljna kontrakcija; RM broj maksimalnih ponavljanja

Osetljivost testova jačine i snage na efekte treninga

Izometrijski, izoinercijalni i izokinetički testovi korišćeni su u proceni efekata raznih trenažnih režima (Fry et al. 1991, Hakkinen et al. 1985, Wilson et al. 1993, Callister et al. 1988). Dva pitanja proističu iz ovih radova: (1) Da li su svi primenjeni testovi jačine i snage osetljivi na efekte različitih trenažnih režima; (2) Da li su svi testovi podjednako osetljivi na efekte treninga.

Mišljenja o ovom problemu su podeljena. Na primer, Callister i saradnici (1988) na osnovu dobijenih rezultata u svom istraživanju zaključuju da sprinterski trening nije uticao na rezultate testa snage iako je nakon trenažnog ciklusa rezultat u sprintu bio poboljšán. U radu Person-a i Costill-a (1988) nakon osmonedeljnog izokinetičkog treninga zabeležen je popravak rezultata u izokinetičkom testu ali nije bilo poboljšanja pri 1RM. S druge strane, izoinercijalni trening kontralateralnih ekstremiteta izazvao je poboljšanje rezultata dobijenih 1RM testom ali nije izazvao promenu u izometrijskom testu. Razlozi što nakon izoinercijalnog treninga nije zabeleženo povećanje izokinetičke jačine (pri ugaonoj brzini od 1,04 rad/s) su verovatno posledica nedovoljne statističke «snage», nego što je u pitanju odsustvo trenažnog efekta. Slično tome, Sale i saradnici zabeležili su poboljšanje rezultata na 1RM testu nakon izoinercijalnog treninga ali ne i poboljšanje rezultata na izometrijskom testu. Nasuprot tome, rezultati Behm i saradnika ukazuju na sličnu osetljivost izoinercijalnog 1RM testa i izokinetičkog testa na efekte treninga sprovedenog na univerzalnoj spravi za vežbanje, ili opremi Hydragym.

Drugo pitanje je da li svi tipovi dinamometrije mere iste ili različite kvalitete jačine i snage. Ovo pitanje se obično javljalo u pokušajima da se utvrdi statistička uopštenost (na primer: $r \geq 0,71$) ili specifičnost ($r \leq 0,71$) različitih formi dinamometrija kroz računanje njihovih «interkorelacija». To znači da je više od 50% varijanse jednog testa uključeno u neki drugi. Tamo gde postoji mogućnost da se izvrši generalizacija, neophodno je odabrati i neki dodatni kriterijum, na primer da li «interklas» korelacije za promene različitih pokazatelja zadržavaju koeficijent $\geq 0,71$ kao posledicu treninga ili detreninga. Da li 50% promena jednog pokazatelja (parametra) ulazi u promene nekog drugog parametra? Značajno smanjenje koeficijenta bi sugerisalo da različiti tipovi dinamometrije ne mere slične adaptacije a što predstavlja ključni razlog primene testova u praćenju efekata treninga.

Baker i saradnici dobili su niske korelacije (od 0,12 do 0,15) promena izometrijskih i 1RM merenja, izazvane dvanaestonedeljnim treningom sprovedenim na grupi iskusnih sportista (muškarci), dok su korelacije između

izometrijske i izoinercijalne jačine bile znatno veće (od 0,57 do 0,60). Svi ovi podaci sugeriraju da je registrovanje promena u jačini izazvane treningom, ograničeno osobinama testiranih pokreta, brzinama kontrakcija ili modalitetom opterećenja. To znači da bi bilo jako neozbiljno tvrditi da su svi testovi za procenu jačine i snage osetljivi na adaptacije koje nastaju kao posledica svih formi kondicioniranja.

Iako su u velikom broju istraživanja na različite načine za praćenje efekata treninga upotrebljeni razni tipovi dinamometrije, često je do kraja ostalo nejasno da li su primenjene metode najbolje oslikavale modulacije sportskih performansi.

Da bi se u budućnosti ustanovila najadekvatnija metodologija za različite sportove, neophodno je obezbediti kontinuirano praćenje sportista određenog profila kroz veliki broj trenažnih makrociklusa, kao i stvaranje i standardizaciju velikog broja različitih protokola.

Uticaj telesnih dimenzija na procenu jačine i snage

Iako telesne dimenzije predstavljaju dobro prepoznatljiv faktor koji utiče na rezultate testova mišićne jačine, pregledom literature može se uočiti da je normalizacija mišićne jačine u odnosu na telesne dimenzije bila primenjivana arbitrarno. Kao posledica toga, često su rezultati testova jačine, za koje se pretpostavlja da su trebali da služe u selekciji mladih sportista, u razdvajanju grupa sportista različitog nivoa sportskog majstorstva, ili u obezbeđivanju normativnih podataka za različite populacije sportista ili pacijenata, bili ometani uticajem telesnih dimenzija (Jaric 2002). Takođe je često bila zanemarivana uloga telesnih dimenzija prilikom procene različitih funkcionalnih performansi pokreta. Iako različite populacije ispitanika mogu zahtevati delimično različite metode normalizacije mišićne jačine u odnosu na telesne dimenzije, rutinska testiranja jačine u sportu, ergonomiji i medicini na koje nailazimo u literaturi zahtevaju standardizovane metode (Jaric 2002). Predstavljajući pregled literature preporučuje primenu alometrijskog metoda zasnovanog na jednačini $S_n = S/mb$ (gde je S mišićna jačina zabeležena bilo kao mišićna sila bilo kao mišićni

moment sile, a m telesna masa). Sa ciljem da se proceni indeks mišićne jačine nezavisan od telesnih dimenzija alometrijski parametar b trebao bi biti $b=0.67$ za mišićnu silu (zabeležen u dinamometrom) ili $b=1$ za mišićni moment sile (zabeležen izokinetičkim aparatom) (za detalje videti Jaric 2002). Pored toga, trebalo bi uzeti u obzir i uticaj telesnih dimenzija na različite funkcionalne performanse pokreta. Posebno bi trebalo obezbediti nezavisnost od telesnih dimenzija indeksa mišićne jačine i indeksa funkcionalnih performansi pokreta kada želimo da procenimo povezanost između mišićne jačine i performansi pokreta. Preporučeni metodi normalizacije trebalo bi da obezbede pouzdanije rezultate testova mišićne jačine porediva sa rezultatima ostalih studija, isto kao i pouzdanije procene performansi pokreta zasnovane na testovima mišićne jačine.

Budući pravci istraživanja

Sve do sada navedeno oslikava trenutno stanje stvari u ovoj istraživačkoj oblasti. Očigledno, potrebno je produbiti i proširiti istraživanja koja se bave i neuralnom adaptacijom treninga (promena nivoa inhibicije, uloga spinalnih refleksnih puteva, fiksatora, sinergista i antagonista, skeletna mišićna adaptacija, uloge genotipa, uzrasta i razvoja, promene u vezivnom tkivu) (Sale 1991, Abernethy et al 1994). Takođe važno je definisati vezu između dinamičkih i kinematičkih parametara, odnosno kakava je uloga mišićne jačine u kinematičkoj šemi pokreta. Ni od jednog pojedinačnog protokola ne može da se očekuje da će pružiti uvid u sve ove mehanizme. Izazov je da se naprave baterije testova koji će omogućiti bolje upoznavanje ključnih mehanizama. Na taj način bi se adekvatnije ispunile i potrebe pojedinaca. Takođe, to bi trebalo da pruži značajnu podršku istraživanjima razvoja jačine i snage, odnosno efektima različitih formi treninga. Konačno potrebno je pravac istraživanja usmeriti i na osvetljavanje aktivacije neuromišićnog sistema tokom izvođenja izometrijskih, izoinercijalnih i izokinetičkih pokreta, a koji predstavljaju eksperimentalne zadatke u različitim modalitetima testiranja.

U nastojanju da se doprinese rasvetljavanju nekih od ovde navedenih nedoumica, osmišljena su tri eksperimenta. U prvom eksperimentu, ukazano je

da na profile brzina brzih diskretnih pokreta značajan uticaj pored centralnih faktora imaju i mehaničke karakteristike aktivnih mišića. Kako u ovom eksperimentu dinamičke karakteristike (koje na indirektan način oslikavaju mehaničke osobine) aktivnih mišića nisu merene, u preostala dva eksperimenta smo se bavili problemom metoda procene mišićne jačine odnosno brzine razvoja sile. Polazeći od maksimalne sile i četiri različita kriterijuma za procenu brzine razvoja sile, ispitivana je validnost i pouzdanost ovih kriterijuma kao i njihova povezanost sa odgovarajućim kinematičkim parametrima odgovarajućih brzih diskretnih pokreta. Takođe testirana je i osetljivost ovih parametara na spolja izazvane promene (trening jačine aktivnih mišićnih grupa) mehaničkih karakteristika aktivnih mišićnih grupa.

CILJEVI I ZADACI ISTRAŽIVANJA

Osnovni cilj predloženih istraživanja je da se ispita da li su, i na koji način, pojedini biomehanički faktori međusobno povezani, kao i da li su, i na koji način, povezani sa kinematičkim parametrima voljnih pokreta.

Osnovni zadatak istraživanja je da se ustanovi da li, i u kojoj meri, biomehanički činioci imaju uticaj na formiranje kinematičke šeme pokreta. U sledećem koraku dobijeni rezultati doveli bi se u vezu sa aktuelnim teorijama motorne kontrole i predikcijama eksperimentalnih rezultata koji se na njima zasnivaju. Takođe, ustanoviće se da li su i u kojoj meri testovi za procenu jačine odnosno testovi brzine razvoja sile pouzdani. Posebna pažnja posvetila bi se mogućim implikacijama dobijenih rezultata u testiranju sportista, odnosno pacijenata.

Potencijalni značaj izvedenih istraživanja je višestruk. Sa teorijskog stanovišta dobijeni rezultati treba da ukažu na one mehaničke osobine lokomotornog aparata koje učestvuju u "oblikovanju" kinematičkih profila, odnosno utiču na njihovu asimetričnost. S praktičnog stanovišta, dobijeni rezultati doprineće standardizaciji metodologije testova jačine. To će primenu testova jačine učiniti efikasnijim ne samo u sportu već i u svim biomedicinskim oblastima u kojima je važno izvršiti procenu jačine određenih mišića odnosno mišićnih grupa.

HIPOTEZE

Na osnovu dosadašnjih istraživanja, kao i na osnovu pilot eksperimenata, formulisana je radna hipoteza:

Vrednosti kinematičkih parametara, kao i njihove promene u različitim uslovima izvođenja pokreta, odražavaju odnos sila mišića agonista i antagonista.

Sa aspekta predloženih eksperimenata mogu da se formulišu pomoćne hipoteze koje se odnose na pojedinačne eksperimentalne faktore čiji će se uticaj ispitivati u predloženim istraživanjima.

1. Promena ugla u zglobu lakta utiče na koeficijent simetrije (KS), u skladu sa njihovim uticajem na momente sile aktivnih mišića.
2. KS brzih pokreta veći je od 1.
3. KS raste sa brzinom pokreta.
4. Različite mere brzine razvoja sile predstavljaju meru različitih kvaliteta, i imaju različitu "internu" validnost.
5. Testovi jačine imaju veću pouzdanost od testova za procenu brzine razvoja sile (BRS).
6. Maksimalna brzina pokreta (MB) povezana je sa standardnim parametrima jačine mišića kao što su maksimalna voljna izometrijska sila ($F_{\max}$) i različite mere brzine razvoja sile (RFD, $RFD/F_{\max}$, $F_{100\text{ms}}$, $T_{30\%-70\%}$).
7. Povećanje maksimalne brzine pokreta, odnosno smanjenje vremena trajanja pokreta, povezano je sa povećanjem maksimalne izometrijske sile i njene brzine porasta.

I EKSPERIMENT: Simetrija diskretnih i oscilatornih jednozglobnih pokreta: Zavisnost od momenata mišićnih sila koje mogu da razviju agonisti i antagonisti

Sažetak

U ovom istraživanju testirana je hipoteza da jačina testiranih mišića utiče na simetriju profila brzine voljnih pokreta. Pošlo se od pretpostavke da trajanja faza ubrzanja i usporenja utiču na sposobnost mišića antagonista da razviju moment sile, gde jači mišići zahtevaju manje vremena za akciju. Dvanaest ispitanika izvodilo je u blokovima diskretne i oscilatorne pokrete, fleksije i ekstenzije, ugaonog pomeraja 50° . Pokreti su izvođeni umerenom i najvećom mogućom brzinom, u dva različit ugaona intervala (65° - 115°). Koeficijent simetrije (KS; količnik vremena ubrzanja i vremena usporenja pokreta) računat je sa ciljem da se proceni simetričnost pokreta (profila brzine). Dobijeni rezultati pokazali su da je $KS > 1$ kod diskretnih, a delom i oscilatornih pokreta. Pokazano je da je promena KS povezana sa povećanjem brzine. Promene ugaonog intervala odnosno smera pokreta, koje su za posledicu imali promene momenata sila mišića agonista i antagonista, takođe su uticale na promenu KS. Dobijeni rezultati objašnjavaju se očekivanim, dobro poznatim razlikama u sili mišića fleksora i ekstenzora zgloba lakta, kao i postojanjem već dokazanih relacija između momenata ugla i momenata ugaonih brzina mišića u zglobu lakta. Odstupanja od idealno simetričnog pokreta su se do sada najčešće objašnjavala ili nedostacima različitih modela i hipoteza motorne kontrole, ili nesavršenošću kontrole pokreta posebnih grupa ispitanika. Ova studija predlaže alternativna objašnjenja, zasnovana na mehaničkim karakteristikama aktivnih mišića.

Ključne reči: koeficijent simetrije, mišić, sila, jačina, brzina, model, kinematika, voljni, čovek

Uvod

Zvonast oblik profila brzine, koji je beležen kod voljnih pokreta, obično se procenjuje kao simetričan. Sa ciljem da se kvantitativno odredi simetrija pokreta, uveden je koeficijent simetrije (KS) koji je brojno jednak količniku vremena ubrzanja i vremena usporenja pokreta. Važnost simetrije pokreta u savremenim teorijama motorne kontrole, zasniva se na dva opšta nalaza. Prvi, simetrični profili brzina (odnosno $KS=1$) zabeleženi su kako kod jednozglobnih tako i kod više-zglobnih diskretnih pokreta (Abent et al., 1982; Atkeson & Hollerbach, 1985; Ostry et al., 1987; Schmidt et al., 1988; Soechting, 1984). Drugi, iako prilikom izvođenja nekih pokreta profili brzina mogu neznatno odstupiti od idealne simetrije, na KS ne utiču promene uslova izvođenja odnosno promene varijabli zadatka (Birardelli et al., 1996; Carter & Shapiro, 1984; Lestienne, 1979; Schmidt et al., 1988; Virji-Babul et al., 1994). Kako je jedan od važnih zadataka istraživača u motornoj kontroli da se uoče i izdvoje invarijantne veličine koje karakterišu voljne pokrete, idealna simetrija ($KS = 1$) i njena očuvanost sa promenom uslova izvođenja pokreta, počela je da zauzima značajno mesto u brojnim teorijama, modelima i hipotezama motorne kontrole. Tako su zabeleženi simetrični profili brzine poslužili kao potvrda nekoliko međusobno srodnih hipoteza o osnovnim principima optimizacije voljnih pokreta (Hogan, 1984; Nelson, 1983) npr. minimum trećeg izvoda pomeraja, minimalna promena krutosti zglobova, minimalna promena hipotetične centralne komande itd. S druge strane, očuvanje simetrije pri promeni uslova izvođenja govorili su u prilog već klasičnoj hipotezi o generalizovanim motornim programima (za detalje, pogledati Schmidt, 1994). Takođe, koeficijent simetrije korišćen je i kao kriterijum validnosti različitih modela u biomehanci i motornoj kontroli (Plamondon et al., 1993; Gribble & Ostry, 1996; Todorov & Jordan, 1998; Vivian & Flash, 1995). Konačno, simetričnost pokreta sve češće se koristi kao kriterijum za procenjivanje patologije kod pacijenata sa raznim neurološkim problemima (Curra et al., 1997; Teulings et al., 1997). Iako je bilo autora koji su posumnjali da parametri pokreta mogu da zavise i od mehanike mišića (Krylow & Rymer, 1997; Gribble & Ostry, 1996; Novak et al., 2000), simetričnost kinematičkih profila gotovo je isključivo objašnjavana kao rezultat neuralnih mehanizama (Bullock &

I EKSPERIMENT

Grossberg, 1991; Nagasaki, 1991). Kao posledica toga postavilo se pitanje da li zaista: “zvonast profil oslikava najosnovnija ograničenja komandi CNS, koja nam “govore” na koji način mozak upravlja pokretima” (Berardelli et al., 1996, p. 666).

Bez obzira na opšte uverenje da su diskretni pokreti simetrični i da KS ostaje očuvan i pri promenjenim uslovima izvođenja pokreta, neki autori to dovode u sumnju (Corcos et al., 1993; Nagasaki 1989; Suzuki et al., 1997; Wiegner & Wierzbicka, 1992; Zhang & Chafin, 1999). Mi smo takođe izveli nekoliko eksperimenata s namerom da proučimo simetriju brzih diskretnih jednozglobnih pokreta. Dok se o simetriji pokreta u savremenoj literaturi raspravlja kao o značajnom fenomenu motorne kontrole (Berardelli et al., 1996; Carter & Shapiro, 1984; Hogan, 1984; Nakano et al., 1999), mi smo pretpostavili da bi verovatno trebalo uzeti u obzir i biomehaničke činioce aktivnih mišića. Konkretno, pretpostavili smo da faktori koji utiču na promenu momenta sile mišića agonista i antagonista takođe utiču i na promenu KS. Na primer, povećanje KS sa promenom brzine pokreta, kao i nalazi da je KS veći od jedan, objašnjavaju se promenom kvazielastičnih unutrašnjih viskoznih otpora u mišićima agonista i antagonista (relacija moment sile u zavisnosti od ugla u odgovarajućem zglobu, Jaric et al., 1998). Kada se “negativnom” spoljnom viskoznošću, poništi efekat unutrašnje, pomenuti efekti na KS nestaju. Takođe, pokazalo se da su jačanje i zamaranje aktivnih mišića (čime se uticalo na sposobnost aktivnih mišića da razvija silu), doveli do promena KS.

Pomenuti nalazi uglavnom su bili zasnovani na istraživanjima koja su se bavila brzim diskretnim pokretima, iako se najveći broj pokreta, koje svakodnevno vršimo, izvodi umerenom brzinom. Takođe, brojni pokreti, kao što su pokreti koji se ponavljaju ili kao što su balistički pokreti koji se izvode uz prethodno izvođenje pripremnog pokreta u suprotnom smeru, izvode se kao povratni. Zato je osmišljen eksperiment čiji je glavni zadatak bio procena KS pokreta koji se izvode različitim brzinama, u različitim ugaonim intervalima, kao i sa promenom smera. Kako promena pomenutih uslova utiče na momente sile mišića agonista i antagonista, pretpostavili smo da bi dobijeni rezultati obezbedili dalje dokaze o uticaju biomehaničkih činilaca na KS voljnih pokreta.

Metode

Uzorak

Eksperiment je izveden na 12 ispitanika muškog pola. To su bili studenti Medicinskog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, starosti 19-35 godina, uglavnom bez predhodnog iskustva u izvođenju pokreta za potrebe ovog eksperimenta. Tokom eksperimenta svi ispitanici bili su zdravi i bez primećenih neuroloških poremećaja i povreda lokomotornog aparata.

Uslovi eksperimenta

Ispitanik je udobno sedeo u zubarskoj stolici u približno srednjem fiziološkom položaju. Desni nadlaktak mu je bio u položaju abdukcije od 90° , tako da su uzdužne ose nadlakta i podlakta ležale u horizontalnoj ravni. Podlaktak i šaka ispitanika bili su fiksirani za krutu polugu koja je mogla da rotira oko osovine čija se osa poklapala sa osom rotacije u zglobu lakta (Slika 6). Moment inercije poluge u odnosu na osu rotacije u zglobu lakta iznosio je $0,22 \text{ kgm}^2$ (Ilić 1992). Na distalnom kraju poluge fiksirana je strelica pomoću koje je ispitanik mogao da kontroliše ugaoni pomeraj. Za osovinu poluge bio je pričvršćen optički enkoder (Hohner™, tip 400; 2 bita/°) kojim je meren ugao između uzdužnih osa poluge u početnom i finalnom položaju. Time je direktno meren ugaoni pomeraj u zglobu lakta. Početni i finalni položaji bili su obeleženi markerima postavljenim u horizontalnoj ravni. Tri markera bili su postavljena tako da obeležavaju položaje od 65° , 115° i 165° (položaj 180° odgovarao je punoj ekstenziji).

Instrukcije

Eksperimentalni zadatak za sve ispitanike bio je izvođenje diskretnih (fleksije i ekstenzije) i oscilatornih pokreta, u dva različita ugaona intervala (65° - 115° , 115° - 165°) i sa dve brzine (brzi i umereni). Na taj način je za oba tipa pokreta omogućeno testiranje uticaja tri različita faktora: brzine (brzi-spori), ugaonog intervala (65° - 115° , 115° - 165°) i smera (fleksija-ekstenzija).

I EKSPERIMENT

U onom delu eksperimenta, u kome su testirani diskretni pokreti, ispitanici su dobijali sledeće instrukcije:

- da zauzmu odgovarajući početni položaj
- da pred početak pokreta potpuno opuste muskulaturu,
- da pokret izvedu odgovarajućom brzinom, bez obzira na moguće podbačaje odnosno prebačaje,
- da po završetku pokreta zadrže ruku u finalnom položaju (ne vršeći korekciju položaja), kako bi mogli da uoče postignuti položaj,
- da opuste muskulaturu i laganim pokretom zauzmu sledeći početni položaj.

U delu eksperimenta u kome su testirani oscilatorni pokreti, ispitanici su dobijali sledeće instrukcije:

- da zauzmu odgovarajući početni položaj,
- da pred početak pokreta potpuno opuste muskulaturu,
- da pokrete izvedu odgovarajućom brzinom, bez obzira na moguće podbačaje odnosno prebačaje.

Protokol eksperimenta

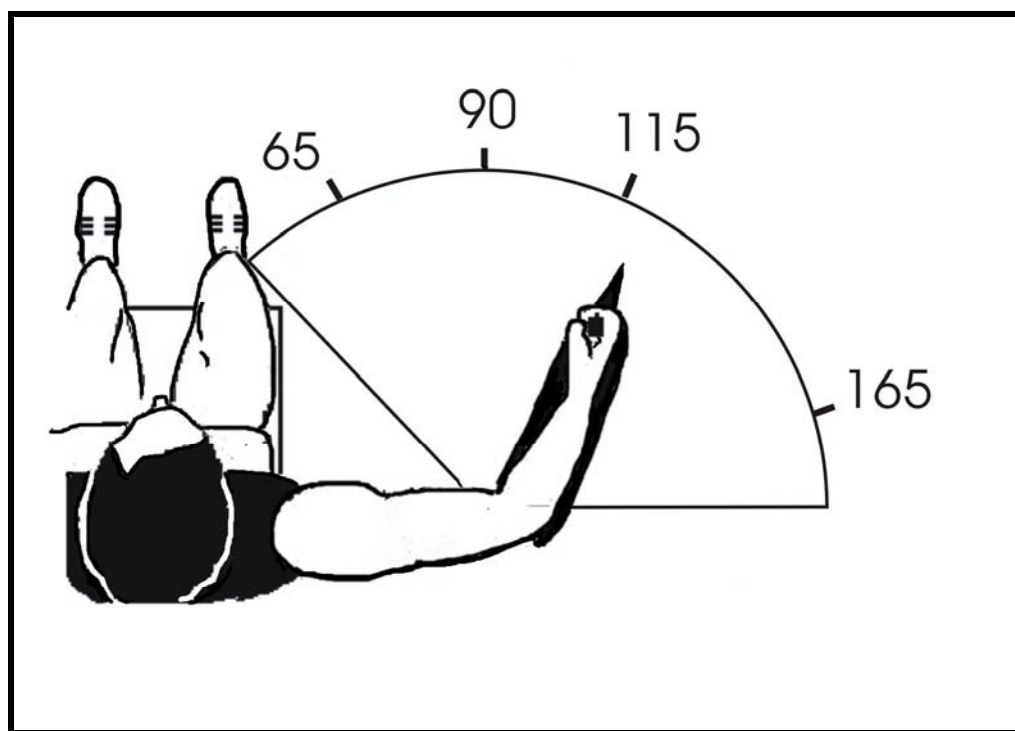
Eksperiment se izvodio tokom sedam dana. U cilju kontrole brzine umerenih pokreta ispitanici su prva tri dana (pet serija od po 12 pokreta) uvežbavali odgovarajuće pokrete. U pilot - eksperimentu izvedenom na 5 ispitanika ustanovljeno je da i kod diskretnih i kod oscilatornih pokreta, da bi se dobili "glatki" profili brzine (signal brzine u funkciji od vremena), neophodno pokrete izvoditi brzinama većim od $200^{\circ}/s$. Zbog toga je od ispitanika tokom uvežbavanja zahtevano da ili izvede najbrže moguće pokrete (brzi) ili pokrete čija je brzina bila oko $250-300^{\circ}/s$ (umereni). Nakon toga se pristupilo "snimanju". Beleženi su najpre oscilatorni, a nakon toga diskretni pokreti. Kod umerenih oscilatornih pokreta, brzina pokreta je zadavana metronomom. Zvučnim signalom označavan je početak pokreta. Vremenski interval između dva uzastopna diskretna pokreta je iznosio je oko 10 s. Pauza između dve serije pokreta trajala je 10 min. Svaki blok diskretnih pokreta sastojao se iz devet parova fleksija i ekstenzija, pri čemu je prvi par izuzet iz daljeg razmatranja. Blokovi oscilatornih pokreta sastojali su se iz dvanaest parova fleksija i ekstenzija, pri čemu su prva i poslednja dva para izuzeti iz daljeg razmatranja.

Akvizicija i obrada eksperimentalnih rezultata

Ugao u zglobov meren je linearnim goniometrom čiji je signal digitalizovan A/D konvertorom, softverski filtriran na 20 ms i memorisan na disku PC računara. Za analizu i obradu podataka upotrebljen je program DADISP. Zabeleženi signali su vremenske funkcije ugaonog pomeraja pokreta i sa njega su određeni pojedinačni ugaoni pomeraji pokreta ($\Delta\varphi$), na osnovu kojih su računate standardne devijacije terminalnog položaja, kao i apsolutna odstupanja od ugaonog pomeraja. SD je mera varijabiliteta dostignutog finalnog položaja i po ustaljenoj terminologiji u radovima koji se bave brzim terminalnim pokretima, naziva se varijabilnom greškom (**VG**), dok se apsolutno odstupanje krajnjeg položaja izvedenog pokreta od zadatog naziva sistematskom greškom (**SG**). Diferenciranjem signala vremenske funkcije ugla dobijen je signali vremenske funkcije brzine sa kojeg su očitavane maksimalne dostignute brzine pokreta

I EKSPERIMENT

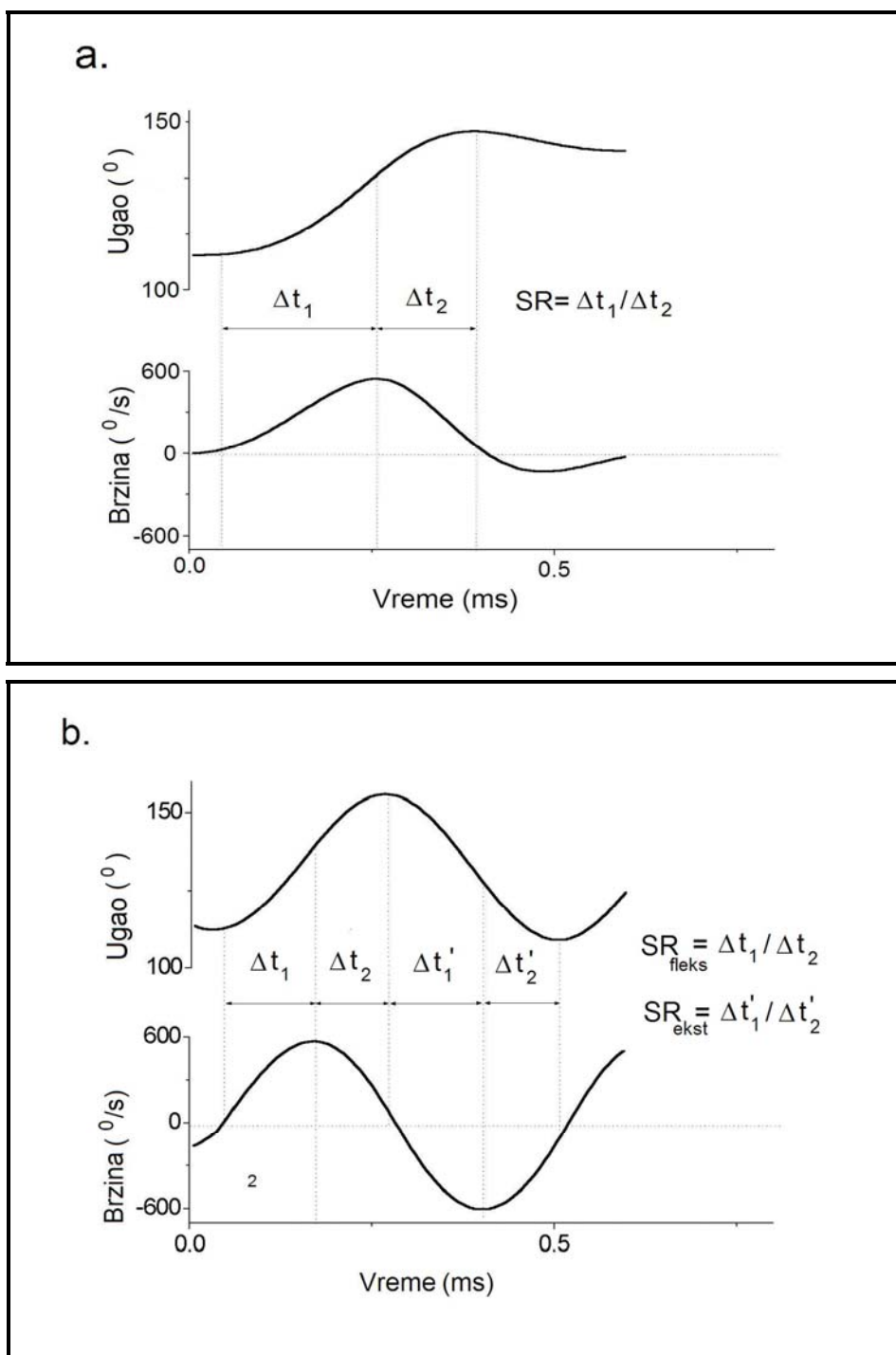
(**MB**), trajanje pokreta (**TP**) kao i trajanje ubrzanja (Δt_1) odnosno usporenja pokreta (Δt_2). Njihov količnik predstavlja koeficijent simetrije (**KS**) (Slika 7). Početni odnosno krajnji položaji diskretnih pokreta određeni su sa signala brzine po tzv. "kriterijumu 5%". Po tom kriterijumu vreme početka (t_1), odnosno vreme kraja pokreta (t_2), predstavljaju vremenske koordinate tačaka čije su koordinate brzine (v_1 i v_2), 5% vrednosti **MB**. Iz tih koordinata su sa signala vremenske funkcije ugla određene početne (φ_1), odnosno krajnje koordinate položaja pokreta (φ_2). Početni odnosno krajnji položaji oscilatornih pokreta određeni su sa signala ugla. Pri tome su početni položaji fleksija bili ujedno krajnji položaji ekstenzija (minimumi na signalu ugla), dok su krajnji položaji fleksija (maksimumi na signalu ugla) predstavljali početak ekstenzija.



Slika 6

Prikaz eksperimentalnih uslova.

I EKSPERIMENT



Slika 7

Tipične vremenske funkcije ugla i brzine a) diskretnih ekstenzija i b) jednog ciklusa oscilatornih pokreta. Takođe, slika prikazuje metode izračunavanja koeficijenta simetrije koji je računat kao količnik vremena ubrzanja (Δt_1) i vremena usporenja pokreta (Δt_2).

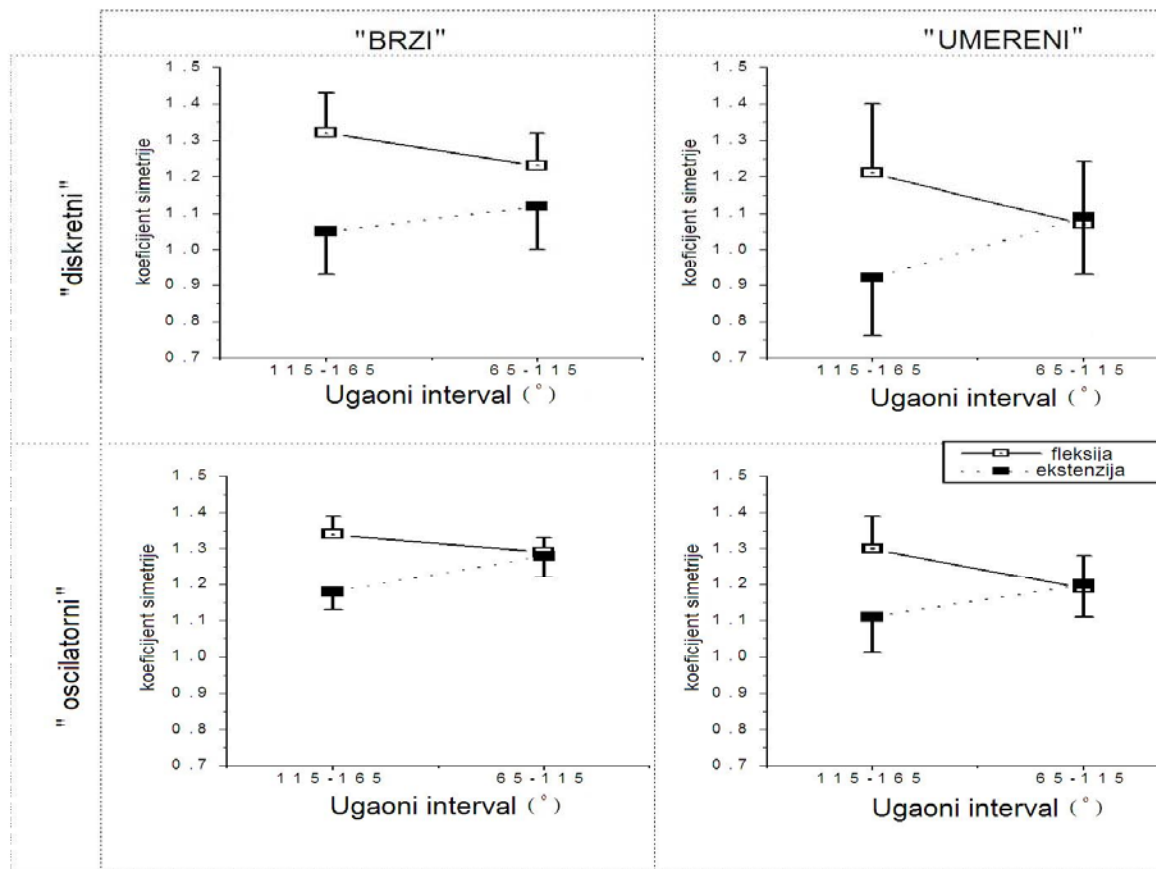
Rezultati

Kako je brzina kod umereno brzih pokreta bila subjektivno kontrolisana (za detalje videti Metode), testirane su samo razlike maksimalnih brzina brzih pokreta. Trofaktorska ANOVA ukazuje na to da su oscilatorni pokreti bili brži od odgovarajućih diskretnih ($F_{1,380} = 155$; $p < 0,01$); dok su pokreti izvedeni u intervalu 65° - 115° , bili brži od onih u intervalu 115° - 165° ($F_{1,380} = 25$; $p < 0,01$). Uticaj interakcija različitih faktora nije bio statistički značajan.

Slika 8 prikazuje KS (srednje vrednosti u odnosu na ispitanike i pokušaje) diskretnih (gornji grafik) i oscilatornih pokreta (donji grafik), dobijen u uslovima izvođenja brzih (leve strane grafika) i umereno brzih pokreta (desne strane grafika). KS je bio veći od jedan kod gotovo svih pokreta, ukazujući na asimetričan profil brzine, sa dužim vremenom ubrzanja od vremena usporenja. Takođe, može se zapaziti da je KS oscilatornih pokreta veći od KS diskretnih u svim datim uslovima izvođenja pokreta. Trofaktorskom ANOVOM (faktori: brzina, ugaoni interval i smer pokreta), primenjenom odvojeno za diskretne i oscilatorne pokrete, dobijeni su postojani rezultati. Prvo, KS brzih pokreta bio je veći od KS umerenih i kod diskretnih i kod oscilatornih pokreta ($F_{1,760} = 47$; $p < 0,01$ i $F_{1,760} = 79$; $p < 0,01$). Drugo, KS pokreta fleksije bili su veći od KS ekstenzija (diskretni: $F_{1,760} = 105$; $p < 0,01$ i oscilatorni: $F_{1,760} = 120$; $p < 0,01$). Treće, kada se analizirao uticaj interakcije "interval"-smer, pri prelasku iz jednog ugaonog intervala (65° - 115°) u drugi (115° - 165°) uočeno je povećanje fleksije odnosno smanjenje KS ekstenzije (diskretni: $F_{1,760} = 54$; $p < 0,01$ i oscilatorni: $F_{1,760} = 107$; $p < 0,01$). Umeren uticaj interakcije sva tri faktora ($F_{1,760} = 4,7$; $p < 0,05$) zabeležen je samo kod diskretnih pokreta.

Tabela 2: Prikazane su kinematičke veličine, dobijene u različitim uslovima izvođenja diskretnih i oscilatornih pokreta. Odstupanje dužine pokreta od zadatih 50° naziva se standardna greška. Kako preciznost izvedenih pokreta nije bila od primarnog interesa za prikazanu studiju, trebalo je samo zapaziti da su konstantne i varijabilne greške, dobijene pri različitim uslovima izvođenja pokreta, bile u intervalu od +10% dužine pokreta.

		spori				brzi			
		115°-165°		65°-115°		115°-165°		65°-115°	
		fleksija	ekstenzija	fleksija	ekstenzija	fleksija	ekstenzija	fleksija	ekstenzija
UP (°)	disk	50,5 ± 1,1	51,3 ± 1,0	50,3 ± 1,0	51,2 ± 1,2	50,7 ± 1,2	52,1 ± 1,6	51,4 ± 1,3	52,4 ± 1,5
	osc	53,6 ± 2,4	53,5 ± 2,9	55,0 ± 2,5	54,7 ± 2,8	49,1 ± 4,0	49,2 ± 3,4	45,3 ± 3,1	45,4 ± 3,2
VG (°)	disk	1,45 ±	1,16 ± 0,39	1,34 ±	0,97 ± 0,47	1,58 ±	1,03 ± 0,31	1,23 ±	1,13 ± 0,30
	osc	2,54 ±	2,79 ± 0,61	2,40 ±	2,8 ± 1,0	3,1 ± 1,4	3,2 ± 1,3	4,0 ± 1,7	3,37 ± 0,80
MB (°/s)	disk	299 ± 34	279 ± 25	294 ± 29	310 ± 27	439 ± 27	439 ± 30	475 ± 28	466 ± 28
	osc	322 ± 15	302 ± 16	331 ± 14	310 ± 14	513 ± 26	515 ± 26	522 ± 22	521 ± 25
Δt_1 (ms)	disk	179 ± 51	171 ± 46	171 ± 44	166 ± 36	122 ± 15	115 ± 17	111 ± 14	111 ± 15
	osc	151 ± 11	146 ± 15	145 ± 21	151 ± 12	88 ± 10	83 ± 9	78 ± 9	78 ± 7
Δt_2 (ms)	disk	154 ± 52	192 ± 55	165 ± 49	160 ± 45	95 ± 20	113 ± 25	92 ± 21	103 ± 29
	osc	117 ± 8	132 ± 13	123 ± 17	128 ± 17	66 ± 8	71 ± 10	61 ± 6	62 ± 9



Slika 8

Srednje vrednosti koeficijenta simetrije brzih (levo) i umerenih (desno) diskretnih (gore) i oscilatornih (dole) pokreta.

Diskusija

Glavni cilj izvedenog istraživanja bio je da se proceni veza između sposobnosti mišića agonista i antagonista da ostvare odgovarajući moment sile i KS testiranih pokreta. U jednom od ranijih istraživanja praćena je i promena KS sa promenom ugaonog pomeraja pokreta: Iako su pokreti izvršeni u tri različita ugaona pomeraja, nisu uočene značajnije promene KS (Jaric et al., 1998). Zbog toga malo je verovatno da razlike ugaonih pomeraja pokreta, izvedenih u različitim uslovima izvođenja (umerene konstantne i varijabilne greške), značajnije utiču na KS. Kao posledica toga, dalja diskusija biće usmerena ka analiziranju efekata koje su tri eksperimentalna faktora (brzina pokreta, ugaoni interval i smer pokreta) imali na testirane pokrete.

Kao i u prethodnim studijama (Jaric et al., 1998, 2000), pretpostavljena uloga biomehaničkih faktora u simetriji pokreta zasnivala se na biomehaničkom principu da ubrzanje i usporenje ekstremiteta zahteva jednake impulse (momente impulsa), bez obzira na tip pokreta (diskretni, oscilatorni ili povratni). Po tom principu raspoloživo vreme, potrebno za izvođenje odgovarajućeg pokreta, deli se tako da "slabiji mišići" imaju relativno više vremena za akciju od njihovih, jačih antagonista. Kao posledica toga bilo koji faktor koji utiče na moment sile aktivnih mišićnih grupa mogao bi takođe da utiče i na KS izvedenih pokreta. U daljem tekstu diskutovaće se rezultati dobijeni na osnovu tumačenja potencijalnih efekata promene uslova izvođenja na relacije "moment sile – ugaona brzina" i "moment sile – ugaoni pomeraji" mišića agonista i antagonista.

U skladu sa relacijom moment sile – ugaona brzina, maksimalni voljni moment sile, bilo fleksora, bilo ekstenzora u zglobu lakta, veći je u ekscentričnom nego u koncentričnom režimu kontrakcije. Takođe, ta razlika trebalo bi da se uveća sa povećanjem ugaone brzine u zglobu. Na osnovu toga mogu se izvesti dva zaključka. Prvi, približavajući se svom maksimalnom izometrijskom momentu sile mišić agonista postaje relativno "slabiji" (koncentrična kontrakcija) dok se suprotno dešava sa mišićem antagonistom (ekscentrična kontrakcija). Kao posledica toga vreme pokreta trebalo bi da se podeli tako da obezbedi više

vremena za akciju mišića agonista. To znači da bi vreme ubrzanja trebalo da bude duže od vremena usporenja, odnosno da bi vrednost KS trebalo da bude veće od jedan. Drugi, kako se diskutovana razlika između maksimalnog koncentričnog i ekscentričnog momenta sile uvećava sa brzinom pokreta, povećanje brzine pokreta takođe bi trebalo da uzrokuje povećanje KS.

Dobijeni rezultati bili su u skladu sa obe pretpostavke: sa izuzetkom diskretnih fleksija (umerena brzina, interval od 115° – 165°), u svih preostalih 15 eksperimentalnih uslova dobijeno je $KS > 1$. Ovaj nalaz je u saglasnosti sa brojnim rezultatima dobijenim u eksperimentima na brzim diskretnim pokretima (Jaric, 2000; Nagasaki, 1989). Od dodatne važnosti moglo bi biti to što su, u ovom istraživanju, i brzi i umereni oscilatorni pokreti imali KS znatno veći od jedan. Ovaj rezultat ukazuje na sasvim asimetričan kinematički profil, iako značajan deo postojeće literature iz oblasti motorne kontrole predstavlja model oscilatornih pokreta sinusoidnom funkcijom, nesumnjivo pretpostavljajući da je pri tome $KS = 1$ (Sternad & Schaal, 1999; Zijlstra & Hof, 1997). Druga pretpostavka koja je takođe potvrđena dobijenim rezultatima, zasnivala se na relaciji moment sile – ugaona brzina, po kojoj je povećanje brzina uzrok povećanja KS. Veći KS, dobijeni kod brzih pokreta u odnosu na KS umerenih, potvrđen je i u nekim prethodnim studijama (Corcos et al., 1993; Jaric et al., 1998; Nagasaki, 1989). Od potencijalnog značaja takođe bi moglo da bude poređenje efekata dobijenih kod diskretnih i oscilatornih pokreta. Odavno je poznato da su pokreti, izvedeni uz prethodno istezanje mišića agonista (kao kod oscilatornih pokreta), brži nego slični pokreti izvođeni iz statičkog početnog položaja (kao kod diskretnih pokreta; Bosco et al. 1982; Jaric et al. 1985). Zbog toga očekivano veća maksimalna brzina oscilatornih pokreta takođe se može povezati sa većim KS oscilatornih pokreta u svakom od konkretnih uslova izvođenja pokreta.

Na osnovu dobijenih rezultata moguće je formulisati još jednu pretpostavku, zasnovanu na efektima ugla u zglobu lakta na jačinu fleksora i ekstenzora u zglobu lakta. Dok se pri prelasku iz jednog ugaonog intervala (65° – 115°) u drugi (115° – 165°) intenzitet maksimalnog momenta sile ekstenzora u zglobu lakta smanjuje, dotle intenzitet maksimuma momenta sile fleksora u

zglobu lakta pokazuje jasan pik pri uglu u zglobu lakta od skoro tačno 90° (Zatsiorsky, 1995) ili 110° (An et al., 1989). Na osnovu toga očekuje se da je, pri ugaonom intervalu od 65° do 115° , uz relativno velik moment sile, olakšano delovanje fleksora u zglobu lakta (bilo usporenjem pokreta ekstenzije bilo ubrzanjem pokreta fleksije) u odnosu na delovanje fleksora u ugaonom intervalu od 115° do 165° . U skladu sa ranije iznetom pretpostavkom (vidi prethodne paragrafe) veliki intenzitet momenta sile fleksora lakta praćen je kratkim usporenjem pokreta ekstenzije i ubrzanja pokreta fleksije, što za posledicu ima i odgovarajuću promenu KS. Ova pretpostavka je potvrđena dobijenim rezultatima: pokreti izvedeni unutar ugaonog intervala od 65° do 115° , imali su manji KS kod pokreta fleksije i veći KS kod pokreta ekstenzije, od onih izvedenih unutar ugaonog intervala od 115° do 165° . Slika 8 prikazuje postojanost ovih rezultata, u uslovima različitih tipova pokreta i brzina.

Iako su dobijeni rezultati u saglasnosti sa ranije iznetim pretpostavkama, može se postaviti pitanje u vezi sa osnovnom pretpostavkom da se vreme pokreta agonista i antagonista deli obrnuto proporcionalno njihovoj jačini. Dok je ovakva vrsta ponašanja vrlo verovatna pri izvođenju najbržih mogućih pokreta, dotle treba imati u vidu da se umereno brzi pokreti mogu izvesti sa KS koji može da varira unutar širokog opsega (Cooke & Brown, 1994). Bez obzira na to, izvođenje diskretnih pokreta sa produženim ubrzanjem, niskog inteziteta, i odmah posle toga energičnim i snažnim usporenjem (i obrnuto), nije deo našeg svakodnevnog ponašanja. Pored toga, neki od principa optimizacije, proistekli iz hipoteze o minimumu trećeg izvoda ugaonog pomeraja, kao što je minimum promene nervnog nadražaja ili minimum promene "upravljanog" momenta sile (Kowato, 1996; Nakano et al., 1999), takođe predlažu jednak nivo mišićne aktivacije antagonističkih mišićnih grupa. Sa ovog stanovišta izgleda prihvatljivom pretpostavka da relativna trajanja vremena ubrzanja i usporenja, delimično ukazuju na sposobnost odgovarajućih mišićnih grupa da razviju adekvatne momente sile.

Odstupanje KS od jedan, često je u literaturi koja se ovom oblašću bavi, bilo interpretirano ili kao slabost modela motorne kontrole i hipoteza zasnovanih

na simetriji pokreta, ili kao nesavršenost kontrole pokreta u odabranoj populaciji ispitanika (za detalje vidi Uvod). Ovo istraživanje nudi alternativno objašnjenje, zasnovano na mogućnosti aktivnih mišića da razviju moment sile u različitim uslovima izvođenja pokreta. Slični rezultati, prethodno dobijeni ispitivanjem brzih diskretnih pokreta, sada mogu da budu uopšteni i na povratne ili na pokrete koji se ponavljaju, kao i na pokrete izvedene umerenom brzinom. Kako se o simetriji pokreta razmišlja pretežno kao o “upravljačkom (centralnom) problemu, prikazani rezultati podržavaju tvrdnju da treba uzeti u obzir i ulogu odgovarajućih dominantnih biomehaničkih faktora. Bez obzira na to potrebno je dalje studije usmeriti na preostale probleme, kao što je istraživanje razlika između KS pokreta fleksije i ekstenzije (za detalje pogledati Jaric et al., 1997, 2000) ili opštije, koja je uloga centralnih i perifernih faktora u simetriji pokreta. Ovo drugo moglo bi da bude od posebne važnosti, s obzirom da bi dalja istraživanja mogla da obezbede dokaze o značaju biomehaničkih osobina lokomotornog aparata (kada je u pitanju proučavanje kinematike pokreta) i za ostale modele motorne kontrole, a ne samo za one zasnovane na simetriji pokreta.

II EKSPERIMENT: Procena mišićne jačine i evaluacija testova za procenu brzine razvoja sile

Sažetak

Predmet ovih istraživanja je evaluacija četiri testa tzv. brzine razvoja sile (BRS). Nakon intenzivne familijarizacije sa eksperimentalnim zahtevima, ispitanicima (N=26) je testirana brzina razvoja sile mišića fleksora i ekstenzora u zglobu lakta. Pored toga, ispitanici su izvodili brze oscilatorne i diskretne pokrete fleksije i ekstenzije u zglobu lakta. Pored maksimalne sile (F_{max}), četiri različita kriterijuma za procenu BRS izvedena su iz zabeležene vremenske funkcije signala sile: vremenski interval od trenutka kada je dostignut nivo jednak 30% F_{max} do trenutka kada je dostignut nivo od 70% F_{max} ($T_{30\%-70\%}$), maksimum prvog izvoda signala sile u vremenu (RFD), maksimum prvog izvoda signala sile u vremenu relativizovan maksimalnom silom (RFD/F_{max}), kao i nivo sile dostignut u stotoj milisekundi od početka delovanja silom (F_{100ms}). Izuzimajući $T_{30\%-70\%}$, pouzdanost preostalih testova za procenu BRS je, na osnovu dobijenih korelacionih koeficijenata, procenjena kao veoma dobra, odnosno dobra (intraklas korelacioni koeficijent u intervalu od 0,8 do 1 odnosno od 0,6 do 0,8) što je bilo uporedivo sa dobijenim rezultatima kojima je merena pouzdanost F_{max} . Povezanost F_{max} sa RFD i F_{100ms} , je bila pozitivna ali ne i sa $T_{30\%-70\%}$ i RFD/F_{max} . Kod fleksora u zglobu lakta zabeležene su veće vrednosti RFD i F_{100ms} nego kod ekstenzora, dok između vrednosti $T_{30\%-70\%}$ RFD/F_{max} zabeleženih za ova dva mišića, nije bilo značajnijih razlika. Bez obzira na jednostavnost testiranih pokreta, povezanost između testova BRS i parametara pokreta bila je neznatna i delimično statistički beznačajna. Iz svega pomenutog zaključeno je da se većinom pomenutih testova mogu pouzdano procenjivati neuromišićne funkcije, bilo da se koriste u apsolutnom obliku (zavisnom od mišićne sile odnosno indirektno od mišićne veličine [RFD i F_{100ms}]), bilo da se koriste u relativnom obliku (nezavisnom od mišićne sile [$T_{30\%-70\%}$ i RFD/F_{max}]). Tzv. eksterna validnost ovih testova (kada se primenjuju da bi se procenile funkcione sposobnosti odgovarajućih pokreta), ovde nije dokazana.

Ključne reči: Relacija sila-vreme, pouzdanost, validnost, lakat, pokret

Uvod

Mišićna jačina obično se odnosi na maksimalnu silu (zabeleženu dinamometrom) ili na moment sile (zabeležen izokinetičkim dinamometrom), koju odgovarajuća mišićna grupa može da razvije (Sale, 1991). U literaturi se često, pored maksimalne sile, istražuje i sposobnost mišića da odgovarajućom brzinom razvije silu (ili moment sile) što predstavlja posebnu vrstu testova jačine (za detalje pogledati Abernethy et al. 1995, i Wilson and Marphy 1996). Pored opštih razloga, za procenu neuromišićne funkcije značaj procene brzine razvoja sile ogleda se u činjenici da je vreme neophodno da se dostigne neki nivo sile u određenim sportskim ali i nekim svakodnevnim aktivnostima ponekad i od presudne važnosti (Wilson i Marphy 1996; Ugarković et al 2002; Paasuke 2001).

U literaturi koja se ovom problematikom bavi, pominje se nekoliko različitih kriterijuma za procenu brzina razvoja sile (testovi BRS). Test BRS koji se najčešće pominje je tzv. priraštaj sile (RFD). Ukratko, od ispitanika se traži da na najbrži moguć način razviju maksimalnu silu, pri čemu se RFD određuje kao maksimum prvog izvoda zabeleženog signala sile u vremenu (Haff et al 1997; Wilson i Marphy 1996; Slievert and Wenger 1994) ili kao nagib krive u datom vremenskom trenutku u odnosu na početak razvoja sile (Aagaard et al 2002). Uzimajući implicitno i moguće efekte dimenzija mišića, pojedini autori prikazuju RFD po jedinici postignute mišićne jačine (Sahaly et al 2001; Aagaard et al. 2002). Pored RFD-a, u brojnim radovima predlažu se alternativni testovi BRS. Na pr., pojedini autori procenjuju BRS vremenom potrebnim da se dostigne određeni nivo sile. Najčešće primenjivani takav kriterijum je interval između dva odgovarajuća postignuta nivoa sila (pri čemu se nivoi određuju relativno u odnosu na postignutu maksimalnu silu) (Bobbert i van Zandwijk 1999; Gorostijaga et al. 1999; Slivert i Wenger 1994; Zhou et al 1999). U nekim radovima se kao test BRS uzima vreme potrebno da se dostigne određeni nivo sile u odnosu na nulti nivo (Hakkinen et al. 1985; za detalje pogledati Wilson i Marphy 1996) ili dostignuti nivo sile u zadatom trenutku vremena (Izquierdo et al. 1999).

II EKSPERIMENT

Međutim, literatura ukazuje na nekoliko potencijalnih problema koji se odnose na testove koji ispituju sposobnost mišića za što brži razvoj sile. Iako se na osnovu rezultata dosadašnjih istraživanja, pouzdanost i validnost testova BRS osporava (Abernethy et al 1995; Wilson i Marphy 1996), osim kada je u pitanju RFD (Slievert and Wenger 1994), pouzdanost preostalih testova niti je ispitivana, niti su oni međusobno upoređivani. Isto tako, nije ispitivana ni međusobna povezanost različitih testova BRS, niti njihova veza sa F_{max} . Ova problematika je posebno značajna zbog činjenice da se za procenu određenih funkcionalnih osobina mišića primenjuju različiti testovi mišićne jačine u različitim oblastima kao što su ergonomija, fizikalna medicina ili sport (za detalje pogledati Wilson and Marphy 1996 i Jaric 2002), kao i zbog činjenice da se F_{max} i testovi BRS koriste kao pokazatelji kvalitativno različitih svojstava, iako među njima možda postoji bliska povezanost. Konačno, bez obzira na čestu primenu ovih testova, još uvek nije do kraja istraženo na koji način su pomenuti testovi mišićne jačine i u kojoj meri povezani sa odgovarajućim osobinama pokreta.

Pokušavajući da pronađemo odgovore na gore pomenuta pitanja, osmišljen je eksperiment u kome su se za procenu BRS koristili različiti kriterijumi. Pored toga analizirani su i parametri jednostavnih pokreta kojima su upravljali testirani mišići. Time će se ispuniti osnovni zadaci ovog istraživanja: da se izvrši procena pouzdanosti različitih testova za procenu BRS, da se utvrdi njihova veza sa maksimalnom jačinom kao i da se istraži njihova povezanost sa performansama pokreta.

Metode

Uzorak

U eksperimentu je učestvovalo 26 ispitanika muškog pola, starosti od 19-36 godina, srednja vrednost (SD) 21 (3) godine. Masa ispitanika bila je 76,3 (8,6) kg, dok im je visina iznosila 1,81 (0,84) m. Iako ispitanici nisu bili aktivni sportisti, većina je u trenutku izvođenja eksperimenta bila fizički aktivna. Niko od ispitanika nije prijavio neurološke poremećaje i skorije povrede lokomotornog aparata. Pre izvođenja eksperimenta svim ispitanicima detaljno je objašnjena svrha i

II EKSPERIMENT

procedura istraživanja, nakon čega su oni dali pismenu saglasnost o dobrovoljnom učešću u istraživanju.

Uslovi eksperimenta

Pred početak eksperimenta ispitanici su u cilju familijarizacije sa eksperimentalnim zahtevima, u tri dana, na identičan način uvežbali izvođenje eksperimentalnih zadataka. Tokom jednog ciklusa uvežbavanja ispitanici su ukupno izvodili 180 parova brzih i sporih diskretnih pokreta fleksija i ekstenzija, 180 oscilatornih ciklusa fleksija-ekstenzija i po 30 što bržih maksimalnih izometrijskih kontrakcija fleksora, odnosno ekstenzora u zglobu lakta. Eksperimentalna merenja izvedena su u jednom danu. Redosled testiranja za sve ispitanike bio je identičan: Ispitanici su prvo izvodili diskretne i oscilatorne jednozglobne pokrete (kinematika), a nakon toga bila je testirana njihova sposobnost što bržeg razvoja maksimalne izometrijske sile (testovi jačine)

Kinematika

Ispitanik je udobno sedeo u zubarskoj stolici u približno srednjem fiziološkom položaju. Desni nadlaktak bio mu je u položaju abdukcije od 90^0 , tako da su uzdužne ose nadlakta i podlakta ležale u horizontalnoj ravni. Podlaktak i šaka ispitanika su bili fiksirani za krutu polugu koja je mogla da rotira oko osovine, čija se osa poklapala sa osom rotacije u zglobu lakta. Moment inercije poluge u odnosu na osu rotacije u zglobu lakta bio je $0,22 \text{ kgm}^2$ (Ilić 1992). Na distalnom kraju poluge fiksirana je strelica pomoću koje je ispitanik mogao da kontroliše ugaoni pomeraj. Za osovinu poluge bio je pričvršćen optički enkoder (Hohner™, tip 400; 2 bita/°) kojim je meren ugao između uzdužnih osa poluge u početnom i finalnom položaju. Time je direktno meren ugaoni pomeraj u zglobu lakta. Početni i finalni položaji bili su obeleženi markerima postavljenim u horizontalnoj ravni. Dva markera bila su postavljena tako da obeležavaju položaje od 65^0 i 115^0 (punoj fleksiji odgovarao je ugao od 180^0).

Eksperimentalni zadatak za sve ispitanike je bio da se izvede serija najbržih fleksija i ekstenzija, ugaonog pomeraja od 50^0 . Prvi blok se sastojao od

II EKSPERIMENT

diskretnih pokreta u kome su naizmenično izvođene fleksije i ekstenzije, sa pauzama od 5 s između pojedinačnih pokreta. U drugoj seriji ispitanici su izvodili oscilatorne pokrete između dva zadana položaja. Ispitanici su bili instruisani da izvode pokrete na najbrži mogući način. Pokreti su izvedeni pri otvorenim očima. Serije diskretnih pokreta sastojala se od 10 parova fleksija i ekstenzija, od kojih su odbačeni prvi i poslednji par. Serija oscilatornih pokreta sastojala se od dvanaest parova fleksija i ekstenzija, od koji su prva i poslednja dva para odbačena. Na taj način je za dalju analizu ostalo po osam diskretnih i oscilatornih fleksija i ekstenzija.

Testovi jačine

Ispitanik je udobno sedeo u zubarskoj stolici u približno srednjem fiziološkom položaju. Desni nadlaktak bio mu je u položaju abdukcije od 90^0 , tako da su uzdužne ose nadlakta i podlakta ležale u horizontalnoj ravni. Podlaktak i šaka ispitanika bili su fiksirani za krutu polugu (osovine čija se osa poklapala sa osom rotacije u zglobu lakta). Moment inercije poluge u odnosu na osu rotacije u zglobu lakta takođe je bio $0,22 \text{ kgm}^2$ (Ilić 1992). Poluga je bila fiksirana (ugao u zglobu lakta 90^0) tako što je za njen levi kraj (pokret ekstenzije), odnosno desni kraj (pokret fleksije) bila pričvršćena sonda dinamometra, pomoću koje je registrovana vrednost postignute sile.

U testovima jačine, eksperimentalni zadatak bio je da se najbrže moguće postignu maksimalne izometrijske sile fleksora odnosno ekstenzora u zglobu lakta (horizontalna ravan). Tokom merenja ispitanici su za svaku mišićnu grupu izveli po četiri pokušaja: jedan probni i tri za potrebe eksperimenta. Redosled testiranja različitih mišićnih grupa bio je slučajan. Između svakog pokušaja usledila bi pauza od 2 min.

Procedura testiranja bila je sledeća: Svaki od ispitanika najpre je bio zamoljen da zauzme odgovarajući početni položaj. Zatim su izvršene eventualne korekcije u položaju, nakon čega su usledile instrukcije:

II EKSPERIMENT

- Blago zategni traku dinamometra (da bi se podesio nulti nivo odnosno početni nivo sile).
- Na zadatatu komandu („VUCI“) najjače i najbrže povuci traku i drži dok ne čuješ sledeći znak („DOBRO JE“).

Zatim je usledio energičan znak („VUCI“), da bi ispitanik nakon četiri sekunde povlačenja dobio signal da može da opusti muskulaturu, odnosno da može da prekine sa povlačenjem trake.

Tokom merenja ispitanici su na displeju dinamometra mogli da vide postignuti rezultat (maksimalnu postignutu silu). Pri svakom pokušaju bili su snažno bodreni od strane eksperimentatora i ostalih ispitanika u cilju postizanja što boljeg rezultata.

Akvizicija i obrada eksperimentalnih rezultata

Kinematika

Ugao u zglobu meren je linearnim goniometrom čiji je signal digitalizovan A/D konvertorom i softverski filtriran na 20 ms, a zatim memorisan na disku PC računara. Za analizu i obradu podataka upotrebljen je program DADISP. Zabeleženi signali su vremenske funkcije ugaonog pomeraja pokreta (Slika 10) i sa njih su određeni pojedinačni ugaoni pomeraji pokreta ($\Delta\varphi$), na osnovu kojih su računate standardne devijacije terminalnog položaja, kao i apsolutna odstupanja od ugaonog pomeraja. SD je mera varijabiliteta dostignutog finalnog položaja i po ustaljenoj terminologiji u radovima koji se bave brzim terminalnim pokretima, naziva se varijabilnom greškom (**VG**), dok se apsolutno odstupanje krajnjeg položaja izvedenog pokreta od zadatog, naziva sistematskom greškom (**SG**). Diferenciranjem signala vremenske funkcije ugla dobijeni su signali vremenske funkcije brzine sa kojih su očitavane maksimalne dostignute brzine pokreta (**MB**). Početni odnosno krajnji položaji diskretnih pokreta određeni su sa signala brzine po tzv. kriterijumu 5%. Po tom kriterijumu, vreme početka (t_1), odnosno vreme kraja pokreta (t_2), predstavljaju vremenske koordinate tačaka čije su koordinate brzine (v_1 i v_2) 5% vrednosti **MB**. Iz tih koordinata su sa signala vremenske

II EKSPERIMENT

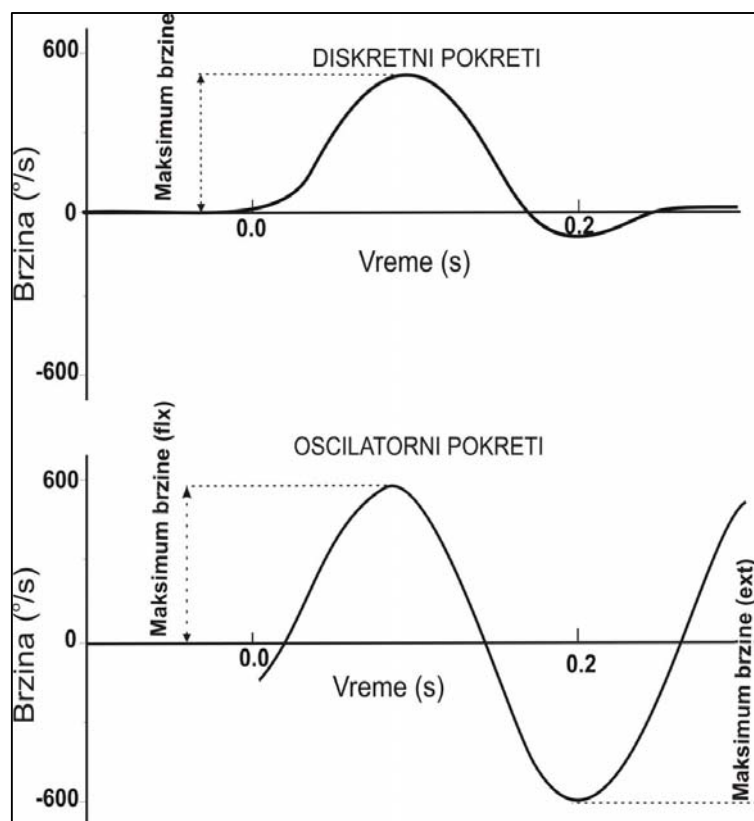
funkcije ugla određene početne (φ_1), odnosno krajnje koordinate položaja pokreta (φ_2). Početni odnosno krajnji položaji oscilatornih pokreta su određeni sa signala ugla. Pri tome su početni položaji fleksija bili ujedno krajnji položaji ekstenzija (minimumi signala ugla), dok su, krajnji položaji fleksija (maksimumi signala ugla) predstavljali početak ekstenzija.

Testovi jačine

Jačine mišića su merene izometrijskim dinamometrom (Spremo i Barač, Zagreb), koji se sastojao od mernog pretvarača (merne sonde) i pojačivača sa displejom. Dobijeni signali su digitalno konvertovani, softverski filtrirani a zatim skladišteni u memoriju PC kompjutera. Snimljeni signal predstavljao je vremensku funkciju izometrijske sile (Slika 9). Odatle su se računali:

- Maksimalna izometrijska sila - ($F_{\max}$), kao interval sile od početka delovanja, do maksimalne dostignute vrednosti. Za početak delovanja silom odabiran je trenutak u kome je priraštaj sile dostizao 3% $F_{\max}$.
- Koeficijent eksplozivnosti - (RFD), kao maximum prvog izvoda vremenske funkcije sile.
- Relativni koeficijent eksplozivnosti - ($RFD / F_{\max}$), kao količnik RFD-a i $F_{\max}$.
- Vremenski interval - ($T_{30\%-70\%}$), od trenutka postizanja 30% $F_{\max}$ do trenutka postizanja 70% $F_{\max}$. Intenzitet sile dostignut u stotoj milisekundi od početka delovanja - (F_{100ms}).

II EKSPERIMENT



Slika 9

Vremenske funkcije ugaonog pomeraja i brzine diskretnih (gornja) i oscilatornih pokreta (donja slika)

Statistička analiza

Srednje vrednosti i standardne devijacije računane su za sve pomenute varijable. Pouzdanost je određivana na osnovu intraklas korelacionog koeficijenta (ICC), koji je računat za tri uzastopna pokušaja (testovi jačine), sa intervalom pouzdanosti od 95%. Za dalju analizu, biran je onaj pokušaj u kome je ostvareno najveće $F_{\max}$. Razlike rezultata fleksora i ekstenzora testirani su Studentovim t-testom, u odgovarajućem intervalu pouzdanosti. Veza između $F_{\max}$ i četiri testa za procenu brzine razvoja sile određivana je na osnovu Pirsonovog koeficijenta korelacije. Takođe, za svaki od parametara ($F_{\max}$ i četiri testa za procenu BRS) računat je koeficijent korelacije sa maksimalnom brzinom odgovarajućih testiranih pokreta. Nakon toga izvršena je Z-transformacija i urađena trofaktorska analiza varijansi, gde su faktori bili “vrsta mišića” (flx-ext), “pokret” (disk-osc) i

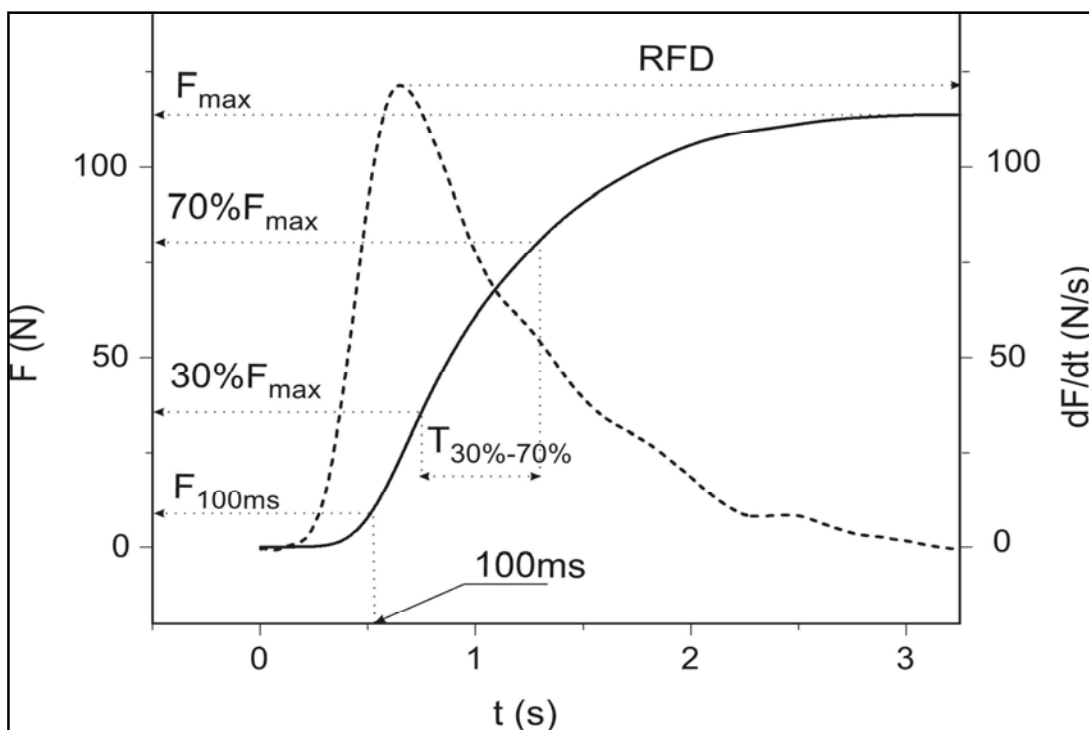
II EKSPERIMENT

“test” ($F_{\max}$, RFD, $F_{100\text{ms}}$, RFD/ $F_{\max}$, $T_{30\%-70\%}$). Za nivo statističke značajnosti odabran je nivo $p < 0,05$.

Rezultati

Na Slici 10 prikazana je tipična funkcija sile u vremenu, zabeležena tokom izvođenja testa mišićne jačine. Takođe, ilustrovane su metode određivanja $F_{\max}$ i veličina koje su korišćene za procenu BRS (testovi za procenu BRS). Iz tri uzastopna pokušaja što bržeg razvoja sile (test mišićne jačine) dobijena su tri skupa podataka (posebno za fleksore, a posebno za ekstenzore) koje su činili $F_{\max}$ i četiri testa BRS.

Deskriptivna statistika (srednja vrednost $\pm$ SD) ovih veličina prikazana je u Tabeli 3, zajedno sa “intraklas” korelacionim koeficijentima (ICC) izračunatim za tri ponovljena pokušaja. ICC koeficijenti većine testova su se nalazili u intervalu od 0,8 do 1. Koeficijenti dobijeni za $T_{30\%-70\%}$ kod ekstenzora, i koeficijenti za $F_{100\text{ms}}$ kod fleksora, imali su vrednost u intervalu od 0,6 do 0,8; dok je jedino koeficijent za $T_{30\%-70\%}$ (fleksori) bio niži od 0,6. Bez obzira na mišićnu grupu, odgovarajući ICC koeficijenti ukazivali su na značajno veću pouzdanost $F_{\max}$ od $T_{30\%-70\%}$.



Slika 10

Vremenska funkcija izometrijske sile (puna linija). Isprekidana linija predstavlja prvi izvod vremenske funkcije sile, iz koga se procenjuje RFD. Takođe su prikazane metode određivanja maksimalne sile (F_{max}), vremena između 30% i 70% F_{max} ($T_{30\%-70\%}$), i intenziteta sile postignutog u stotoj milisekundi od početka delovanja.

II EKSPERIMENT

Tabela 3: Maksimalna sila i četiri testa za procenu BRS oba ispitivana mišića

		$F_{\max}$ (N)	$T_{30\%-70\%}$ (s)	RFD (N/s)	$RFD/F_{\max}$ (1/s)	F_{100ms} (N)
Ekstenzor u zglobu lakta	Pokušaj 1	113±26	0.68±0.15	125±31	1.10±0.21	7.4±2.7
	Pokušaj 2	110±30	0.66±0.17	117±31	1.07±0.22	7.1±2.5
	Pokušaj 3	107±29	0.69±0.18	114±32	1.09±0.22	7.4±3.1
	ICC	0.92	0.70	0.87	0.83	0.82
	interval pouzdanosti	0.86 - 0.96	0.52-0.84	0.77 - 0.93	0.71-0.91	0.69-0.91
Fleksor u zglobu lakta	Pokušaj 1	149±27	0.62±0.13	181±45	1.21±0.21	11.8±5.0
	Pokušaj 2	148±24	0.60±0.11	177±42	1.20±0.20	11.6±4.6
	Pokušaj 3	148±28	0.60±0.09	180±52	1.21±0.22	11.3±5.5
	ICC	0.85	0.54	0.81	0.81	0.71
	interval pouzdanosti	0.74-0.93	0.31-0.74	0.67-0.90	0.67-0.90	0.53-0.85

Prikazani podaci: srednja vrednost ± SD; ICC = intraklas korelacioni koeficijenti

U Tabeli 4 prikazani su rezultati svih pet testova (za fleksore i ekstenzore) onih pokušaja, u kojima je $F_{\max}$ bilo najveće. Kada se uporede rezultati dobijeni za fleksore sa odgovarajućim rezultatima dobijenih za ekstenzore, vidi se da su $F_{\max}$, RFD i F_{100ms} veći kod fleksora, dok se vrednosti $T_{30\%-70\%}$ i $RFD/F_{\max}$, skoro ne razlikuju.

Tabela 4: Maksimalna sila i četiri testa za procenu brzine razvoja sile testiranih ekstenzora i fleksora u zglobu lakta

	$F_{\max}$ (N)	$T_{30\%-70\%}$ (s)	RFD (N/s)	$RFD/F_{\max}$ (1/s)	F_{100ms} (N)
ekstenzor	117±22	0.62±0.11	129±25	1.10±0.17	7.8±2.5
fleksor	158±32	0.61±0.09	183±52	1.15±0.20	12.2±5.3
p-nivo	< 0.01	> 0.05	< 0.01	> 0.05	< 0.01

Prikazani podaci: srednja vrednost ± SD

II EKSPERIMENT

U Tabeli 5 prikazani su korelacioni koeficijenti dobijeni za $F_{\max}$ i četiri testa BRS. Rezultati obe mišićne grupe su vrlo postojani (pouzdanji). Naime, i kod fleksora i kod ekstenzora RFD i $F_{100\text{ms}}$ značajno koreliraju sa $F_{\max}$, za razliku od $T_{30\%-70\%}$ i $\text{RFD}/F_{\max}$. Za ekstenzore intervali pouzdanosti ukazuju na veće korelacione koeficijente za RFD nego za $\text{RFD}/F_{\max}$, dok su kod fleksora korelacioni koeficijenti veći za $F_{\max}$ i RFD nego za $F_{\max}$ i $T_{30\%-70\%}$ odnosno $\text{RFD}/F_{\max}$.

Tabela 5: Veza između maksimalne izometrijske sile i rezultata testova za procenu brzine razvoja sile

		$T_{30-70\%}$	RFD	$\text{RFD}/F_{\max}$	$F_{100\text{ms}}$
ekstenzor	$r =$	0.222	0.615**	-0.277	0.415*
	interval pouzdanosti	-0.18 0.56	0.30 0.81	-0.60 0.12	0.03 0.69
fleksor	$r =$	-0.002	0.816**	0.219	0.520**
	interval pouzdanosti	-0.39 0.39	0.62 0.91	-0.18 0.56	0.17 0.76

r = korelacioni koeficijent; * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$

Slika 9 ilustruje tipičan oblik vremenske funkcije signala brzine. Srednje vrednosti (računate iz svih pokušaja svih ispitanika) maksimuma brzine i varijabilne greške veći su kod oscilatornih nego kod diskretnih pokreta (Studentov t-test; videti Tabelu 6 za pregled rezultata).

Tabela 6: Rezultati koji ilustruju tačnost i maksimalnu brzinu izvedenih pokreta

	Varijabilna greška ($^{\circ}$)		Konstantna greška ($^{\circ}$)		Maks. brzina ($^{\circ}/\text{s}$)	
	ekstenzija	fleksija	ekstenzija	fleksija	ekstenzija	fleksija
Oscilatorni	9.3±1.0	8.9±1.3	1.9±9.3	1.5±8.9	603±75	604±77
Diskretni	1.2±0.7	1.2±0.4	-0.1±1.2	-1.5±1.2	485±66	484±68
p-nivo	< 0.01	< 0.01	> 0.05	> 0.05	< 0.01	< 0.01

Prikazani podaci: srednja vrednost ± SD

Veza između različitih parametara testova jačine i maksimalne brzine umerena je i uglavnom ispod nivoa statističke značajnosti (Tabela 7). Z-vrednosti

II EKSPERIMENT

odgovarajućih korelacionih koeficijenata testirani su trofaktorskom analizom varijanse. Dobijeni rezultati ukazuju na značajan efekat “vrste mišića” (veće vrednosti kod fleksora nego kod ekstenzora; $F=96$; $p<0,05$), “pokreta” (veće vrednosti kod oscilatornih nego kod diskretnih pokreta, $F=25$; $p<0,01$) i testa ($F=19$; $p<0,01$). Takođe, efekat interakcije “mišić - pokret” ukazao je na statistički značajnu razliku ($F=3,7$; $p<0,05$). Tukey-ev post-hok test ukazao je na veće Z-vrednosti za RFD, $RFD/F_{\max}$, $F_{100\text{ms}}$, nego za $F_{\max}$ i $T_{30\%-70\%}$. Sve razlike bile su na nivou značajnosti $p<0,01$ izuzev razlika između $F_{100\text{ms}}$ i $T_{30\%-70\%}$ koje su bile na nivou značajnosti $p<0,05$.

Tabela 7: Koeficijenti korelacija između maksimalnih brzina odgovarajućih pokreta i testova jačine aktivnih mišića

mišić	Fleksor u zglobu lakta				Ekstenzor u zglobu lakta			
Vrsta pokreta	oscilatorni		diskretni		oscilatorni		diskretni	
Smer pokreta	fleksija	ekstenzija	fleksija	ekstenzija	fleksija	ekstenzija	fleksija	ekstenzija
$F_{\max}$	0.290	0.195	0.154	-0.036	0.413*	0.391*	0.271	0.154
$T_{30-70\%}$	-0.171	-0.258	-0.084	-0.177	-0.361	-0.294	-0.321	-0.335
RFD	0.473*	0.377	0.334	0.188	0.653**	0.582**	0.477*	0.352
RFD/ $F_{\max}$	0.247	0.258	0.297	0.360	0.621**	0.529**	0.525**	0.482*
$F_{100\text{ms}}$	-0.309	-0.229	-0.292	-0.220	0.553**	-0.478*	-0.431*	-0.382

Jedna zvezdica predstavlja statistički značajnu korelaciju na nivou poverenja $p<0,05$ dok dve zvezdice predstavljaju statistički značajnu korelaciju na nivou poverenja $p<0,01$.

Diskusija

Dobijeni rezultati mogu se podeliti u tri grupe. Prva grupa odnosi se na neočekivano visoku pouzdanost većine testova za procenu BRS. Druga grupa rezultata ukazuje na jaku vezu između $F_{\max}$ i dva (maksimuma prvog izvoda funkcije razvoja sile u vremenu [RFD] i dostignute sile u 100ms od početka

II EKSPERIMENT

delovanja [F_{100ms}]) od četiri testa za procenu BRS. Korelacije F_{max} sa preostala dva testa BRS (vremenski interval od trenutka postizanja 30% F_{max} do trenutka postizanja 70% F_{max} [$T_{30\%-70\%}$] i količnik RFD i F_{max} [RFD/F_{max}]) nisu bile statistički značajane. U prilog ovim nalazima govore i veće vrednosti RFD-a i F_{100ms} dobijenih kod fleksora u odnosu na one dobijene kod ekstenzora, dok te razlike nisu bile uočljive kada su se uporedile vrednosti preostala dva testa ($T_{30\%-70\%}$ i RFD/F_{max}) ovih dvaju mišićnih grupa.

Treća grupa rezultata odnosi se na povezanost mišićne jačine i veličina koje opisuju performanse pokreta. Bez obzira na dobijenu relativno slabu povezanost, neke razlike koje se odnose i na način izvođenja pokreta i na testove BRS zaslužuju da budu prodiskutovane.

Pouzdanost testova za procenu BRS

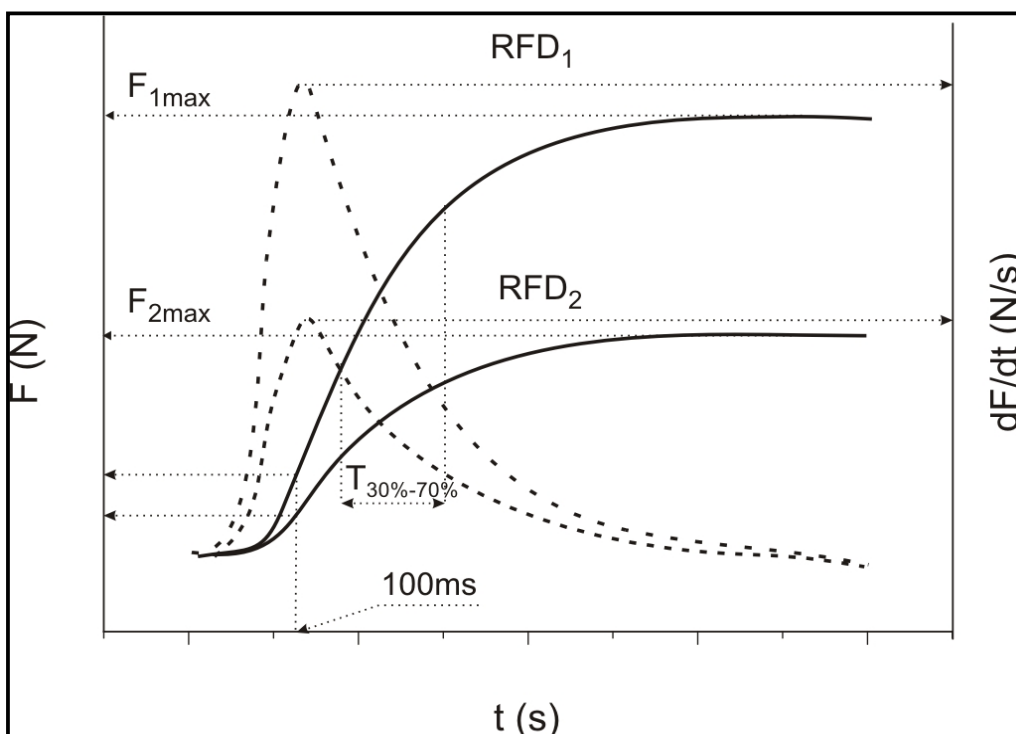
Većina intraklas korelacionih koeficijenata (ICC) dobijenih za četiri testa BRS nalazili su se u intervalu od 0,8 do 1. Ovaj interval se smatra pokazateljem veoma dobre pouzdanosti testova (Slievert and Wenger 1994). Izuzetak su ICC koeficijenti dobijeni za $T_{30\%-70\%}$ (ekstenzori) i F_{100ms} (fleksori), koji su se nalazili u prihvatljivom intervalu od 0,6 do 0,8 (dobra pouzdanost). Jedini se ICC koeficijent za $T_{30\%-70\%}$ (fleksori) nalazio u intervalu nižem od 0,6 (slaba pouzdanost). Ovi nalazi su u suprotnosti sa ranije dobijenim rezultatima (Slievert and Wenger 1994) koji su ukazivali na slabu pouzdanost testova za procenu BRS. Kako je većina ICC koeficijenata dobijenih za testove procene BRS bila slična onim dobijenih za F_{max} , ovo je suprotno opštoj pretpostavci Abernethy-ja i saradnika (1995) da je pouzdanost procene F_{max} veća od pouzdanosti testova za procenu BRS. Nedostatak literature o ovoj problematici ne dozvoljava dalju elaboraciju pomenutog fenomena. Ovde se može staviti primedba da je razlika nastala usled intenzivne familijarizacije ispitanika sa eksperimentalnim rezultatima. Isto tako, sugerise se da što brži razvoj maksimalne sile zahteva više uvežbavanja nego kada je eksperimentalni zadatak samo razvoj maksimalne sile (Abernethy et al 1995). Ova tvrdnja dobija indirektnu potvrdu u nalazima Sahalija i saradnika (2001), koji su u svojim eksperimentima dobili različite vrednosti RFD-

II EKSPERIMENT

a u slučajevima kada se od ispitanika tražilo da silu razviju “brzo i jako”, u odnosu na slučaj kada je eksperimentalni zahtev bio da silu razviju “jako”.

Povezanost testova za procenu BRS sa $F_{\max}$

Za $F_{\max}$ i testove BRS uopšteno se smatra da oslikavaju različite funkcionalne osobine testiranih mišića, jer je i njihov značaj za izvođenje različitih pokreta različit (Passuke et al 1999; Pryor et al 1994, Ugarković et al 2002, takođe, za pregled videti Wilson i Marphy 1996). Promene mišićne jačine izazvane treningom takođe su se različito odražavale na $F_{\max}$ i testove procene BRS (Matavulj et al 2002; Haff et al 1997; Zhou et al 1996; Gorostijaga et al. 1999). Međutim, naši rezultati ukazuju na to da su neki testovi za procenu BRS povezani sa $F_{\max}$ dok drugi nisu. Uočeni fenomen se delimično može objasniti uticajem dimenzija mišića na dobijene rezultate.



Slika 11

Ilustracija vremenske funkcije sile dva hipotetička modela mišića koji se razlikuju jedino po dimenzijama pa samim tim i po jačini. Jači mišić ostvaruje veće vrednosti RFD i F_{100ms} , ali ne i $RFD/F_{\max}$ i $T_{30\%-70\%}$.

II EKSPERIMENT

Na slici 11 prikazano je hipotetičko ponašanje dva mišića različitih dimenzija, pri brzom razvoju sile. Funkcije razvoja sile u vremenu prikazane su polazeći od pretpostavke da dimenzije mišića utiču na $F_{\max}$ ali ne i na sposobnost brzine razvoja sile. To se može uočiti analizom prikazanih signala, odnosno poređenjem odgovarajućih veličina sa jednog odnosno drugog signala. Dok RFD i $F_{100\text{ms}}$ imaju veće vrednosti kod "jačeg" mišića, dotle jačina mišića nema uticaja na vrednost $T_{30\%-70\%}$, odnosno vrednost RFD relativizovanom $F_{\max}$ ($\text{RFD}/F_{\max}$). Uočene razlike između povezanosti sva četiri parametra (testa) za procenu BRS i $F_{\max}$ su u saglasnosti sa ponašanjem ova dva modela mišića. Posebno je uočljivo da dobijeni rezultati ukazuju na povezanost vrednosti RFD i $F_{100\text{ms}}$ sa odgovarajućim pojedinačnim maksimalnim vrednostima sila, dok ta veza nije uočljiva između maksimalne sile i preostala dva parametra. Takođe, kod jačih fleksora ($F_{\max}$ fleksora veće nego $F_{\max}$ ekstenzora) zabeležene su veće vrednosti ova dva parametra u odnosu na iste vrednosti parametara dobijenih kod ekstenzora. Isto tako, kada su se upoređivale vrednosti $T_{30\%-70\%}$ i $\text{RFD}/F_{\max}$ fleksora i ekstenzora nisu uočene statistički značajne razlike. Iako pretpostavka da mišićna jačina ne utiče na brzinu razvoja sile može da bude osporena sa više strana, treba uzeti u obzir da je nekoliko istraživača podržalo koncept da RFD kao i ostali testovi za procenu BRS, mogu da budu povezani s mišićnom silom, ili indirektno sa dimenzijama mišića. U radovima Boobert-a i Zandwijk-a (1999) dobijena su slična vremena od 10% porasta do 90% maksimalnog nivoa EMG-a kod mišića različitih dimenzija, dok su Sleivert i saradnici (1995) dobili pozitivnu korelaciju između RFD-a ekstenzora u zglobu kolena i sa telesnom masom i zapreminom nadkolenice. Zaključak da se "... sposobnost mišića da deluje u izometrijskom i dinamičkom režimu zasniva na sličnim strukturnim i fiziološkim osnovama, kao i na sposobnosti da što brže razvije silu" (Haff et al 1997; str. 269), zasniva se na pozitivnim korelacijama između RFD i maksimalne sile dobijenih i u izometrijskim i u dinamičkim uslovima. $F_{\max}$ i RFD rastu na sličan način sa uzrastom (Paasuke et al 2001), ali opadaju sa zamorom (Zhou et al 1996) ili sa godinama (starošću) (Paasuke 2000). Konačno, uočene razlike između $F_{\max}$ u ekscentričnom i izometrijskom režimu javljaju se i kad se uporede

II EKSPERIMENT

odgovarajući RFD (Prior et al 1994). Na osnovu prikazanog modela i podataka iz pomenute literature verujemo da razlike između apsolutnog (zavisan od dimenzija mišića) i relativnog (nezavisan od dimenzija mišića) RFD-a, predložene od strane Slievert-a i Wenger-a (1994) mogu se proširiti i na F_{100ms} i $T_{30\%-70\%}$ kao zavisne odnosno nezavisne veličine od dimenzija mišića.

Veza sa performansama pokreta

Veza između mišićne jačine i funkcionalnih osobina pokreta često se naziva "eksternom" validnošću testova mišićne jačine (Abernethy et al 1995, Markora i Milller 2000). Međutim, ako se izuzmu par primera u kojima je dobijena visoka korelacija između ovih parametara, rezultati većine istraživanja sugerišu da su korelacije između parametara pokreta i jačine odgovarajućih mišića skromne ako ne i beznačajne (za detalje pogledati Wilson and Marphy 1996 i Jaric 2002). Moguće objašnjenje, ovakvih rezultata, može da bude razlika u nivou složenosti motoričkih zadataka pri izvođenju testova u kojima se procenjuje funkcionalna sposobnost mišića, kao i relativno veliki broj mišića odnosno segmenata tela koji su u tim zadacima uključeni. Zbog toga je za potrebe ovog eksperimenta izabran krajnje jednostavan eksperimentalni zadatak. On se sastojao od brzih diskretnih i oscilatornih jednozglobnih pokreta za čije su izvođenje bila odgovorna samo dva mišića (fleksori i ekstenzori u zglobu lakta). Takođe, pre samog testiranja izvršena je familijarizacija sa eksperimentalnim zadacima da bi se obezbedila veća pouzdanost primenjenih testova. Bez obzira na sve to, dobijeni koeficijenti korelacija između parametara brzine pokreta fleksija i ekstenzija (kinematički parametri) i F_{max} odnosno testova za procenu BRS, fleksora odnosno ekstenzora koji su tim pokretima upravljali bili su skromni ili beznačajni. Na osnovu toga bi se mogao izvesti zaključak da bez obzira što standardni testovi jačine mogu da budu pokazatelji opštih funkcionalnih sposobnosti, njihova veza sa performansama pokreta pod znakom je pitanja. Ipak, ostaje mogućnost da je slaba povezanost rezultata ovih dvaju testova razlika u režimu kontrakcija (izometrijski i dinamički) koja nastaje u jednom odnosno drugom slučaju. Nemamo podatke kojima bismo to potvrdili ali slabe

II EKSPERIMENT

korelacije između parametara "izometrijskih" odnosno "dinamičkih" testova u literaturi koja se ovom problematikom bavi relativno su čest slučaj.

Ista metodologija primenjena je kod testova jačine i fleksora i ekstenzora, zato što su ove mišićne grupe bile naizmenično agonisti i antagonisti tokom izvođenja brzih oscilatornih pokreta i diskretnih pokreta u suprotnim smerovima. Viši korelacioni koeficijenti dobijeni između parametara pokreta i testova jačine ekstenzora u odnosu na iste korelacije kod fleksora, teško je objasniti. U odnosu na jače korelacije između testiranih mišićnih jačina i parametara oscilatornih pokreta u odnosu na iste veze sa diskretnim pokretima, može se pokušati traženje objašnjenja uz pomoć određenih nalaza iz motorne kontrole. Brzi diskretni pokreti koji se izvode iz odgovarajućeg početnog u zadati krajnji položaj obično su praćeni dobro poznatom trifazičnom EMG aktivnošću (Wachholder i Alterbruner 1926; Gotlieb et al 1989). Prvo "izbijanje" agonista smatra se da obezbeđuje pokretačku silu, dok "izbijanje" antagonista obezbeđuje kočionu silu i zajedno sa drugim "izbijanjem" agonista obezbeđuje fiksiranje ekstremiteta u zadatom, krajnjem položaju (Lestiene 1979). Bez obzira na to većina EMG aktivnosti obezbeđuje relativno visok nivo koaktivacije tokom čitavog vremena izvođenja pokreta (Yamazaki et al 1994, za detalje pogledati Gotlieb et al 1989 i Corcos et al 1994). Na osnovu toga može se izvesti zaključak da se deo brzine pokreta žrtvuje na račun tačnosti pokreta kroz mehanizam koaktivacije mišića agonista i antagonista. Brzi povratni ili oscilatorni pokreti praćeni su dobro definisanim uzastopnim "izbijanjem" agonista i antagonista, dok je nivo aktivacije nizak (Schmidt et al 1988; Gotlieb 1998). Na osnovu toga moguće je da strategija upravljanja tačnošću izvedenog pokreta mišićnom aktivacijom doprinosi varijabilitetu diskretnih pokreta, dok isti mehanizam nema uticaja na izvođenje oscilatornih pokreta. Iako u našem istraživanju nemamo rezultate koji bi to potvrdili, veće brzine i varijabilne greške oscilatornih pokreta (u poređenju sa diskretnim) govore u prilog ovoj pretpostavci. Posebno bi redukovana koaktivacija trebalo da doprinosi većoj maksimalnoj brzini a da istovremeno poveća varijabilnost pokreta.

II EKSPERIMENT

Poslednji nalaz odnosi se na relativno slabiju povezanost $F_{\max}$ i $T_{30\%-70\%}$ sa kinematičkim parametrima pokreta, u poređenju sa povezanošću $RFD/F_{\max}$ i $T_{100\text{ms}}$ sa istim parametrima. U odnosu na $F_{\max}$ poređenje Slike 1 i 2 sugerije da raspoloživo vreme za izvođenje pokreta predstavlja samo mali deo onog potrebnog da bi se najbrže razvila maksimalna sila. Zato je prihvatljivo objašnjenje da je sposobnost da se izvede maksimalna sila manje važna od sposobnosti da se maksimalna sila razvije što brže kada se izvode brzi diskretni pokreti kratkog vremena trajanja. U odnosu na ostale testove za procenu BRS, treba uzeti u obzir činjenicu da je moment inercije manipulanduma nekoliko puta veći od momenta inercije sistema podlakat šaka (u odnosu na zglobov lakta). Na taj način se eksperimentalni zadatak svodi na delovanje silom protiv spoljnog opterećenja pa je performanse takvih zadataka potrebno procenjivati apsolutnom (misli se na apsolutne vrednosti odgovarajućih parametara nerelativizovanim u odnosu na telesnu masu i dimenzije mišića) jačinom mišića (za detalje pogledati: Jaric, u štampi). Izuzetno slaba povezanost između $T_{30\%-70\%}$ i parametara pokreta može da bude i posledica relativno niske pouzdanosti ovog testa za procenu BRS.

Zaključci

Rezultati dobijeni u ovom istraživanju ukazuju na visoku pouzdanost testova za procenu BRS. Izuzetak mogu da predstavljaju testovi u kojima se meri vreme potrebno da se ostvari odgovarajući nivo sile. Preostali testovi imaju visok nivo pouzdanosti, koji je uporediv sa nivoom pouzdanosti testova za procenu mišićne jačine ($F_{\max}$). Dobijeni rezultati takođe govore u prilog konceptu da testove za procenu BRS treba podeliti na one koji su zavisni od mišićne jačine i time indirektno od dimenzija mišića, i na one, koji su nezavisni od jačine mišića, odnosno dimenzija mišića. Testovi koji su zavisni od mišićne jačine su RFD i $F_{100\text{ms}}$ ili uopšteno, intenzitet sile ostvaren u odgovarajućem trenutku delovanja, dok se $RFD/F_{\max}$ i $T_{30\%-70\%}$ ili uopšteno interval između dva odgovarajuća nivoa sile mogu smatrati testovima koji su nezavisni od mišićne jačine. Sa druge strane takozvana eksterna validnost testova za procenu BRS ostaju pod znakom pitanja. U budućnosti, istraživači ove problematike mogli bi da se pozabave

II EKSPERIMENT

istraživanjem brzine razvoja sile u dinamičkim uslovima kao i uključivanjem različitih tipova funkcionalnih testova koji su zasnovani kako na jednozglobnim tako i na višezglobnim pokretima.

III EKSPERIMENT: Osetljivost i pouzdanost procene mišićne jačine i brzine razvoja sile pri testiranju efekata treninga jačine

Sažetak

Predmet ovog istraživanja je ispitivanje osetljivosti izometrijskog testa jačine (F_{max}) i pojedinih testova za procenu brzine razvoja sile (testovi BRS), na promene izazvane treningom jačine. Nakon familijarizacije sa eksperimentalnim zahtevima, 8 ispitanika (eksperimentalna grupa) pre i posle intenzivnog šestonedelnog treninga jačine, imalo je zadatak da na što brži način razvije maksimalne izometrijske sile fleksora i ekstenzora u zglobu lakta. Preostalih 13 ispitanika takođe je testirano pre i posle perioda od šest nedelja, ali bez treninga između dva testa. Pored maksimalne sile (F_{max}), tri različita kriterijuma za procenu BRS izvedena su iz zabeležene vremenske funkcije signala sile: vremenski interval od trenutka kada je dostignut nivo jednak 30% F_{max} do trenutka kada je dostignut nivo od 70% F_{max} ($F_{30\%-70\%}$), maksimum prvog izvoda signala sile u vremenu (RFD), kao i maksimum prvog izvoda signala sile u vremenu relativizovan maksimalnom silom (RFD/F_{max}). Poređenjem rezultata pre i posttesta u eksperimentalnoj grupi za fleksore, kao posledica treninga, uočeno je značajno poboljšanje F_{max} i RFD-a, dok je na preostale veličine efekat treninga bio neznatan. Takođe, nijedan od rezultata u posttestu (ekstenzori), nakon ponovljenog merenja, nije se razlikovao od onih dobijenih u pretestu. Povezanost F_{max} sa RFD i $T_{30\%-70\%}$ i RFD/F_{max} bila je statistički značajna. Kada su se uporedili odgovarajući rezultati dobijeni na fleksorima sa odgovarajućim rezultatima dobijenim na ekstenzorima, uočeno je da su srednje vrednosti F_{max} i RFD veće kod fleksora, dok se RFD/F_{max} i $T_{30\%-70\%}$ nisu značajno razlikovali. Pouzdanost ponovljenog merenja (pre – posttest) merena "intraklas" korelacionim faktorima, bila je veća kod fleksora nego kod ekstenzora. Pouzdanost većine testova kod fleksora ocenjena je kao dobra (ICC koeficijenti u intervalu od 0,6 do 0,8). Dobijeni rezultati sugerišu da je, pored F_{max} i RFD osetljiv na promene izazvane primenjenom vrstom treninga, dok RFD/F_{max} , odnosno $T_{30\%-70\%}$ to nisu. Iako je između pre i posttesta proteklo šest nedelja, pouzdanost F_{max} i RFD ostala je zadovoljavajuća.

III EKSPERIMENT

Ključne reči: Relacija sila-vreme, trening, pouzdanost, validnost, lakat, pokret

Uvod

Izometrijska procena mišićne funkcije je široko primenjivan i vrlo popularan modalitet testiranja sportista. Popularnost ove metode počiva na činjenici da je u pitanju jednostavna, jeftina i relativno pouzdana metoda procene mišićne jačine (Za detalje pogledati Wilson i Murphy 1996). U ovim testovima ispitanici deluju mišićnom silom protiv nepokretnog oslonca koji je serijski vezan na mernu sondu (pretvarač), tenziometar, platformu sile ili neki drugi sličan uređaj čiji pretvarač meri primenjenu silu. Pri tome je izometrijska mišićna jačina definisana kao intenzitet sile odnosno momenta sile koji se razvija tokom maksimalne izometrijske kontrakcije, u vremenskom intervalu o čijoj se veličini ne vodi računa (Enoka 1994). Sa zabeleženog signala vremenske promene sile, pored maksimalne sile (F_{max}) mogu se pronaći i veličine pomoću kojih se vrši procena brzine razvoja sile (testovi BRS). Najčešći test za procenu brzine razvoja sile svodi se na traženje priraštaja sile koji se računa kao maksimum prvog izvoda vremenske funkcije sile (Haff et al 1997; Wilson i Murphy 1996; Slievert and Wenger 1994) ili kao nagib krive u datom vremenskom trenutku u odnosu na početak razvoja sile (Aagaard et al 2002). Uzimajući implicitno u obzir i moguće efekte dimenzija mišića, pojedini autori prikazuju RFD po jedinici postignute mišićne jačine (Sahaly et al 2001; Aagaard et al. 2002). Pored RFD-a, u brojnim publikacijama predlažu se alternativni testovi BRS. Na primer, pojedini autori procenjuju BRS vremenom potrebnim da se dostigne određeni nivo sile. Najčešće primenjivani kriterijum je veličina intervala između dva odgovarajuća postignuta nivoa sila, pri čemu se nivoi određuju relativno u odnosu na postignutu maksimalnu silu (Bobbart i van Zandwijk 1999; Gorostijaga et al. 1999; Slivert i Wenger 1994; Zhou et al 1999).

Dosadašnja istraživanja ove oblasti uglavnom su se bavila problemima koji se odnose na metodologiju, efikasnost primene, pouzdanost i tzv. spoljašnju validnost (Abernethy et al 1995, Keating and Matyas 1996, Wilson and Murphy 1996). Pored toga bili su proučavani razni činioci koji utiču na krajnji rezultat

III EKSPERIMENT

primenjenih testova jačine. Neki od tih faktora su bili u vezi sa karakteristikama testiranih ispitanika (na primer: razlike u polu, godinama, fizičkoj aktivnosti ili telesnom sastavu), dok su ostali pretežno zavisili od različitih metodoloških aspekata, kao što su familijarizacija sa protokolom, tip kontrakcije, početni položaj, stabilnost, korekcija gravitacije itd. (Keating and Matyas 1996).

Bez obzira na relativno veliki broj radova, još uvek ne postoji opšta saglasnost o nekim važnim pitanjima: U kojoj meri su različiti testovi BRS osetljivi na promene izazvane treningom? Da li efekti zavise od vrste treninga? Da li su različiti testovi BRS međusobno povezani i kakava je njihova veza sa $F_{\max}$? Da li su i koliko testovi BRS pouzdani? Na koji način su testovi mišićne jačine i u kojoj meri povezani sa odgovarajućim osobinama pokreta?

Prethodni eksperiment je ponudio odgovore na neke od pitanja koja se odnose na pouzdanost, validnost i povezanost testova BRS sa $F_{\max}$ (Za detalje videti Mirkov et al. submitted). U pokušaju da se istraži uticaj određenog trenažnog procesa na razne testove BRS, osmišljen je eksperiment u kome je ispitanicima (eksperimentalna grupa) pre i posle intenzivnog šestonedeljnog treninga (fleksori u zglobu lakta) testirana brzina razvoja sile mišića fleksora i ekstenzora u zglobu lakta. Pored $F_{\max}$, primenjena su tri različita testa BRS. Poređenjem dobijenih rezultata, pre i posle trenažnog ciklusa, kao i međusobno, ispitaće se koji se testovi BRS menjaju sa $F_{\max}$ a koji ne. Takođe, na osnovu "intraklas" korelacionog koeficijenta ispitaće se pouzdanost ponovljenih merenja u obe grupe, sa ciljem da se utvrdi da li pored familijarizacije i neki drugi faktori (vremenski interval između testova) utiču na dobijene rezultate.

Metode

Uzorak

U eksperimentu je učestvovao 21 ispitanik muškog pola, starosti od 19-36 godina, srednja vrednost (SD) 21 (3) godine. Ispitanici su metodom slučajnog izbora bili podeljeni u dve grupe, kontrolnu (13) i eksperimentalnu (8). Eksperimentalni zadatak za sve ispitanike bio je razvoj maksimalne sile na najbrži mogući način. Ispitanici su testirani u pre i posttestu. Između testova proteklo je šest nedelja tokom kojih su ispitanici iz eksperimentalne grupe (tri puta nedeljno) imali trening jačine (fleksori). Iako ispitanici nisu bili aktivni sportisti, većina je u trenutku izvođenja eksperimenta bila fizički aktivna. Svi ispitanici su pred početak eksperimenta dali izjavu da nemaju neurološke poremećaje i skorije povrede lokomotornog aparata. Takođe, svim učesnicima detaljno je objašnjena svrha i procedura istraživanja, nakon čega su oni dali pismenu saglasnost o dobrovoljnom učešću u istraživanju.

Uslovi eksperimenta

Pred početak eksperimenta ispitanici su u cilju familijarizacije sa eksperimentalnim zahtevima, u tri dana, na identičan način, uvežbavali izvođenje eksperimentalnog zadatka. Tokom jednog ciklusa uvežbavanja, ispitanici su ukupno izvodili po 30 što bržih maksimalnih izometrijskih kontrakcija fleksora, odnosno ekstenzora u zglobu lakta. Pretest je izveden u jednom danu. Dva dana nakon završetka šestonedelnog trenažnog ciklusa, izveden je posttest u kome je ponovljena eksperimentalna procedura iz pretesta.

Protokol i instrukcije

Ispitanik je udobno sedeo u zubarskoj stolici u približno srednjem fiziološkom položaju. Desni nadlaktak mu je bio u položaju abdukcije od 90^0 , tako da su uzdužne ose nadlakta i podlakta ležale u horizontalnoj ravni. Podlaktak i šaka ispitanika su bili fiksirani za krutu polugu (osovine čija se osa poklapala sa osom rotacije u zglobu lakta). Moment inercije poluge u odnosu na osu rotacije u zglobu lakta bio je $0,22 \text{ kgm}^2$. Poluga je bila fiksirana (ugao u zglobu lakta 90^0)

III EKSPERIMENT

tako što je za njen levi kraj (pokret ekstenzije), odnosno desni kraj (pokret fleksije) bila pričvršćena sonda dinamometra, pomoću koje je registrovana postignuta sila.

Eksperimentalni zadatak bio je da se na najbrži mogući način postignu maksimalne izometrijske sile fleksora odnosno ekstenzora u zglobu lakta (horizontalna ravan). Tokom merenja (pre i posttest), ispitanici su za svaku mišićnu grupu izveli po tri pokušaja. Jedan probni i dva za potrebe eksperimenta. Za dalju analizu biran je pokušaj u kome je bila dobijena veća F_{max} . Redosled testiranja različitih mišićnih grupa bio je slučajan. Između svakog pokušaja usledila bi pauza od 2 min.

Procedura testiranja bila je sledeća: Svaki od ispitanika najpre je bio zamoljen da zauzme odgovarajući početni položaj. Zatim su izvršene eventualne korekcije u položaju nakon čega su usledile intrukcije:

- blago zategni traku dinamometra, (da bi se podesio nulti nivo ili početni nivo sile).
- Na zadanu komandu („VUCI“), najjače i najbrže povuci traku i drži dok ne čuješ sledeću komandu („DOBRO JE“).

Zatim je usledila energična komanda („VUCI“), da bi ispitanik nakon četiri sekunde povlačenja dobio signal da može da opusti muskulaturu, odnosno da može da prekine sa povlačenjem trake.

Tokom merenja ispitanici su na displeju dinamometra mogli da vide postignuti rezultat (maksimalnu postignutu silu). Pri svakom pokušaju bili su snažno bodreni od strane eksperimentatora i ostalih ispitanika, u cilju postizanja što boljeg rezultata.

III EKSPERIMENT

Trening jačine

Trening jačine fleksora u zglobu lakta trajao je šest nedelja, tri puta nedeljno, sa obaveznim danom pauze između treninga. Vežbe su izvođene na tzv. Skotovoj klupi.

Pre početka svakog treninga, ispitanici su se obavezno zagrevali (5 min), sa posebnim akcentom na zagrevanje aktuelnih mišićnih grupa odnosno mišića ruku i ramenog pojasa.

Pre početka vežbanja sa radnim opterećenjem, ispitanici su u cilju što potpunijeg zagrevanja obavezno izvodili po jednu seriju sa tzv. "pristupnim opterećenjem", (opterećenjem koje iznosi 50%) od maksimalnog, 12-15 ponavljanja.

Vežbanje je podeljeno na tri ciklusa u trajanju od po dve nedelje: u prvom ciklusu bio je primenjen metod ponovljenih naprezanja, u drugom bodi-bilding metod i u poslednjem metod maksimalnih naprezanja. Između pojedinačnih serija tokom treninga obavezno je bilo statičko istezanje ciljnih mišićnih grupa.

Akvizicija i obrada eksperimentalnih rezultata

Jačine mišića merene su izometrijskim dinamometrom (Spremo i Barač, Zagreb), koji se sastojao iz mernog pretvarača (merne sonde) i pojačivača sa displejem. Dobijeni signali su digitalno konvertovani, softverski filtrirani a zatim skladišteni u memoriju PC kompjutera. Snimljeni signal predstavljao je vremensku funkciju izometrijske sile. Odatle su se računali:

- maksimalna izometrijska sila (F_{max}), kao interval od početka delovanja, do maksimalne dostignute vrednosti. Za početak delovanja silom odabiran je trenutak u kome je priraštaj sile dostizao 3% F_{max} .
- Koeficijent eksplozivnosti (RFD), kao maximum prvog izvoda vremenske funkcije sile.
- Relativni koeficijent eksplozivnosti - (RFD / F_{max}), kao količnik RFD-a i F_{max} .

III EKSPERIMENT

- Vremenski interval ($T_{30\%-70\%}$), od trenutka postizanja 30% $F_{\max}$ do trenutka dostizanja 70% $F_{\max}$.

Statistička analiza

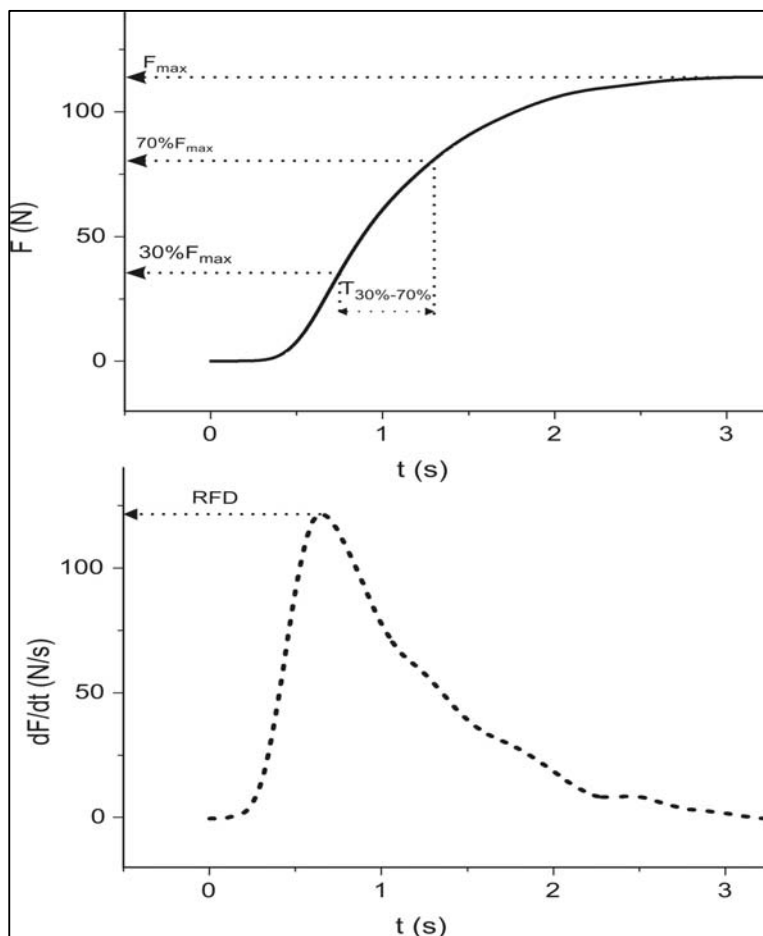
Srednje vrednosti i standardne devijacije računane su za sve pomenute varijable. Pouzdanost ponovljenih merenja određivana je na osnovu "intraklas" korelacionog koeficijenta (ICC), koji je računat za rezultate pre i posttesta (test jačine i testovi BRS), sa intervalom pouzdanosti od 95%. Razlike srednjih vrednosti testa jačine i BRS u pre i posttestu, proveravane su dvofaktorskom analizom varijansi sa testom (pre-post) ponovljenim merenjem. Faktori su bili "grupa" (kontrolna-eksperimentalna), "mišićna grupa" (fleksori-ekstenzori), sa "testom" kao ponovljenim merenjem (pre-post). Međusobna povezanost testova ($F_{\max}$ i četiri testa za procenu brzine razvoja sile), određivana je na osnovu Pirsonovog koeficijenta korelacije.

Rezultati

Svi ispitanici su po dva puta testirani u pre i posttestu. Tom prilikom je zabeležena kriva sile u funkciji vremena (Slika 12 gornji grafik), sa koje se za svakog ispitanika računalo $F_{\max}$ i vremenski interval između 30% i 70% $F_{\max}$. Iz te krive izvedena je kriva vremenske zavisnosti prvog izvoda sile (Slika 12 donji grafik), sa kojeg je računat RFD. Ova vrednost je relativizovana u odnosu na maksimalnu vrednost postignutog intenziteta sile ($RFD/F_{\max}$) čime je dobijen treći test BRS. U oba slučaja (pre i posttest) za dalju analizu biran je onaj pokušaj u kome je postignuta veća maksimalna sila. U Tabeli 8 prikazane su srednje vrednosti i standardne devijacije za $F_{\max}$, $T_{30\%-70\%}$, RFD i $RFD/F_{\max}$, dobijene u pre i posttestu, za obe mišićne grupe (fleksori i ekstenzori). Da bi se ispitala pouzdanost tzv. ponovljenog merenja (pre-posttest), za svaku veličinu u obe grupe, izračunati su "intraklas" koeficijenti korelacije (ICC) (Tabela 8). U svim slučajevima, osim kod $T_{30\%-70\%}$, dobijeni ICC koeficijenti bili su veći kod fleksora nego kod ekstenzora. Za sve testove fleksora osim za $T_{30\%-70\%}$, dobijene

III EKSPERIMENT

vrednosti ICC koeficijenta bile su u intervalu od 0,6 do 0,8; dok su za testove ekstenzora bili u intervalu od 0,4 do 0,6. ICC koeficijent za F_{max} i kod kontrolne i



Slika 12

Vremenska funkcija izometrijske sile, gornji grafik. Donji grafik predstavlja prvi izvod vremenske funkcije sile, iz koga se procenjuje RFD. Takođe su prikazane metode određivanja maksimalne sile (F_{max}) i vremena između 30% i 70% F_{max} ($T_{30\%-70\%}$).

kod eksperimentalne grupe (fleksori) bio oko 0.8, ICC koeficijenti za RFD (fleksori) bio je oko 0.7 (kontrolna) odnosno 0.9 (eksperimentalna grupa).

Da bi se ispitale razlike dobijenih srednjih vrednosti u pre i posttestu, urađena je dvofaktorska analiza varijansi sa ponavljanjem (gde su faktori bili grupa: “kontrolna”-“eksperimentalna” i vrsta mišićne grupe: “ekstenzor”-“fleksor”), sa posttestom kao ponovljenim merenjem.

III EKSPERIMENT

Tabela 8: Maksimalna sila i tri testa za procenu BRS oba ispitivana mišića u pre i posttestu

		KONTROLNA			
		$F_{\max}$ (N)	$T_{30\%-70\%}$ (s)	RFD (N/s)	RFD/ $F_{\max}$ (1/s)
ekstenzori	pre	113±18	0.62±0.13	127±25	1.14±0.19
	post	113±19	0.65±0.18	131±23	1.17±0.22
	ICC	0.409	0.299	0.525	0.631
	Interval pouzdanosti	-0.184-0.783	-0.302-0.730	-0.036-0.835	0.123-0.877
fleksori	pre	152±33	0.61±0.10	165±47	1.08±0.16
	post	155±19	0.64±0.12	172±39	1.11±0.23
	ICC	0.802	0.128	0.697	0.373
	Interval pouzdanosti	0.450-0.938	-0.455-0.634	0.237-0.902	-0.224-0.766
		EKSPERIMENTALNA			
		$F_{\max}$ (N)	$T_{30\%-70\%}$ (s)	RFD (N/s)	RFD/ $F_{\max}$ (1/s)
ekstenzori	pre	111±20	0.66±0.15	116±34	1.03±0.18
	post	122±32	0.60±0.07	131±45	1.05±0.17
	ICC	0.522	0.474	0.629	0.394
	Interval pouzdanosti	-0.289-0.897	0.450-0.943	-0.136-0.924	-0.430-0.860
fleksori	pre	147±23	0.59±0.07	183±54	1.23±0.28
	post	170±37	0.58±0.06	227±74	1.32±0.31
	ICC	0.786	0.022	0.899	0.934
	Interval pouzdanosti	0.183-0.959	-0.694-0.715	0.530-0.982	0.670-0.988

Prikazani podaci: srednje vrednosti ± SD. ICC = intraklas korelacioni koeficijenti sa odgovarajućim intervalima pouzdanosti

Rezultati dobijeni za $F_{\max}$ i RFD bili su identični: Na razlike $F_{\max}$ i RFD bio je značajan efekat mišićne grupe (veće srednje vrednosti kod fleksora nego kod ekstenzora, $F_{\max}$: $F=30,74$; $p<0,01$. RFD: $F=22,67$; $p<0,01$), testa (veće srednje vrednosti u posttestu, $F_{\max}$: $F=8,66$; $p<0,05$, RFD: $F=13,03$; $p<0,01$) i interakcije "grupa- test" ($F_{\max}$: $F=5,67$; $p<0,01$. RFD: $F=6,62$; $p<0,01$).

Tabela 9: Matrica korelacija svih računatih testova u pretestu (gornja) i posttestu (donja tabela) za fleksore (levo) i ekstenzore).

ekstenzija					fleksija			
pretest	$F_{\max}$	$T_{30\%-70\%}$	RFD	RFD/ $F_{\max}$	$F_{\max}$	$T_{30\%-70\%}$	RFD	RFD/ $F_{\max}$
$F_{\max}$	1	-0.128	0.660**	-0.039	1	-0.108	0.752**	0.183
$T_{30\%-70\%}$		1	-0.428	-0.468*		1	-0.480	-0.581**

III EKSPERIMENT

RFD			1	0.717**			1	0.781**
RFD/F _{max}				1				1

ekstenzija					fleksija			
posttest	F _{max}	T _{30%-70%}	RFD	RFD/F _{max}	F _{max}	T _{30%-70%}	RFD	RFD/F _{max}
F _{max}	1	0.166	0.683**	-0.184	1	-0.083	0.708**	0.159
T _{30%-70%}		1	-0.360	-0.623**			-0.381	-0.424
RFD			1	0.582**			1	0.804**
RFD/F _{max}				1				1

Jedna zvezdica predstavlja statistički značajnu korelaciju na nivou poverenja $p < 0,05$ dok dve zvezdice predstavljaju statistički značajnu korelaciju na nivou poverenja $p < 0,01$.

Tabela 10: ICC koeficijenti za ponovljena merenja za ekstenzore i za fleksore

		F _{max}	T _{30%-70%}	RFD	RFD/F _{max}
ekstenzori	r	0.473	0.638	0.584	0.598
	ICC	0.441	0.616	0.558	0.591
	Interval pouzdanosti	-0.002-0.739	0.238-0.832	0.154-0.803	0.202-0.820
fleksori	r	0.738	0.142	0.796	0.742
	ICC	0.726	0.119	0.768	0.709
	Interval pouzdanosti	0.418-0.885	-0.341-0.534	0.493-0.904	0.389-0.877

Prikazani podaci: ICC = intraklas korelacioni koeficijenti sa odgovarajućim intervalima pouzdanosti

Konačno, da bi se ispitala povezanost različitih testova posebno za fleksore a posebno za ekstenzore, izračunati su odgovarajući koeficijenti korelacije. Tabela korelacionih koeficijenata prikazana je u Tabeli 10.

Dobijeni rezultati bili su vrlo postojani: U sva četiri slučaja (fleksori, ekstenzori u pre i posttestu) dobijena je statistički značajna povezanost F_{max} i RFD, odnosno T_{30%-70%} i RFD/F_{max}.

Da bi se ispitala pouzdanost tzv. ponovljenog merenja (pre-posttest), za svaku veličinu izračunati su intraklas koeficijenti korelacije (ICC), bez obzira na grupu (Tabela 9), kao i za svaku grupu ponaosob (Tabela 8). U svim slučajevima osim kod T_{30%-70%}, dobijeni ICC koeficijenti bili su veći kod fleksora nego kod ekstenzora. Za sve testove fleksora osim za T_{30%-70%}, dobijene vrednosti ICC

III EKSPERIMENT

koeficijenata bile su u intervalu od 0,7 do 0,8; dok su za testove ekstenzora bili u intervalu od 0,4 do 0,6. Slični rezultati dobijeni su i po grupama, pri čemu je ICC koeficijent za $F_{\max}$ i kod kontrolne i kod eksperimentalne grupe (fleksori) bio oko 0,8; ICC koeficijenti za RFD (fleksori) bio je oko 0,7 (kontrolna) odnosno 0,9 (eksperimentalna grupa).

Diskusija

Dobijeni rezultati, mogu da se podele u dve grupe. Prva grupa odnosi se na osetljivost pojedinih testova na promene izazvane treningom kao i na povezanost primenjenih testova. Druga grupa rezultata ukazuje na pouzdanost ponovljenih merenja pojedinih testova.

Osetljivost pojedinih testova na promene izazvane treningom

Upoređivanje rezultata pre i posttesta, pokazalo je da su kod eksperimentalne grupe srednje vrednosti $F_{\max}$ i RFD-a kod fleksora bile statistički značajno veće od srednjih vrednosti u pretestu, dok se kod kontrolne grupe rezultati posttesta nisu razlikovali od onih dobijenih u pretestu. Pored toga ni jedan drugi rezultat posttesta se ni kod kontrolne ni kod eksperimentalne grupe nije značajno razlikovao od onih dobijenih u pretestu. Takođe, ponovljena merenja kod ekstenzora ni za jedan test nisu se razlikovali od onih u pretestu. Odatle se može izvesti zaključak da je pored $F_{\max}$ i RFD bio osetljiv na promene izazvane treningom, dok preostala dva testa ($RFD/F_{\max}$ i $T_{30\%-70\%}$) to nisu.

Rezultati dobijeni ispitivanjem povezanosti pojedinih testova govore u prilog ovoj tvrdnji. Na osnovu vrednosti odgovarajućih Pirsonovih koeficijenata korelacija, dobijena je značajna povezanost $F_{\max}$ i RFD sa jedne, i $RFD/F_{\max}$ i $T_{30\%-70\%}$ sa druge strane. Dobijeni rezultati su u saglasnosti sa nalazima dobijenim u prethodnom eksperimentu (za detalja videti Mirkov et al. submitted), koji dobijene razlike objašnjava uticajem dimenzija mišića. Kako je osnovni cilj primenjenog treninga bio povećanje jačine mišića, to se kao posledica treninga očekivalo podizanje "platoa" funkcije sile u vremenu (veće $F_{\max}$), što bi izazivalo i

III EKSPERIMENT

”veštačko” povećanje strmine rastućeg dela krive, odnosno većeg maksimuma prvog izvoda vremenske funkcije sile. Kako je jedna od pretpostavki za ”jačanje” mišića odnosno razvijanja veće mišićne sile, povećanje fiziološkog preseka aktivnog mišića (dimenzija mišića), ponuđeno objašnjenje ima smisla. Sa druge strane, kako se treningom nije uticalo na ”brzinske karakteristike” postizanja maksimalne sile, vreme dostizanja platoa (indirektno $T_{30\%-70\%}$) i relativna vrednost maksimuma prvog izvoda u odnosu na maksimalnu vrednost postignute sile nije trebalo da se značajnije promeni. U ovom istraživanju nismo u mogućnosti da pružimo direktne dokaze o povezanosti promene dimenzija mišića i povećanja dinamičkih performansi sa dobijenim rezultatima testova. To ostaje zadatak za neka naredna istraživanja. Bez obzira, dobijeni rezultati dovode u sumnju neke opšte pretpostavke po kojima F_{max} i testovi BRS odslikavaju različite funkcionalne osobine testiranih mišića, zbog njihovog različitog značaja za izvođenje različitih pokreta (Passuke et al 1999; Pryor et al 1994, Ugarković et al 2002). Takođe se osporavaju rezultati u kojima su se promene mišićne jačine izazvane treningom različito odražavale na F_{max} i testove procene BRS (Matavulj et al 2002; Haff et al 1997; Zhou et al 1996; Gorostijaga et al. 1999).

Pouzdanost primenjenih testova

Kada se uporede ”intraklas” koeficijenti za testove kod fleksora i ekstenzora, (bez obzira na grupu) u tri (F_{max} , RFD i RFD/F_{max}) od četiri slučaja dobijeni ICC bili su veći kod fleksora nego kod ekstenzora. Većina dobijenih ICC koeficijenata kod fleksora nalazili su se u intervalu od 0,6 do 0,8. Ovaj interval smatra se pokazateljem dobre pouzdanosti testova (Slievert and Wenger 1994). Odgovarajući koeficijenti kod ekstenzora nisu zadovoljavali pomenute kriterijume. Kod ekstenzora se u intervalu od 0.6 do 0.8 nalazio jedino ICC koeficijent za $T_{30\%-70\%}$. Koeficijenti ostalih veličina bili su manji od 0.6 (mala pouzdanost). Za razliku od prethodnog eksperimenta, kada su dobijene neočekivano visoke pouzdanosti za većinu parametara obe mišićne grupe, dobijeni rezultati osim kada su u pitanju F_{max} i RFD, ukazuju na znatno nižu pouzdanost preostalih testova. Dobijena razlika može se objasniti na sledeći način: U prethodnom istraživanju upoređivani su rezultati tri uzastopna merenja koja su zabeležena

III EKSPERIMENT

nakon nekoliko minuta pauze. Pre toga ispitanici su u više navrata (za detalje pogledati Metode II Eksperimenta) uvežbavali razvijanje maksimalnih sila na najbrži mogući način. Intenzivna familijarizacija i kratko vreme između merenja rezultovalo je visokom pouzdanošću za obe mišićne grupe. U ovoj studiji je između dva merenja proteklo šest nedelja. U pre i posttestu je iz dva pokušaja, za dalju analizu biran onaj u kome je zabeležen veći $F_{\max}$. Nakon šest nedelja ispitanici su odmah testirani bez ponovljene familijarizacije. Kada je u pitanju eksperimentalna grupa, dodatni otežavajući faktor predstavlja činjenica da su se ispitanici različito adaptirali na trening, što je dodatno doprinelo smanjenju pouzdanosti pojedinih testova. Iznete pretpostavke donekle objašnjavaju i razlike u pouzdanosti $F_{\max}$ i testova BRS odnosno slabiju pouzdanost testova BRS, dobijene nekim ranijim istraživanjima (Slievert and Wenger 1994, Abernethy et al. 1995) ali navode na zaključak da bi u budućim istraživanjima uticaj familijarizacije, vremenskog intervala, između dva merenja, metodologije odabira rezultata trebalo dalje ispitati.

Zaključci

Rezultati dobijeni u ovom istraživanju ukazuju na to da su neki testovi osetljivi na odabrani trening jačine, dok neki to nisu. Sa treningom se pored $F_{\max}$ menjao i RFD dok u preostala dva testa BRS ($RFD/F_{\max}$ i $T_{30\%-70\%}$) nisu zabeležene značajnije promene. Dobijeni rezultati su u saglasnosti sa pretpostavkama iznetim u prethodnom istraživanju da testove za procenu BRS treba podeliti na one koji su zavisni od mišićne jačine i time indirektno od dimenzija mišića, i na one, koji su nezavisni od jačine mišića, odnosno njegovih dimenzija. Testovi koji su zavisni od mišićne jačine su RFD ili uopšteno, intenzitet sile ostvaren u odgovarajućem trenutku delovanja, dok se $RFD/F_{\max}$ i $T_{30\%-70\%}$ ili uopšteno interval između dva relativna nivoa sile mogu smatrati testovima koji su nezavisni od mišićne jačine. Zbog toga smatramo da u proceni efekata različitih tipova treninga treba uključiti različite testove BRS. Tamo gde je trenažni zadatak jačanje odgovarajućih mišićnih grupa, očekuje se da na efekat treninga bude osetljiviji RFD. Sa druge strane, tamo gde je trenažni zadatak povećanje brzinskih sposobnosti (trening snage) tu se očekuje da na efekat treninga budu

III EKSPERIMENT

osetljiviji relativni testovi BRS. Za poslednju pretpostavku nemamo direktnih dokaza, pa se od budućih istraživanja očekuje da se temeljnije pozabave ovom važnom problematikom.

Pouzdanost ponovljenih merenja, bila je generalno slabija nego u slučaju kada je računata iz nekoliko uzastopnih merenja kojima je prethodila intenzivna familijarizacija, pa smatramo da ova dva činioca predstavljaju faktore koji značajno utiču na pouzdanost testova jačine i BRS

OPŠTA DISKUSIJA

Uticaj mehaničkih karakteristika

Glavni cilj izvedenih istraživanja bio je da se definiše uloga mehaničkih faktora u kinematičkoj šemi odgovarajućih pokreta. Prvo istraživanje, poslednje je u nizu eksperimenata koji su ispitivali pretpostavku da na kinematičke parametre izvedenih pokreta pored tzv. "centralnih faktora", uticaj imaju i mehaničke osobine odgovarajućih mišićnih grupa. Pretpostavke su počivale na eksperimentalnim rezultatima koji nisu bili u saglasnosti sa nekim teorijama motorne kontrole. Naime, u nekoliko eksperimenata pomoću kojih su ispitivani jednozglobni pokreti, rutinski su beleženi kinematički parametri izvedenih pokreta. Jedna od veličina koja se posmatrala bio je i koeficijent simetrije (KS), odnosno količnik vremena ubrzanja i usporenja pokreta (Ilić et al 1998, Jarić 1998, 2000; Milanović et al. 2000). U teorijama motorne kontrole KS je smatran invarijantom: bez obzira na promene uslova izvođenja pokreta, a kao posledice motornih programa odnosno upravljačkih mehanizama koji dolaze iz CNS ova veličina je trebalo da ostane nepromenjena (Lestienne 1979, Carter and Shapiro 1984, Schmidt et al. 1988). Međutim, rezultati izvedenih eksperimenata ukazivali su da se ova veličina menja sa promenom uslova izvođenja pokreta. Istraživanje promena performansi pokreta pokazalo je da je povećanje brzine brzih diskretnih jednozglobnih pokreta, izazvano uvežbavanjem zadatog pokreta, praćeno smanjenjem odnosa pika ubrzanja i usporenja (Corcos et al. 1993), kao i većim smanjenjem vremena usporenja u odnosu na smanjenje vremena ubrzanja pokreta (Jarić et al. 1993). Ovi rezultati sugerisali su da povećanje brzine pokreta izazvane promenom instrukcija ili uvežbavanjem, utiče na koeficijent simetrije povećanjem vremena ubrzanja pokreta. Jarić i saradnici (1995) pokazuju da jačanje antagonista (ekstenzora), kao posledicu ima smanjenja vremena usporenja, na račun dužeg vremena ubrzanja pokreta, dok slabljenje antagonista (Jarić et al. 1997) ima obrnut efekat.

Da bi se objasnili dobijeni rezultati, pošlo se od jednostavnog mehaničkog modela. On se sastojao od dva para opruga i prigušnica, paralelno vezanih, pri

čemu je svaki par predstavljao odgovarajuću mišićnu grupu antagonističkog para mišića. U postavci modela pošlo se od pretpostavke da su momenti impulsa agonista i antagonista tokom izvođenja jednozglobnih pokreta međusobno jednaki. Kako je moment impulsa definisan kao proizvod momenta sile i odgovarajućeg vremenskog intervala delovanja, to odatle sledi da su vremenski intervali agonista i antagonista obrnuto srazmerni momentima sila. Mišićne sile odnosno momenti sila zavise od pasivne, aktivne i viskoznoelastične komponente mišića. Viskoznoelastična komponenta javlja se kao posledica unutrašnjeg – viskoznoeg trenja. Promena vrednosti ove komponente smatra se jednim od uzroka promene KS. Poznato je da je zavisnost mišićne sile od brzine skraćanja nelinearna. (Ovde će se termin viskozne sile koristiti za one sile koje su proporcionalne brzini, usmerene suprotno od smera delovanja). Povećanje brzine pokreta dovodi do relativnog slabljenja agonista (mišića koji ubrzava pokret) i jačanja antagonista (jer viskozna komponenta deluje uvek nasuprot delovanja agonista a u smeru delovanja antagonista), pa je slabijem agonistu potrebno više vremena da ubrza pokret, dok je jačem antagonistu potrebno manje vremena da bi zaustavio pokret. Zbog toga povećanje brzine dovodi do povećanja vremena ubrzanja u odnosu na vreme usporenja pokreta. Pretpostavke koje su izvedene iz prikazanog modela potvrđene su i rezultatima prikazanim u prvom eksperimentu:

- KS najbržih pokreta bio je veći od KS pokreta izvedenih umerenom brzinom.
- KS oscilatornih pokreta bio je veći od odgovarajućih KS diskretnih pokreta.
- KS pokreta fleksija opadao je pri prelasku iz fleksionog u ekstenzioni ugaoni interval, dok je za pokrete ekstenzije važno obrnuto.

Time se pokazalo da promenom uslova izvođenja pokreta i uticajem na momente sila agonista odnosno antagonista, utiče se i na koeficijent simetrije, odnosno da na formiranje kinematičkog profila odgovarajućih pokreta, pored neuralnih, uticaj moraju imati i mehaničke osobine lokomotornog aparata.

Testovi jačine i brzine razvoja sile (BRS)

Sledeći korak bio je da se ispita da li dobijeni nalazi mogu da se generalizuju. Zato je osmišljen sledeći eksperiment u kojem je pored ispitivanja kinematike jednozglobnih diskretnih i oscilatornih pokreta, vršena i procena jačine aktivnih mišićnih grupa. Jedan od zadataka tog eksperimenta bio je i da se ispita veza između odogovarajućih kinematičkih parametara pokreta i veličina na osnovu kojih se vršila procena jačine i brzine razvoja sile odnosno testova jačine i testova brzine razvoja sile. Važan korak na tom putu predstavljalo je procenjivanje pouzdanosti pomenutih testova, kao i traženje odgovora na pitanje da li su neki od testova brzine razvoja sile povezani sa testom jačine. Iako se smatralo da su testovi BRS manje pouzdani od testa jačine, ova pretpostavka je počivala uglavnom na poređenju pouzdanosti $F_{\max}$ i RFD (Abernethy et al. 1995) i ponegde $F_{\max}$ i vremenskog intervala između dva nivoa sila relativno u odnosu na $F_{\max}$ (Slievert & Wenger 1994). Zbog toga su dobijeni rezultati značajni jer je uporedo ispitana pouzdanost četiri različita testa BRS. Takođe, dobijeni rezultati ukazali su na povezanost RFD sa $F_{\max}$, kao i na ulogu dimenzija mišića na vrednost pojedinih testova. Time je donekle osporena tvrdnja da $F_{\max}$ i RFD odlikavaju različite funkcionalne osobine mišića (Passuke et al. 1999; Pryor et al. 1994, Ugarković et al. 2002). Pošto je pred početak eksperimenta izvršena intenzivna familijarizacija ispitanika sa eksperimentalnim zadacima, to je mogao biti jedan od razloga što je za gotovo sve veličine, u slučaju tri uzastopna merenja dobijena visoka pouzdanost. Drugi razlog bi mogao da bude to što se pouzdanost računala iz tri uzastopna merenja s pauzama od nekoliko minuta između merenja.

Dalje uopštavanje dobijenih nalaza omogućio je treći eksperiment u kome je uveden novi eksperimentalni faktor (trening jačine) kojim se uticalo na jačinu aktivne mišićne grupe. Cilj tog eksperimenta je bio da se ispita koji od testova BRS je osetljiv na primenjeni tip treninga (trening jačine fleksora), odnosno da li i u ovom slučaju može da se primeni hipotetički model koji pretpostavlja da su neke veličine zavisne od dimenzija mišića dok druge nisu. Kako je u prethodnom eksperimentu dobijeno da pored $F_{\max}$ i RFD zavisi od dimenzija mišića, to se

očekivalo da povećanje fiziološkog preseka uvežbavane mišićne grupe (posledica primenjenog treninga jačine), utiče na pomenute veličine.

Pored uvođenja novog eksperimentalnog faktora, ponovljeno merenje je izvršeno nakon šest nedelja pri čemu je pored znatno dužeg vremenskog intervala izbor veličina za poređenje bio drugačiji. U pre i posttestu merenje je ponovljeno dva puta, pa se za dalju analizu birao onaj pokušaj u kome je ostvareno veće $F_{\max}$. To je rezultovalo smanjenjem pouzdanosti nekih testova posebno kod ekstenzora. Odatle se mogao potvrditi značaj familijarizacije sa eksperimentalnim zadacima pred početak testiranja, ali se ukazalo i na druge faktore (vreme između testova i metodologija izbora rezultata za poređenje) koji mogu da utiču na pouzdanost merenja.

Dalji pravci istraživanja

Rezultati prvog istraživanja potvrđuju pretpostavku o zavisnosti KS od sposobnosti aktivnih mišićnih grupa da razviju silu. Time se u ovom slučaju "upravljalo", posredno, promenom spoljnih uslova. Mišićne sile nisu procenjivane direktno, pa zbog toga nije postojala mogućnost da se izvrši procena odnosa sila agonista i antagonista u različitim ugaonim intervalima. To ostaje za neka naredna istraživanja. Takođe, bez obzira na to što rezultati ukazuju na značaj mehaničkih faktora, još uvek nije potpuno jasno u kojoj meri oni utiču na kontrolu vršenja pokreta. Tu ostaje problem kako razdvojiti uticaj "centralnih" faktora, pa ostaje da se razmišlja kako da se ova problematika dalje istražuje. Takođe, neophodno je postojeća istraživanja proširiti na druge mišićne grupe, odnosno jednozglobne pokrete.

Iako je povezanost rezultata testova jačine i kinematičkih veličina pokreta izostala, potrebno je nastaviti istraživanja u tom pravcu, jer još uvek neka pitanja nemaju odgovora. Da li je uzrok izostanka značajnih korelacija posledica slabe senzitivnosti izometrijskih testova, ili je pouzdanost kinematičkih veličina i testova jačine i snage različita, pa zbog prisustva "šuma" nije moguće dobiti pouzdane rezultate međusobne povezanosti? Zbog toga je u narednim istraživanjima potrebno izvršiti procenu pouzdanosti kinematičkih veličina jednozglobnih pokreta, kao i identifikaciju onih veličina koje su najpostojanije. Važan pokazatelj za dalja istraživanja predstavlja činjenica da su identifikovani testovi zavisni od dimenzija mišića, čime se naglašava značaj skaliranja pojedinih rezultata, odnosno uzimanje u obzir i geometrijske raspodele sila. Rezultati nekih skorijih istraživanja naglašavaju uticaj alometrijskih faktora na validnost dobijenih rezultata, pa taj činilac ubuduće takođe treba uzeti u obzir.

Sve što je rečeno za izometrijske testove neophodno je proširiti i na dinamičke testove, jer je tu klasifikacija i način izračunavanja veličina BRS još manje ispitano. Takođe potrebno je uključiti i ispitivanje uticaja različitih trenažnih metoda na različite testove BRS (i izometrijske i dinamičke), posebno onih koje imaju zadatak da poboljšaju brzinu izvođenja pokreta: Dosadašnja istraživanja

ukazuju na veoma slabu povezanost ovih testova sa performansama pokreta, iako ti zaključci uglavnom počivaju na rezultatima korelacija različitih testova funkcionalnih sposobnosti i RFD, dok se drugi testovi gotovo i ne pominju (Wilson et al. 1995, Young & Bilby, 1993).

Rezultati dobijeni u ovim istraživanjima predstavljaju snažnu podršku nastojanjima da se preispita opšte prihvaćena tvrdnja o slaboj osetljivosti izometrijskih testova. Argumentacija koja tu pretpostavku podržava temelji se na rezultatima istraživanja koja su imala malo zajedničkih elemenata, (broj ispitanika, vrsta treninga, vrsta funkcionalnih testova, različita instrumentacija, metodologija, veličine). Ovde iznete pretpostavke mogu poslužiti kao dobra polazna osnova za dalja istraživanja ove problematike.

OPŠTI ZAKLJUČAK

Dobijeni rezultati potvrđuju pretpostavku iznetu na početku ovog rada, o međusobnoj povezanosti biomehaničkih faktora, kao i njihovom uticaju na kinematičke veličine voljnih pokreta: vrednosti kinematičkih parametara, kao i njihove promene u različitim uslovima izvođenja pokreta, odražavali su odnos sila mišića agonista i antagonista.

Iz aspekta izvedenih eksperimenata potvrđene su pomoćne hipoteze koje su se odnosile na pojedinačne eksperimentalne faktore čiji je uticaj ispitivan u opisanim istraživanjima.

1. Promena ugla u zglobu lakta utiče na koeficijent simetrije (KS), u skladu sa njihovim uticajem na momente sile aktivnih mišića.
2. KS brzih pokreta veći je od 1.
3. KS raste sa brzinom pokreta.
4. Koeficijent simetrije oscilatornih (povratnih pokreta) veći je od koeficijenta simetrije odgovarajućih diskretnih pokreta.
5. Testovi BRS imaju visoku pouzdanost bilo da se koriste u apsolutnom obliku (zavisnom od mišićne sile odnosno indirektno od mišićne veličine [RFD i $F_{100_{ms}}$]) bilo da se koriste u relativnom obliku (nezavisnom od mišićne sile [$T_{30\%-70\%}$ i RFD / F_{max}]).
6. Pouzdanost testova zavisi od familijarizacije, vremena proteklog između ponovljenih merenja, testirane mišićne grupe i kriterijuma izbora veličina koje se porede.
7. F_{max} je povezan sa testovima BRS koji se koriste u apsolutnom obliku (zavisnom od mišićne sile odnosno indirektno od mišićne veličine [RFD i $F_{100_{ms}}$]).
8. Jačanje trenirane mišićne grupe izazvalo je povećanje F_{max} i RFD.

Sa teorijskog aspekta dobijeni rezultati predstavljaju značajan doprinos u definisanju faktora koji utiču na upravljanje voljnim pokretima. Sa praktičnog stanovišta dobijeni rezultati predstavljaju osnov za formiranje efikasnijih i

OPŠTI ZAKLJUČAK

pouzdanijih protokola za procenu mišićne funkcije, u raznim biomedicinskim oblastima (sport, fizikalna medicina, ergonomija, itd).

LITERATURA

1. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. (2002): Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol* 93:1318-26
2. Abend W, Bizzi E, & Morasso P (1982): Human arm trajectory formation. *Brain* 105: 331-348
3. Abernethy P, Wilson G, Logan P (1995): Strength and power assessment. Issues, controversies and challenges. *Sports Med* 19:401-417
4. Abernethy PJ, Jurimae J, Logan PA (1994): Acute and chronic response of skeletal muscle to resistance exercise. *Sports Med* 17: 22-38
5. Agre JC, Casal DC, Leon AS, (1988): Professional ice hockey players: physiologic, anthropometric, and musculoskeletal characteristics. *Arch Phys Med Rehab* 69: 188-92
6. Akesson I, Hansson G-A, Balogh I, et al. (1997): Quantifying work load in neck, shoulders and wrists in female dentists. *Int Arch Occup Environ Health* 69: 461-74
7. Akima H, Kano Y, Enomoto Y, et al. (2001): Muscle function in 164 men and women aged 20-84 yr. *Med Sci Sports Exerc* 33: 220-6
8. An, KN, Kaufman, KR, & Chao, E.Y.S. (1989): Physiological consideration of muscle force through the elbow joint. *Journal of Biomechanics*, 22, 1249-1256.
9. Andersson E, Sward L, Thorstensson A. (1988): Trunk muscle strength in athletes. *Med Sci Sports Exercise* 20: 587-93
10. Andrews AW, Thomas MW, Bohannon RW. (1996): Normative values for isometric force measurements obtained with hand-held dynamometers. *Phys Therapy* 76: 248-61
11. Astrand P-O, Rodahl K. *Textbook of work physiology*. New York: McGraw-Hill (3rd edn), 1986
12. Atkeson CG & Hollerbach JM (1985): Kinematic features of unrestrained vertical arm movements. *J Neuroscience* 5: 2318-2330
13. Baker D, Wilson G, Carlyon B. (1994): Generality versus specificity: A comparison of dynamic and isometric measures of strength and speed – strength. *Eur J Appl Physiol*; 68: 350
14. Beenakker EAC, van der Hoeven JH, Fock JM, et al. (2001): Reference values of maximum isometric muscle force obtained in 270 children aged 4-16 years by hand-held dynamometry. *Neuromuscul Disord* 11: 441-6

15. Bemben MG, Murphy RE. (2001): Age related neural adaptation following short term resistance training in women. *J Sports Med Phys Fitness* 41: 291-9
16. Berardelli A, Hallett M, Rothwell JC, Agostino R, Manfredi M, Thompson P & Marsden CD (1996): Single-joint rapid arm movements in normal subjects and in patients with motor disorders. *Brain*, 119, 661-674.
17. Berkinblit MB, Gelfand IM, Feldman AG (1986b): A model for the control of multijoint movements. *Biofizika* 31: 128-138.
18. Bernstein NA. (1967): The coordination and regulation of movements. New York: Pergamon.
19. Bizzi E, Accornero N, Chapple W, Hogan N (1982): Arm trajectory formation in monkeys. *Exp Brain Res* 46: 139-143.
20. Bobbert MF, van Zandwijk JP (1999): Dynamics of force and muscle stimulation in human vertical jumping. *Med Sci Sports Exerc* 31:303-310
21. Bock OD, Michael D Ott D, Eckmiller R (1990): Control of arm movement in a 2-dimensional pointing task. *Behavioral and Brain Research* 40: 247-250.
22. Bosco, C, Viitasalo, J.T, Komi, P.V, & Luhtanen, P. (1982): Combined effect of elastic energy and myoelectrical potentiation during stretch-shortening cycle exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 114, 557-65.
23. Brooks, V.B. (1982): Optimal path generation for cooperating or redundant manipulators. *Proc 2 Intern Computer Engineering Conf, San Diego*, pp. 119-122.
24. Bullock D & Grosberg S (1988): Neural dynamics of planned arm movements: Emergent invariants and speed-accuracy properties during trajectory formation. *Psychol Rev* 95: 49-90.
25. Bullock D & Grossberg S (1991): Adaptive neural networks for control of movement trajectories invariant under speed and force rescaling. *Human Movement Sciences*, 10, 3-53.
26. Carter MC & Shapiro DC (1984): Control of sequential movements: evidence for generalized programs. *Journal of Neurophysiology*, 52, 787-79.
27. Clarke HH. (1988): Objective strength tests of affected muscle groups involved in orthopaedic disabilities. *Res. Q Exerc Sport*
28. Cometti G, Maffiuletti NA, Pousson M, et al. (2001): Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *Int J Sports Med*; 22: 45-51
29. Cooke JD & Brown SH (1994): Movement-related phasic muscle activation .3. The duration of phasic agonist activity. *Experimental Brain Research*, 99, 473-482.
30. Corcos DM, Jaric S, Agarwal GC, Gottlieb GL (1993): Principles for learning single joint movements .1. Enhanced performance by practice. *Exp Brain Res* 94:499-513.

31. Corcos DM, Gottlieb GL, Agarwal GC, Flachetry BP (1990a): Organizing principles for single joint movements VI. Implication for isometric contraction. *J Neurophysiol* 64: 1033-1042
32. Curra A, Berardelli A, Agostino R, Modugno N, Puorger CC, Accornero N & Manfredi M. (1997): Performance of sequential arm movements with and without advance knowledge of motor pathways in Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 12, 646-654.
33. Desrosiers J, Bravo G, Hebert R, et al. (1995): Normative data for grip strength of elderly men and women. *Am J Occup Ther* 7: 637-644
34. Enoka RM (1994) *Neuromechanical basis of kinesiology*. 2nd ed. Champaign (IL): Human Kinetics.
35. Enoka RM (1983): Muscular control of a learned movement: The speed control system hypothesis. *Exp Brain Res* 51: 135-145.
36. Faria IE, Faria EW (1989): Relationship of the anthropometric and physical characteristics of male junior gymnast to performance. *J Sports Med* 29: 369-78
37. Feldman AG (1986): Once more the equilibrium-point hypothesis (λ -model) for motor control. *Journal of Motor Behavior*, 18: 17-54.
38. Feldman AG (1966a): Functional tuning of the nervous system with control of movement or maintenance of a steady posture. II. Controllable parameters of the muscle. *Biophysics*, 11: 565-578.
39. Feldman AG (1966b): Functional tuning of the nervous system with control of movement or maintenance of a steady posture: III. Mechanographic analysis of the execution by man of the simplest motor tasks. *Biophysics*, 11: 667-675
40. Flash T & Mussa-ivaldi FA (1984): Inferring movement and muscle synergies from multi-joint arm posture. *Neuroscience* 10:635.
41. Fleck SJ, Falkel JE. (1986): Value of resistance training for the reduction of sports injuries. *Sports Med* 3: 61-8
42. Fry RW, Morton AR. (1991): Physiological and kinanthropometric attributes of elite flatwater kayakists. *Med Sci Sports Exerc* 23: 1297-301
43. Ghez C & Gordon J (1987): Trajectory control in targeted force impulses. I Role of opposing muscles. *Experimental Brain Research* 67: 225-240.
44. Gordon J & Ghez C (1992 a): Roles of proprioceptive input in control of reaching movements. In: Forssberg H, Hirschfeld H (eds): *Movement disorders in children*, Med. Sport Sci. Basel, Karger, Vol 36: 124-129,.
45. Gordon J, Ghilardi MF, Ghez, C. (1992 b): In reaching, the task is to move the hand to a target. *Behavior Brain Science* 15 : 337-339.

LITERATURA

46. Gorostiaga EM, Izquierdo M, Iturralde P, Ruesta M, Ibanez J (1999): Effects of heavy resistance training on maximal and explosive force production, endurance and serum hormones in adolescent handball players. *Eur J Appl Physiol* 80:485-493
47. Gottlieb GL (1998): Muscle activation patterns during two types of voluntary single-joint movement. *J Neurophysiol* 80:1860-1867
48. Gottlieb GL, Corcos DM, Agarwal GC (1989): Strategies for the control of single mechanical degree of freedom voluntary movements. *Behav Brain Sci* 12:189-210
49. Gottlieb GL, Corcos DM, Latash ML, Agarwal GC (1990): Principles underlying single-joint movement strategies. In: Winters J, Woo S (eds) *Multiple muscle systems: biomechanics and movement organization*. Springer. New York. Pp: 236 – 250
50. Gribble PL, & Ostry DJ (1996): Origins of the power law relation between movement velocity and curvature: modeling the effect of muscle mechanics and limb dynamics. *Journal of Neurophysiology*, 76, 2853-2859.
51. Griffiths RI (1991): Shortening of muscle fibers during stretch of active cat medial gastrocnemius muscle. The role of tendon compliance. *J Physiol* 436 219-236.
52. Gutman SR, Gottlieb, (1989): A solution for the problem of multijoint redundancy by minimizing joint increments. *Abstr Soc Neurosci* 15: 606
53. Haff GG, Stone M, OBryant HS, Harman E, Dinan C, Johnson R, Han KH (1997): Force-time dependent characteristics of dynamic and isometric muscle actions. *J Strength Conditioning Res* 11:269-272
54. Hogan N (1984): An organizing principle for a class of voluntary movements. *Journal of Neuroscience*, 5, 2745-2754.
55. Hollerbach JM & Suh KC (1985): Redundancy resolution of manipulators through torque optimization *Proc IEEE Conf on Robotic and Automation*, St Louis
56. Hopkins WG (2000): Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med* 30:1-15
57. Ilic B D (1997): Osnovne varijable motornih programa brzih terminalnih pokreta. Doktorska disertacija; Univerzitet u Beogradu
58. Imanaka K (1989): Effects of starting position on reproduction of movement: Further evidence of interference between location and distance information. *Perceptual and Motor Skills*, 68: 423-434.
59. Imanaka K, Abernethy B. (1992): Interference between location and distance information in motor short-term memory: The respective roles of direct kinesthetic signals and abstract codes. *Journal Motor Behavior*, 3: 274-280.

60. Imrhan SN (1994): Muscular strength in the elderly – implications for ergonomic design. *Int J Ind Ergonom*; 13: 125-38
61. Izquierdo M, Aquado X, Gonsales R, Lopez JL, Hakkinen K (1999): Maximal and explosive force production capacity and balance performance in man of different ages. *Eur J Appl Physiol* 79:260-267
62. Jaric S (2002): Muscle strength testing: the use of normalization for body size. *Sports Med* 32:615-631
63. Jaric S, Radovanovic S, Johansson H. (2002): Muscle force and muscle torque may require different methods when adjusting for body size. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*;
64. Jaric S, Ugarkovic D, Kukolj M. (2002): Evaluation of methods for normalizing strength in elite and young athletes. *J Sports Med Phys Fitness*
65. Jaric S (2002): Role of body size in the relation between muscle strength and movement performance. *Exercise Sport Sci Rev*, in press
66. Jaric S. (2000): Changes in movement symmetry associated with strengthening and fatigue of the agonist and antagonist muscles. *Journal of Motor Behavior*, 32, 9-16.
67. Jaric S, Gavrilovic P, & Ivancevic V. (1985): Effects of previous muscle contractions on cyclic muscle dynamics. *European Journal of Applied Physiology*, 34, 216-221.
68. Jaric S, Gottlieb GL, Latash ML, & Corcos, DM. (1998): Changes in the symmetry of rapid movements: Effects of velocity and viscosity. *Experimental Brain Research*, 120, 52-60.
69. Jaric, S, Radovanovic, S, Milanovic, S, Ljubisavljevic, M, & Anastasijevic, R. (1997): A comparison of effects of agonist and antagonist muscle fatigue on performance of rapid movements. *European Journal of Applied Physiology*, 76, 41-47.
70. Jongen HAH, Denier van der Gon JJ, Gielen CCAM (1989): Activation of human arm muscles during flexion/ extension and supination/ pronation tasks: A theory of muscle coordination. *Biol Cybern* 61: 1-9.
71. Kanehisa H, Mitsumasa M (1983): Specificity of velocity in strength training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 52: 104-6
72. Kathib O (1983): Dynamic control of manipulators in operational space. 6 IFTMM Congress on Theory of Machines and Mechanisms. New Delhi.
73. Kawato M (1996): Trajectory formation in arm movements: minimization principles and procedures. In: *Advances in motor learning and control* (Ed: Zelaznik, H.N.), Champaign, IL, Human Kinetics Publishers.
74. Keating JL, Matyas TA (1996): The influence of subject and test design on dynamometric measurements of extremity muscles. *Phys Ther*; 76: 866-89

75. Kraemer WJ, Mazzetti SA Nindl BC (2001): Effect of resistance training on women's strength/power and occupational performances. *Med Sci Sport Exerc* 33: 1011-25
76. Kraemer WJ, Piorkowski PA, Bush JA (2000): The effects of NCAA division 1 intercollegiate competitive tennis match play on recovery of physical performance in women. *J Strength Cond Res* 14: 265-72
77. Krylow AM & Rymer WZ. (1997): Role of intrinsic muscle properties in producing smooth movements. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 44, 165-176.
78. Kwon IS, Oldaker S, Schrager M, et al. (2001): Relationship between muscle strength and the time taken to complete a standardized walk-turn-walk test. *J Gerontol A-Biol* 56: B398-404
79. Latash ML. & Gottlieb GL. (1990): Compliant characteristics of single joints: preservation of equifinality with phasic reactions. *Biological Cybernetics* 62: 331-336.
80. Latash ML & Gottlieb GL (1990): Compliant characteristics of single joints: preservation of equifinality with phasic reactions. *Biological Cybernetics* 62: 331-336.
81. Lestienne F (1979): Effects of inertial load and velocity on the braking process of voluntary limb movements. *Exp Brain Res* 35:407-418
82. Magnusson SP, Constantini NW, McHugh MP, et al. (1995): Strength profiles and performance in masters' level swimmers. *Am J Sports Med* 23: 626-31
83. Marcora S, Miller MK (2000): The effect of knee angle on the external validity of isometric measures of lower body neuromuscular function. *J Sports Sci* 18:313-9
84. Matavulj D, Kukolj M, Ugarkovic D, Tihanyi J, Jaric S (2001): Effects of plyometric training on jumping performance in junior basketball players. *J Sport Med Phys Fitness* 41:159-164.
85. Mathiassen SE, Ahsberg E. (1999): Prediction of shoulder flexion endurance from personal factors. *Int J Ind Ergonom* 24: 315-29
86. McMahon TA. *Muscles, reflexes and locomotion*. Princeton, NJ: Princeton Pres, 1984
87. Meyer DE, Smith JE, Kornblum S, Abrams RA, Wright CE (1990): Speed- accuracy trade offs in aimed movements: Toward a theory of rapid voluntary action. In M Jeanerod (Ed.) *Attention and performance XIII* (pp. 173-225).
88. Mirkov D, Nedeljkovic S, Milanovic S, Jaric S (2002): Muscle strength testing: evaluation of tests of explosive force production. Submitted *European Journal of Applied Physiology*
89. Murphy AJ, Spinks WL (2000): The importance of movement specificity in isokinetic assessment. *J Hum Movement Stud* 38: 167-83

90. Murphy AJ, Wilson GJ (1996): Poor correlations between isometric tests and dynamic performance: relationship to muscle activation. *Eur J Appl Physiol* 73: 353-357
91. Murphy AJ, Wilson GJ, Pryor JF. (1994): The use of isoinertial force mass relationship in the prediction of dynamic muscle performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 69: 250-7
92. Nagasaki H (1991): Asymmetrical trajectory formation in cyclic forearm movements in man. *Experimental Brain Research*, 87, 653-661.
93. Nakano E, Imamizu H, Osu R, Uno Y, Gomi H, Yoshioka T, Kawato, M. (1999): Quantitative examinations of internal representation for arm trajectory planning: minimum commanded torque change model. *Journal of Neurophysiology*, 81, 2140-2155.
94. Nelson WL (1983): Physical principles for economies of skilled movements. *Biol Cybern* 46: 135-147
95. Novak KE, Miller LE, & Houk JC (2000): Kinematic properties of rapid hand movements in a knob turning task. *Experimental Brain Research*, 132, 419-433.
96. Ostry DJ, Cooke JD, & Munall KG (1987): Velocity curves of human arm and speech movements. *Experimental Brain Research*, 68, 37-46.
97. Paasuke M, Ereline J, Gapeyeva H (2001): Knee extensor muscle strength and vertical jumping performance characteristics in pre- and post-pubertal boys. *Ped Exercise Sci* 13:60-69
98. Paasuke M, Ereline J, Gapeyeva H, Sirkel S, Sander P (2000): Age-related differences in twitch properties of plantarflexor muscles in women. *Acta Physiol Scand* 170:51-57
99. Paasuke M, Ereline J, Gapeyeva H. Knee extension strength and vertical jumping performance in nordic combined athletes. *J Sports Med Phys Fitness* 2001; 41: 354-61
100. Pfeifer K, Banzer W. (1999): Motor performance in different dynamic tests in knee rehabilitation. *Scand J Med Sci Sports* 9: 19-27
101. Plagenhoef S (1971): Patterns of human motions: A cinematographic analysis. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
102. Plamondon R, Alimi AM, Yergau P, Leclerc F (1993): Modelling velocity profiles of rapid movements: a comparative study. *Biological Cybernetics*, 69, 119-128.
103. Poulton EC (1957): On prediction in skilled movements. *Physiological Bulletin*, 54, 467-478.
104. Pryor JF, Wilson GJ, Murphy AJ. (1994): The effectiveness of eccentric, concentric and isometric rate of force development tests. *J Hum Mov Stud* 27:153-72
105. Radovanović S (1996): Uticaj vibriranja mišića na učenje i izvođenje brzih terminalnih pokreta kod čoveka. Magistarski rad.

106. Reilly T, Bangsbo J, Franks A (2000): Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *J Sports Sci* 18: 669-83
107. Reuter I, Engelhardt M, Stecker K, et al. (1999): Therapeutic value of exercise training in Parkinson's disease. *Med Sci Sports Exerc* 31: 1544-9
108. Sahaly R, Vandewalle H, Driss T, Monod H (2001): Maximal voluntary force and rate of force development in humans – importance of instructions. *Eur J Appl Physiol* 85:345-350
109. Sale DG (1991): Testing strength and power. In: MacDougall JD, Wenger HA, Green HJ (eds) *Physiological testing of the high-performance athlete*. Human Kinetics, Champaign, Illinois, pp 21-75
110. Saltzman EL & Kelso, JAS (1987): Skilled actions: A task-dynamic approach. *Psychol rev* 94: 84-106.
111. Schmidt RA, Sherwood DE, Walter CB (1988): Rapid movement with reversals in direction .1. The control of movement time. *Exp Brain Res* 69:344-354
112. Schmidt RA (1988): *Motor control and learning*. Human Kinetics, Champaign, IL.
113. Schmidt RA (1994): *Motor control and learning*. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers
114. Sittig AC, van der Gon JJD, Gielen CCAM (1987): The contribution of afferent information on position and velocity to the control of slow and fast human forearm movement. *Exp. Brain Res.* 67: 33-40,.
115. Sleivert GG, Backhus RD, Wenger HA (1995): Neuromuscular differences between volleyball players, middle distance runners and untrained controls. *Int J Sports Med* 16:390-398
116. Slievert GG, Wenger HA (1994): Reliability of measuring isometric and isokinetic peak torque, rate of torque development, integrated electromyography, and tibial nerve conduction velocity. *Arch Phys Med Rehab* 75:1315-1321
117. Soechting JF (1984): Effect of target size on spatial and temporal characteristics of pointing movement in man. *Experimental Brain Research*, 54, 121-132.
118. Stein RB, Cody FWJ & Capaday C (1988): The trajectory of human wrist movements. *J Neurophysiol* 59: 1814-1830
119. Sternad D, & Schaal S. (1999): Segmentation of endpoint trajectories does not imply segmented control. *Experimental Brain Research*, 124, 118-136.
120. Stevenson JM, Greenhorn DR, Bryant JT, et al. (1996): Gender differences in performance of a selection test using the incremental lifting machine. *Appl Ergon*; 27: 45-52

121. Suzuki M, Yamazaki Y, Mizuno N, & Matsunami K (1997): Trajectory formation of the center-of-mass of the arm during reaching movements. *Neuroscience*, 76, 597-610.
122. Takala EP, Viikari-Juntura E. Do functional tests predict low back pain? *Spine* 2000; 25: 2126-32
123. Taylor NA, Cotter JD, Stanley SN, et al. Functional torque-velocity and power-velocity characteristics of elite athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1991; 62: 116-21
124. Teulings HL, Contreras Vidal JL, Stelmach GE Adler, CH (1997): Parkinsonism reduces coordination of fingers, wrist, and arm in fine movement control. *Experimental Neurology*, 146, 159-170.
125. Todorov E, & Jordan MI (1998): Smoothness maximization along a predefined path accurately predicts the speed profiles of complex arm movements. *Journal of Neurophysiology*, 80, 696-714.
126. Ugarkovic D, Matavulj D, Kukolj M, Jaric S (2002): Standard anthropometric, body composition, and strength variables as predictors of jumping performance in elite junior athletes. *J Strength Conditioning Res* 16:227-230
127. Viljanen T, Viitasalo JT, Kujala UM (1991): Strength characteristics of a healthy urban adult population. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*; 63: 43-7
128. Virji-Babul N, Cooke JD, & Brown SH. (1994): Effects of gravitational forces on single joint arm movements in humans. *Experimental Brain Research*, 99, 338-346.
129. Viviani P, & Flash T. (1995): Minimum jerk, 2/3 power law, and isohrony - converging approaches to movement planning. *Journal of Experimental Psychology - Human Perception Performance*, 21, 32-53.
130. Wachholder K & Altenburger H (1926): Beitrage zur Physiologie der willkurlichen Bewegungen. X. Einzelbewegungen. *Pflugers Arch*, 214:642-661
131. Wallace SA (1981): An impulse-timing theory for reciprocal control of muscular activity in rapid, discrete movements. *Journal of Motor Behavior* 13: 144-160.
132. Wiegner AW & Wierzbicka MM (1992): Kinematic models and human elbow flexion movements: Quantitative analysis. *Experimental Brain Research*, 88, 665-673.
133. Wierzbicka MM, Wiegner AW, Shahani BT (1986): Role of agonist and antagonist muscles in fast arm movements in man. *Experimental Brain Research* 63, 331-340,
134. Wilson GJ, Murphy AJ (1996): The use of isometric tests of muscular function in athletic assessment. *Sports Med* 22:19-37
135. Wisloff U, Helgrund J, Hoff J (1998): Strength and endurance of elite soccer players. *Med Sci Sports Exerc*; 30: 462-7

LITERATURA

136. Yamazaki Y, Ohkuwa T, Itoh H, Suzuki M (1994): Reciprocal activation and coactivation in antagonistic muscles during rapid goal-directed movements. *Brain Res Bull* 34:587-593
137. Zatsiorsky VM (1995): *Science and practice of strength training*. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers.
138. Zhang X & Chafin DB (1999): The effects of speed variation on joint kinematics during multisegment reaching movements. *Human Movement Science*, 18, 741-757.
139. Zhou S, McKenna MJ, Lawson DL, Morrison WE, Fairweather I (1996): Effects of fatigue and sprint training on electromechanical delay of knee extensor muscles. *Eur J Appl Physiol* 72:410-416
140. Zijlstra W & Hof AL (1997): Displacement of the pelvis during human walking: experimental data and model predictions. *Gait & Posture*, 6, 249-262. Abernethy P, Wilson G, Logan P. Strength and power assessment. Issues, controversies and challenges. *Sports Med* 1995; 19: 401-17

BIOGRAFIJA

IME I PREZIME:

Dragan Mirkov

DATUM I MESTO ROĐENJA:

10. 05 1968, Reutlingen, Nemačka.

ADRESA NA POSLU:

Institut za biofiziku
 Medicinski fakultet,
 Univerzitet u Beogradu
 Višegradska 26/II
 11000 Beograd
 Tel: +381 11 3615 775
 +381 11 3615 767
 e-mail: mirkov@imi.bg.ac.yu

KUĆNA ADRESA:

Tikveška 18
11000 Beograd
Tel: +381 11 4444 998
Mobilni: +381 64 1138 968

ŠKOLOVANJE:

1983-1987: Srednja elektrotehnička škola
1988-1994: Fizički fakultet, Univerzitet u Beogradu
1996-2001: Postdiplomske studije, Univerzitet u Beogradu (smer biofizika, oblast: motorna kontrola):

MAGISTARSKA TEZA:

April 2001: "Značaj finalnog položaja u motornim programima brzih terminalnih pokreta"

PROFESIONALNO ANGAŽOVANJE:

1994-1996: Nastavnik fizike, OŠ "Miloš Crnjanski"
1997-2001: Nastavnik fizike, Internacionalna Gimnazija (IHSB)
2000-danas: Nastavnik fizike, Anglo-Američka gimnazija (AAHSB)
1997-2001: Asistent pripravnika, Institut za biofiziku, Medicinski fakultet, Univerziteta u Beogradu.
2001-danas: Asistent, Institut za biofiziku, Medicinski fakultet, Univerziteta u Beogradu.
1997-danas: Saradnik, Laboratorija za neurofiziologiju, Instituta za medicinska (istraživanja iz oblasti motorne kontrole)
2002-danas: Saradnik, Metodičko istraživačka laboratorija (MIL), Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu (analiza i obrada podataka, evaluacija testova za procenu mišićne jačine i snage)
2001-danas: Saradnik, Laboratorija za sportsku fiziologiju, Instituta za fiziologiju, Medicinskog fakulteta, Univer-

ziteta u Beogradu (akvizicija i obrada podataka, statistička analiza)

RADOVI:

Međunarodni časopisi:

- Ilic DB, Mirkov DM, Jaric S (1998): Learning transfer from flexion to extension movements: Importance of the final position. *Motor Control*, 2:221-227.
- Mirkov DM, Ilic DB, Jaric S (2000): Learning transfer of movement speed and accuracy: effects of distance and direction. *Journal of Human Movement Studies*, 39:237-248
- Mirkov MD, Milanovic S, Ilić DB, Jarić S (2002): Symmetry of discrete and oscillatory elbow movement: Does it depend on torque that agonist and antagonist muscle can exert. *Motor Control*, 6:274-285.
- Mirkov MD, Nedeljkovic A, Milanovic S, & Jaric S: Muscle strength testing: evaluation of tests of explosive force production. *European Journal of Applied Physiology* (SUBMITTED)

Domaći časopisi:

- Mirkov MD & Nedeljkovic A: Procena mišićne jačine: da li su testovi jačine dovoljno pouzdani za procenu efekata treninga snage. *Fizička Kultura* (poslato)

Naučni skupovi:

- Mirkov DM, Ilic DB, Milanovic S, Ristanovic D, Jaric S. „Dužina i maksimalna brzina kao varijable od značaja u motornim programima brzih terminalnih pokreta“, 10. savetovanje iz biofizike, Banja Luka, 2001
- Milanovic S, Mirkov DM, Blesic S, Jaric S „Veza kinematičkih parametara sa privremenim prebačajem tokom brzih terminalnih pokreta“, 10. savetovanje iz biofizike, Banja Luka, 2001
- Šarenac T, Dabović M, Vasiljev R, Mirkov MD, Ilić BD: How both muscle strength of antagonistic group and central motor strategy based on motor task affects on kinematics reproducibility of learned fastest terminated and nonterminated movements 3rd International Conference on Strength Training, November 13-17, 2002, Budapest, Hungary

Ostalo:

- Grupa autora. „*Medicinski leksikon*“ I.P. „Obeležje“, (Beograd, 1999.).
- Priručnik iz matematike: „*Odabrana poglavlja matematike za učenike VII i VIII razreda osnovne škole*“ IP Plavi krug (Beograd, 1996).

Projekti

BIOGRAFIJA

Projekat Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije broj 1737: Institut za medicinska istraživanja, (rukovodilac projekta: Miloš Ljubisavljević): **Poremećaji funkcije bazalnih ganglija u centralnom zamoru**

Projekat Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije 1758: Institut za medicinska istraživanja, (rukovodilac projekta: Slobodan Jarić): **Procena mišićne funkcije na osnovu motoričkih testova**