



Procena mišićne funkcije primenom standardnih dinamometrijskih metoda:

Dr Predrag Božić



Sadržaj

- Kretanje i mišićna aktivnost
- Faktori koji utiču na sposobnost mišića da ispolji silu
- Testovi za procenu mišićne funkcije
- Procena mišićne funkcije u sportu i sportskoj medicini
- Mogućnosti daljeg unapređenja procene mišićne funkcije
- Praktične implikacije



Posmatrano sa mehaničkog aspekta, pokret čoveka predstavlja interakciju različitih sila među kojima je svakako najvažnija mišićna sila koja je pod direktnom kontrolom nervnog sistema. Širok spektar kretanja koja su prisutna u svakodnevnom životu, kao i u profesionalnim aktivnostima, može se razlikovati po nekim kinematičkim i kinetičkim obrascima izvođenja, što kao posledica može imati različite šeme mišićne aktivacije.

Funkcionalne sposobnosti mišića

- ◊ Sposobnost ispoljavanja velike sile
- ◊ Sposobnost ispoljavanja velike sile u relativno kratkom vremenskom intervalu (sposobnost ispoljavanja velike sile pri velikim brzinama)
- ◊ Sposobnost relaksacije



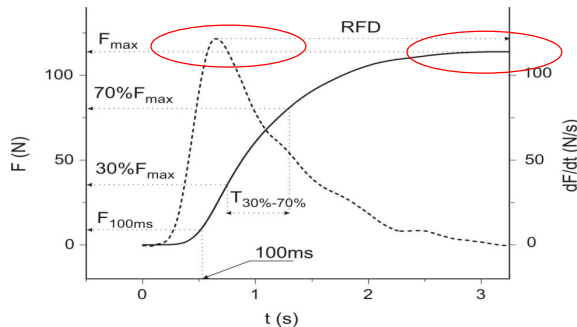
Na primer, održavanje različitih položaja prilikom podizanja teškog tereta zahteva ispoljavanje velike mišićne sile koja se relativno sporo dostiže.

Međutim, brojna kretanja su bazirana na relativno kratkim aktivnostima odgovarajućih mišićnih grupa (brzi pojedinačni pokreti ili posturalne korekcije) ili naizmeničnim aktivacijama antagonističkih mišićnih grupa (hodanje, trčanje, bacanje, šutiranje). Potrebno vreme za izvođenje većine ovih pokreta je ograničeno i često je jednako trajanju eksplozivnih radnji (50 - 250 ms; Kukolj i sar., 1999; van den Bogert i sar., 2002; Domkin i sar., 2005; Aura i Viitasalo, 1989; Takei, 1990; Mero i sar., 1992). Zbog ograničenog trajanja većine prirodnih pokreta, osim maksimalne sile i brzina njenog razvoja predstavlja značajnu sposobnost mišića od kog zavisi kretanje.

Takođe, kod većine cikličnih kretanja, mogućnost mišića da se brzo relaksira ili smanji tonus i mišićnu silu omogućava efikasnije ispoljavanje sile agonističkih mišića tokom pojedinih faza kretanja.

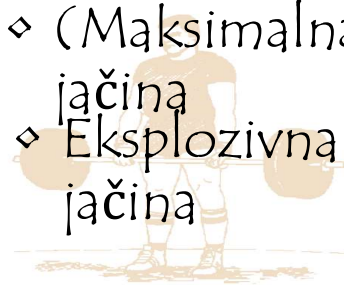
Definisanje pojmova: Jačina

- ◊ Jačina predstavlja sposobnost savladavanja otpora ili suprotstavljanja opterećenju (Kukolj, 1996).



Mirkov, Eur J Appl Physiol, 2004

- ◊ (Maksimalna) jačina
- ◊ Eksplozivna jačina



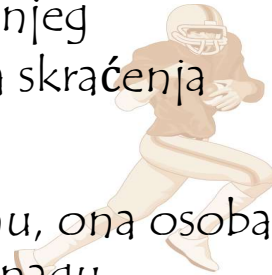
Svaki naš pokret, a posebno onaj u kojem savladavamo značajno spoljašnje opterećenje zavisi od sposobnosti za ispoljavanje sile i snage. U ovom predavanju će se sposobnost za ispoljavanje sile nazivati jačinom.

Jačina predstavlja sposobnost savladavanja otpora ili suprotstavljanja opterećenju (Kukolj 1996). Pri tome u literaturi najčešće se pod sposobnošću jačine podrazumeva maksimalna vrednost ispoljene sile za date uslove.

Na grafiku je predstavljena mogućnost ispoljavanja sile tokom vremena. Možemo primetiti ispoljavnje maksimalne vrednosti sile zahteva određeno vreme koje u velikom broju slučajeva je veće u odnosu na ono koje je potrebno da bi se izvršio neki pokret. To posebno to važi za brza kretanja za koja je vreme za ispoljavanje sile veoma ograničeno tako da sposobnosti za njihovo izvođenje su uslovljena brzinom razvoja sile. Prema tome u literaturi se još definiše i eksplozivna jačina koja se najčešće procenjuje preko maksimalne vrednosti prvog izvoda sile u vremenu tj brzine razvoja sile. Jedinice kojom se meri ova sposobnost je N/s ili Nm/s u zavisnosti da li se u testovima jačine meri sila ili moment sile.

Definisanje pojmova: Snaga

- ◇ Snaga – $P (W) = F (N) \times V (m/s)$
- ◇ Snaga – sposobnost mišića da deluje relativno velikim silama protiv manjeg spoljašnjeg opterećenja, ali pri velikim brzinama skraćanja mišića (Jarić i Kukolj, Fizička kultura, 1996).
- ◇ Ukoliko dve osobe podižu istu težinu, ona osoba koja to podiže brže proizvodi veću snagu



Pređimo sada na definisanje pojma snaga. Snaga u fizici predstavlja kao veličina obavljanja rada u jedinici vremena, što predstavlja intenzitet rada. Takođe, izvođenjem formula ona se može predstaviti i kao proizvod sile i brzine. Snaga kao sposobnost čoveka definisana je u oblastima povezanim sa ljudskim kretanjem kao sposobnost mišića da deluje relativno velikim silama protiv relativno manjeg spoljašnjeg opterećenja, ali pri velikim brzinama skraćanja mišića za date uslove. Jednostavnije rečeno, ukoliko dve osobe podižu istu težinu, ona osoba koja to podiže brže proizvodi veću snagu.

Jačina i snaga su jedne od najvažnijih sposobnosti za mnoge sportske discipline. Zato i nije čudno da su jedni od važnih trenažnih prioriteta upravo podređeni razvoju pomenutih sposobnosti. U cilju optimizacije razvoja ovih sposobnosti, 3 međuzavisna faktora treba uzeti u obzir: 1) shvatanje fizioloških mehanizama i adaptacija koji leže u osnovi razvoja ovih sposobnosti, 2) sredstva i metodi za razvoj jačine i snage, 3) validne i pouzdane metode procene jačine i snage.

Faktori koji utiču na sposobnosti ispoljavanja mišićne sile i snage

Mehanički faktori (McMahon, 1984, Faulkner i sar., 1986b, Newton, 1997),

Morfološki faktori (McMahon, 1984, Edgerton i sar., 1986, Newton, 1997)

Neuralni faktori (Komi, 1992, Cormie i sar., Sports Med, 2011a).

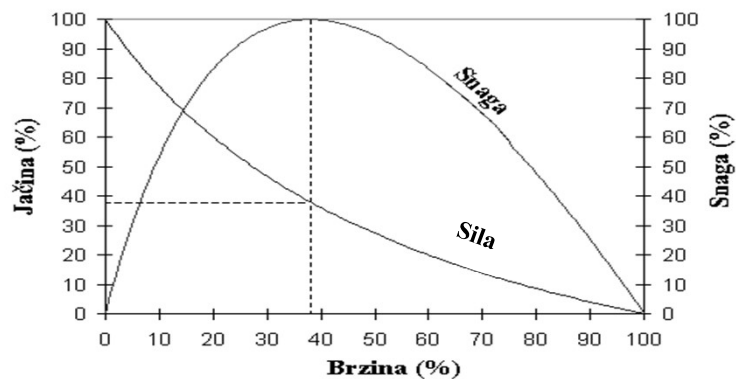
Faktori mišićnog okruženja (Cormie i sar., Sports Med, 2011a).



Smatra se da ispoljavanje maksimalne snage zavisi od *mehaničkih* (McMahon, 1984, Faulkner i sar., 1986b, Newton, 1997), *morfoloških* (McMahon, 1984, Edgerton i sar., 1986, Newton, 1997) i *neuralnih* karakteristika mišića (Komi, 1992, Cormie i sar., 2011a). Kao poseban faktor koji utiče na ispoljavanje maksimalne snage mišića navode se i *uslovi rada* u kojima se obavlja aktivnost mišića (Cormie i sar., 2011a).

Mehanički faktori:

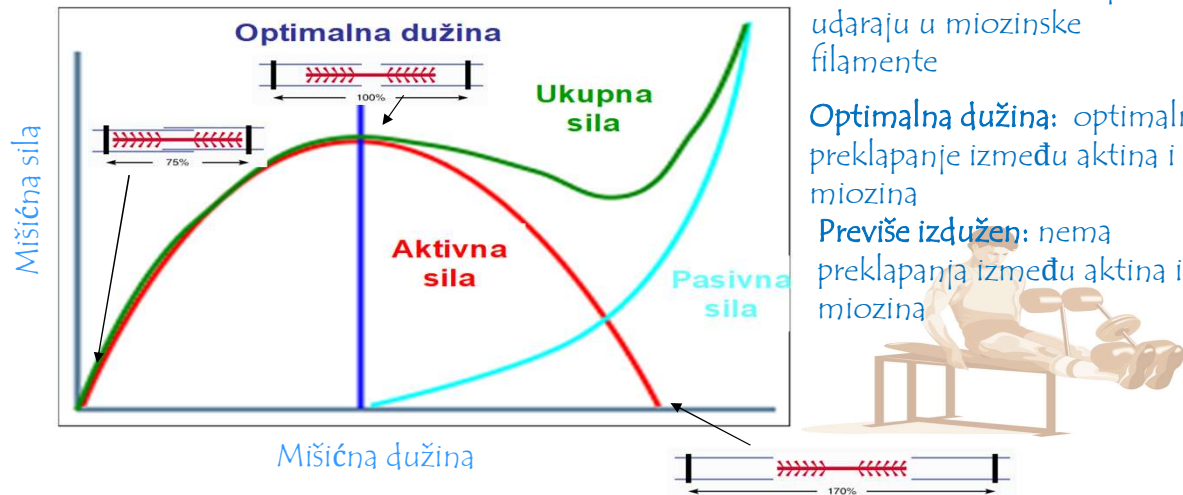
Zavisnost sile i brzine skraćenja mišića (Hill, Proc R Soc Med, 1938)



Međuzavisnot ispoljavanja mišićne sile i brzine skraćenja mišića jeste jedan od osnovnih biomehaničkih zakona. Relacija sila-brzina reprezentuje karakterističnu osobinu mišića koja diktira kapacitete mišića za ispoljavanje snage. Na slici je odnos sile i brzine prikazan karakterističnom hiperboom, poznatom kao Hilova kriva, dobijena tokom ispitivanja mehaničkih karakteristika mišićnih vlakana sredinom prethodnog veka (Hill, 1938). Nprikazanom modelu na slici se može videti da se u uslovima gde se povećava brzina skraćenja mišića u koncentričnoj kontrakciji, ukupni kapacitet mišića za generisanje sile se umanjuje i obrnuto. S obzirom da je snaga proizvod sile i brzine, maksimalna vrednost snage mišića u uslovima in-vitro se ispoljava pri submaksimalnim vrednostima sile i brzine (McMahon, 1984, Newton, 1997).

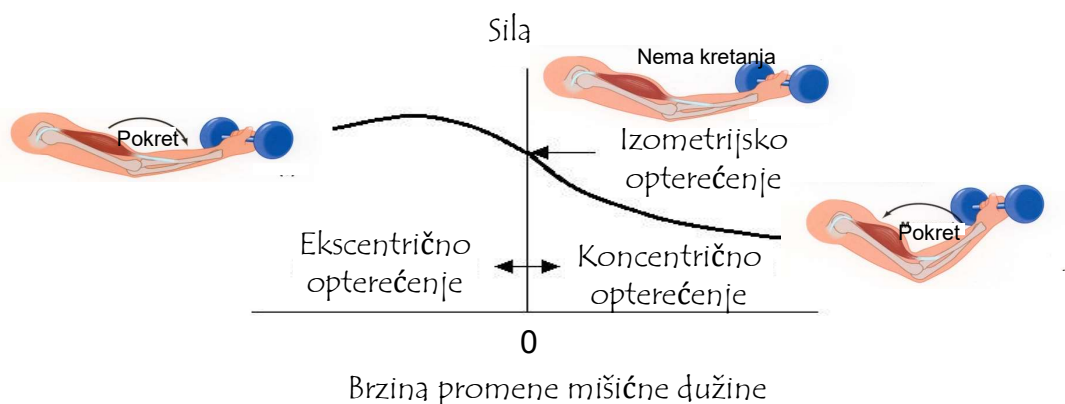
Potvrda ovog modela, odnosno navedenih mehaničkih karakteristika aktiviranih mišića ili grupe mišića počiva na interakcijama između poprečnih mostova vlakana aktina i miozina. Konkretno, kako postoji fiksno vreme koje je potrebno da se ostvari i prekine kontakt između poprečnih mostova vlakana aktina i miozina, onda se ukupan broj zakačenih poprečnih mostova smanjuje sa povećanjem brzine mišićnog skraćenja. Usled činjenice da količina generisane sile zavisi od broja ostvarenih veza između aktinskih i miozinskih vlakana na poprečnim mostovima, ispoljena sila se smanjuje sa povećanjem brzine kontrakovanja, i prema tome, maksimalna snaga se ispoljava pri submaksimalnim vrednostima sile i brzine (McMahon, 1984, Newton, 1997).

Mehanički faktori: Zavisnost sile i dužine mišića



Sledeća mehanička zakonitost jeste povezanost sile i dužine mišića. Naime, sposobnost mišića da aktivno generišu silu direktno zavisi od dužine sarkomere (Newton, 1997, Cormie i sar., 2011a). Najveći potencijal za generisanje sile na poprečnim mostovima se javlja u situaciji kada dužina sarkomera obezbeđuje optimalno preklapanje između vlakana aktina i miozina (tzv. *optimalna dužina*). Pri optimalnoj dužini sarkomere, interakcija na poprečnim mostovima je najveća, što rezultuje mogućnošću generisanja najveće moguće sile. Pri skraćivanju mišića dolazi do povećavanja trenja koje izazivaju filamenti aktina udarajući u porečne mostove Z linija u miozinske filamente. Sa druge strane sa povećavanjem dužine mišića preko optimalne aktivna sila mišića opada zbog smanjenja broja poprečnih mostova, dok pasivne sile rastu.

Mehanički faktori: Tipovi mišićne kontrakcije

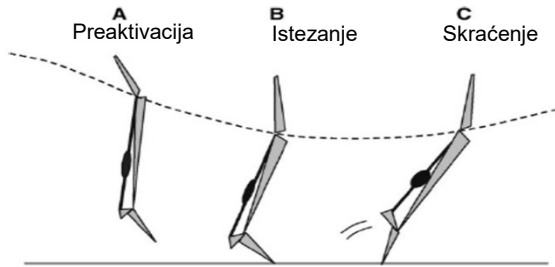


Sledeći faktor se odnosi na to da su jačina i snaga je i pod uticajem tipa mišićne kontrakcije. U odnosu na dobro poznate tipove mišićne kontrakcije razlikujemo Jačinu ispoljenu u izometrijskoj kontrakciji, jačinu i snagu u koncentričnoj i ekscentričnoj kontrakciji. Na grafiku se može videti odnos ispoljene sile u zavisnosti od tipa kontrakcije i brzine. Vidimo da sa smanjenjem brzine koncentrične kontrakcije raste sila koju mišić razvija i da ona je najveću vrednost dostiže pri najmanjim brzinama skraćivanja mišića odnosno u izometrijskim uslovima. Međutim kada je reč o ekscentričnoj kontrakciji, usled sila pasivnih komponenti i viskoznih svojstava mišića koje se opiru njegovom istezanju, kao i dodatne refleksne stimulacije aktivnih komponenti mišića, ukupna ispoljena sila može biti veća od izometrijske.

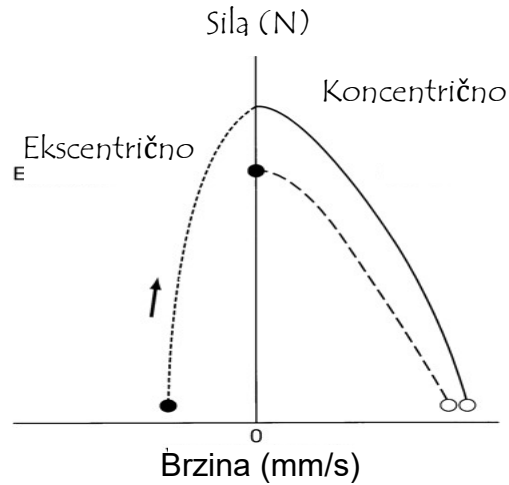
Mehanički faktori: Tipovi mišićne kontrakcije



Ciklus izduženje-skraćenje



Komi, Exerc Sport Sci Rev, 1984



Enoka, J App Physiol, 1984

U realnim situacijama se retko izvode pokreti u kojima se ove mišićne akcije javljaju izolovano. Najčešće naši prirodni pokreti uključuju sukcesivnu kombinaciju ekscentrične i koncentrične mišićne kontrakcije i taj ciklus je poznat kao *ciklus izduženje-skraćenje* (eng. *Stretch shortening cycle - SSC*). U situaciji kada se mišićno vlakno prvo izduži (ekscentrična kontrakcija), a zatim odmah brzo skрати (koncentrična kontrakcija), sila i snaga, koje se generišu tokom koncentrične kontrakcije, su znatno veće nego pri izolovanoj koncentričnoj kontrakciji (Komi, 1992). Na slici grafiku koji predstavlja relaciju sila-brzina upravo je prikazan doprinos koji se javlja kada tokom aktivnosti koje uključuju ciklus izduženje-skraćenje.

Kao mehanizmi veće sile i snage tokom SSC aktivnosti navodi se da:

1. je vreme za razvoj sile veće tokom SSC aktivnosti, tako da započinju koncentričnu kontrakciju sa većim nivoom sile
2. se deo energije elastične deformacije u komponentama kao što su poprečni mostići, aponeuroze i tetive koji se dobija tokom ECC faze čuva i koristi u koncentričnom režimu
3. je promena dužine kontraktilnih elemenata tokom faze skraćenja manja, a veća promena dužine tetiva - kontraktilne komponente u većem delu pokreta rade na optimalnim dužinama i na manjim brzinama skraćenja što omogućava razvijanje većih sila
4. se vrši potencijacija kontraktilnih (poprečni mostići mogu da generišu relativno veću silu) i elastičnih filamenata (povećava se krutost elastičnih filamenata) nakon brzog izduženja
5. se povećava uticaj spinalnih refleksa na koji pojačavaju mišićnu aktivaciju.

Morfološki faktori:

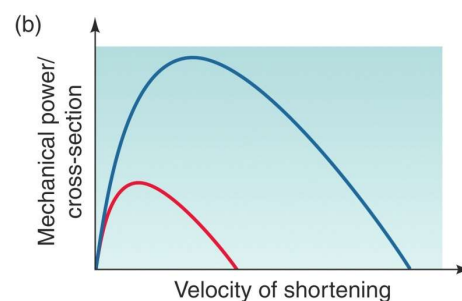
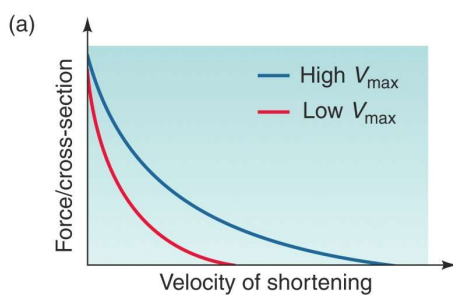
Poprečni presek mišića

Tip mišićnih vlakana (brza i spora kontrahujuća vlakna)

Arhitektura mišića (ugao pripajanja mišićnih vlakana)

Dužina mišićnih vlakana

Osobine tetiva



Sposobnost mišića da tokom pokreta generišu silu i snagu je uslovljena njihovim kontraktilnim kapacitetima. Poznato je da mišići su sastavljeni od brzo i sporo kontrahujućih vlakana. Usled jedinstvenih karakteristika svakog od tipova mišićnih vlakana (brza i spora), osobine mišića koje se reflektuju preko relacije sila-brzina su direktno određene zastupljenošću jednog, odnosno drugog tipa mišićnih vlakana u celokupnoj površini mišića. Naime, u istraživanjima je pokazano da brza vlakna (*tip II*) imaju 3 puta veću brzinu i 4 puta veću maksimalnu snagu u odnosu na spora vlakna (*tip I*) (Faulkner i sar., 1986b). Takođe, vlakna tipa II imaju veću silu u odnosu na mišićna vlakna tipa I.

Iako se u literaturi se često pominje mogućnost transformacije jednog tipa mišićnih vlakana u drugi tip i/ili podtip, treba napomenuti da je ovaj udeo u poboljšanju maksimalne snage mišića relativno mali kada se upoređi sa promenama u ostalim morfološkim osobinama mišića (npr. površini poprečnog preseka) (Lieber, 2010).

Sposobnost ispoljavanja sile je u direktnoj vezi sa veličinom poprečnog preseka, a pošto je snaga usloveljna jačinom onda mišići sa većim poprečnim presekom mogu da ispolje i veću snagu. Kada je u pitanju dužina mišića, njegova brzina skraćanja je u direktnoj povezanosti sa dužinom mišićnog vlakna pošto brzina na nivou sarkomere se malo razlikuje između različitih tipova vlakana. Ugao pripajanja vlakana na mišićnu fasciju je sledeći faktor. Naime ukoliko je ugao pripajanja vlakana veći, veći broj vlakana sa nalazi u odnosu na poprečni presek je veći tako da sila koju mišić proizvodi je veća. Međutim sa povećanjem ugla pripajanja dužina vlakana opada tako da i brzina kontrakcije je manja.

Kada su u pitanju osobine tetiva, poznato je da od krutosti tetive zavisi način na koji se mišićna sila prenosi na kost i posledično vrši pokret. Pre svega krutost tetiva je povezana sa brzinom razvoja sile, dužinom mišića na kojoj proizvodi silu i brzinu skraćanja tokom ispoljavanja sile. Naime ukoliko je krutost tetive mala, mišić će se više skratiti, delovati na manjim dužinama, pri većim brzinama skraćanja što što za posledicu ima ispoljavanje manje sile i snage.

Neuralni faktori

Regrutacija motornih jedinica (po principu veličine)

Frekvencija pražnjenja

Sinhronizacija

Neuralna šema aktivacije različita za brze i spore mišićne kontrakcije

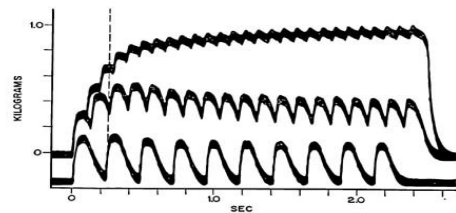
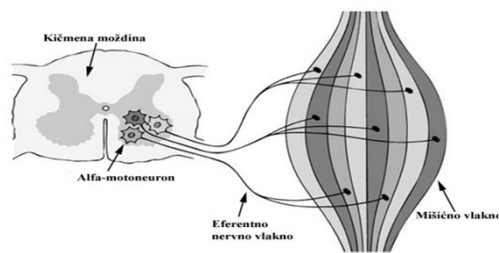


Fig. 3.6.3. Isometric tension responses of the soleus of a cat. Stimulation rates are (from bottom to top): 4.2, 7.5 and 10 per second. Adapted from ROSSIGNOL and RUMO (1960). See text for explanation of vertical dashed line.

Sposobnost generisanja maksimalne snage mišića tokom pokreta nije samo pod uticajem morfologije mišića, već je i pod uticajem sposobnosti nervnog sistema da na odgovarajući način aktivira motrone jedinice od kojih je sačinjen mišić. Generalno u istraživanjima se najčešće izdvajaju 3 obrasca aktivacije koji su odgovorni za razvoj sile unutar mišića. Ispoljena sila mišića je povezana sa brojem i tipom motornih jedinica koje su uključene. U istraživanjima je pokazano je da se jedinice se po određenom redosledu uključuju i postepeno povećavaju silu tokom voljne kontrakcije prema tzv. principu veličine (engl. *size principle*; Faulkner i sar., 1986b, Cormie i sar., 2011a). Frekvencija paljenja motornih jedinica je drugi faktor koji utiče na ostvarenu silu i povećava se sa povećavanjem sile voljene kontrakcije. Na slici možemo videti da povećanje frekvencija omogućava da svaki doprinos svakog narednog impulsa se delimično ili potpuno sumira na dostignuti nivo sile. Takođe, modulacija sile je moguće vršiti i sa promenama u sinhronizaciji rada motornih jedinica.

Ono što je bitno napomenuti jeste da doprinos ova tri faktora zavisi od tipa motornih zadataka koji se izvode, a često citirana je razlika između brzih i sporih mišićnih kontrakcija. Spori prirast sile do maksimuma je praćen postepenim povećavanjem regrutacije i frekvencije paljenja motornih jedinica, dok je njihova sinhronizacija može biti povećana na najvišim nivoima sile. Međutim, brze kontrakcije je karakteristična velika frekvencija pražnjenja već na samom statu kontrakcije koja opada sa produžavanjem vremena kontrakcije. Takođe, prag za uključivanje motornih jedinica je znatno manji tokom brzih kontrakcija, dok se u nekim istraživanjima ističe i uticaj sinhronizacije tokom brzih kontrakcija.

Kao rezultat prethodno diskutovanih razlika, procena sposobnosti za ispoljavanje i održavanje maksimalnih sila, zatim sposobnosti za razvijanje sila maksimalnom brzinom, kao i sposobnosti za vršenje brzih naizmeničnih aktivacija mišića agonista i antagonista može zahtevati odvojene metode za evaluaciju (Bemben i sar., 1990; Sahaly i sar., 2001)

Faktori mišićnog okruženja

Zamor

Hormonski status

Temperatura mišića

Protokol

Familijarizacija

Iskustvo ispitanika



Akutne promene uslova rada, u kojima se dešava mišićna aktivnost, mogu da utiču na mišićne karakteristike, a samim tim i na sposobnost ispoljavanja sile i snage mišića (Cormie i sar., 2011a). Konkretno, uslovi rada se odnose na promene nastale usled: *zamora, promena u hormonskom statusu i temperaturi mišića*.

Tokom zamora se brojne mišićne karakteristike menjaju, uključujući promene izvan- i unutar-ćelijskim jonima i metabolitima unutar same ćelije (Enoka, 1994), pražnjenjem depoa energije, smanjenje brzine prenosa nervnih impulsa itd. Svaka od ovih promena dalje utiče i na kontrolu ispoljavanja sile i snage što na kraju dovodi do smanjenja sposobnosti za njihovo ispoljavanje tokom kontrakcije (Cormie i sar., 2011a).

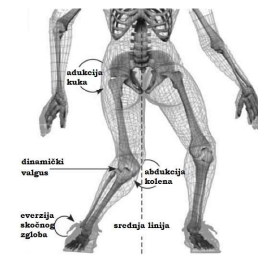
Uticaji hormonskog statusa na adaptacione mehanizme mišića, koji za posledicu imaju unapređenje sile i snage mišića, su prilično dobro dokumentovani u literaturi (Hakkinen, 1989). Međutim, pokazalo se da i akutne promene u hormonskom statusu mogu da utiču na trenutnu sposobnost ispoljavanja maksimalne snage (Cormie i sar., 2011a).

Pokazalo se da i promene u radnoj temperaturi mišića utiču na ispoljavanje maksimalne snage mišića (za detalje pogledati u preglednim radovima, Cormie i sar., 2011a, Racinais, 2011). Naime, brojne studije su pokazale da smanjenje radne temperature mišića negativno utiče na generisanje maksimalne sile, brzine prirasta sile i maksimalne brzine skraćenja, a samim tim i na

ispoljavanje maksimalne snage mišića.



SVRSISHODNOST PROCENE MIŠIĆNE FUNKCIJE



Zbog velike važnosti voljnih pokreta u svakodnevnom životu procena mišićne funkcije je u velikoj meri zastupljena u brojnim oblastima povezanim sa kretanjem. Tu se pre svega mogu ubrojati oblasti kao što su fizička terapija, rehabilitacija, neurologija, ergonomija, sport, fizičko vaspitanje.

Procena mišićne funkcije u sportu i sportskoj medicini

- Utvrđivanje kapaciteta za vršenje različitih fizičkih aktivnosti
- Identifikacija talenata i modelovanje
- Kontrola procesa treninga i rehabilitacije
- Praćenje stanja zamora i oporavka
- Identifikacija funkcionalnih slabosti mišića (utvrđivanje faktora rizika za povređivanje)
- Identifikacija zdravstvenih rizika (kardiovaskularni rizici, osteoporoza, kancer i sl.)

Svrishodnost procene mišićne funkcije se nalazi u: (a) predikciji sposobnosti važnih za različite motorne zadatke, (b) identifikaciji specifičnih neuromišićnih nedostataka, (c) identifikaciji talenata, i (d) evaluaciji trenažnih i rehabilitacionih programa (Abernethy i sar., 1995; Wilson i Murphy, 1996; Jaric, 2002; Jaric i sar., 2002; Nevill i sar., 1998; Hogan, 1991).

Metrijske karakteristike testova- Validnost

- Meri baš ono za šta je i namenjen



Za procenu mišićne funkcije koristi se veći broj testova i protokola. Jednostavnost njihove primene doveli su do njihove široke primene u sportu, fizičkom vaspitanju, sportskoj medicini, rehabilitaciji i ergonomiji. Međutim, pre odabira testova treba imati u vidu da oni moraju da zadovoljavaju odgovarajuće metrijske karakteristike. Pre svega odabir testova za procenu bilo koje motoričkih sposobnosti treba da se vrši na osnovu validnosti i pouzdanosti testova.

Validnost bi predstavljala stepen do kojeg neki test ima mogućnost da reflektuje ili proceni neku specifičnu sposobnost koju istražvač ili trener hoće da proceni.

Metrijske karakteristike testova – Pouzdanost

- Saglasnost rezultata ponovljenih merenja



Veoma važan kriterijum za odabir testa jeste i pouzdanost testa. Ona predstavlja stepen ponovljivosti vrednosti testa, analize ili drugih merenja u ponovljenim pokušajima na istom pojedincu (Hopkins, 2000). Bolja pouzdanost predstavlja veću preciznost pojedinačnog merenja koja nam omogućava bolje praćenje promena nastale usled npr. primenjenih trenažnih programa, zatim donošenje pouzdanijih odluka koje su pod minimalnim uticajem neželjenih faktora koji mogu dovesti do grešaka.

Metrijske karakteristike testova – Objektivnost

- Objektivnost – nezavisnost rezultata od merioca



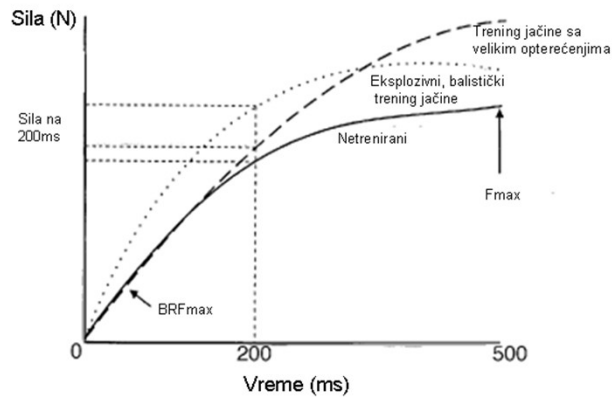
VS



Pored pouzdanosti i validnosti, ostali kriterijumi se odnose na: objektivnost koja nam pokazuje koliko su rezultati u testu nezavisni od subjektivnih faktora merioca.

Metrijske karakteristike testova – Osetljivost

- Mogućnost detekcije malih razlika



Jedna od važnih metrijskih karakteristika testa jeste mogućnost da se na osnovu ponovljenih rezultata testa utvrde akutne ili hronične trenažne i/ili rehabilitacione adaptacije, kao mogućnost da se izvrši podela između različitih populacija ljudi.

Metrijske karakteristike testova – Specifičnost

- Energetski sistemi, kretne strukture koje su zastupljene u testu iste kao i specifična aktivnost



Pored nabrojanih kriterijuma testovi treba da budu specifični odnosno da uključuju one energetske sisteme kao i kretne strukture koji su dominantni u datom sportu, zatim da budu primenljivi u datim uslovima, da nisu vremenski zahtevni itd.

Standardne metode za procenu mišićne funkcije

Izometrijski testovi



Izoinercijani testovi



Isokinetički testovi



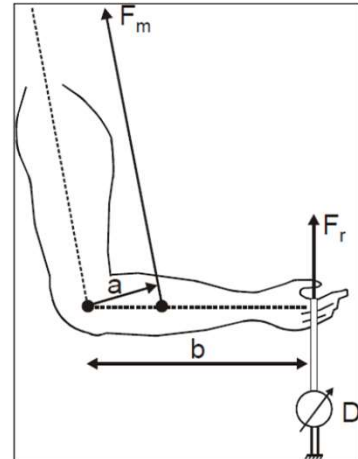
DINAMOMETRIJA (Skup metoda za procenu mišićne jačine)

zasniva se na merenju maksimalnog opterećenja (mase) ili reakcije odgovarajućeg instrumenta (merne sonde, izokinetičkog dinamometra) na dejstvo mišića ili mišićnih grupa u standardizovanim uslovima.

Dinamometrija se zasniva se na merenju maksimalne mase opterećenja ili reakcije odgovarajućeg instrumenta(merne sonde, izokinetičkog dinamometra) na dejstvo mišića ili mišićnihgrupa(protiv spoljašnjeg opterećenja) u standardizovanim uslovima.

Izometrijska testiranja

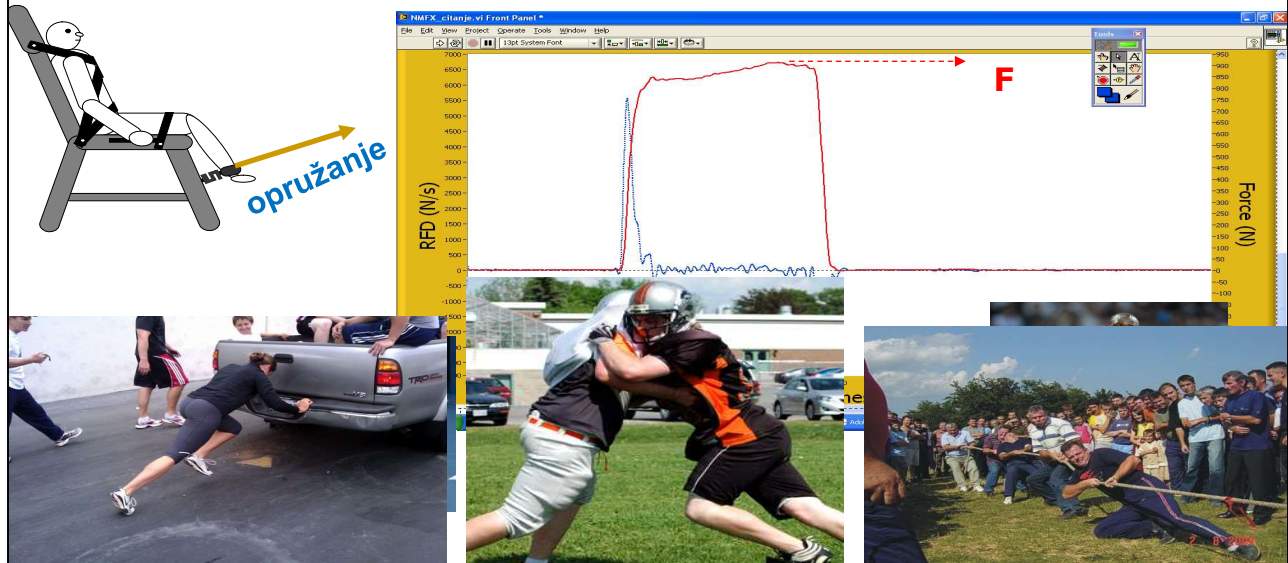
- Mišićna jačina procenjuje se uz pomoć tenziometrijske sonde (dinamometra):
 - Intenzitet mišićne sile (F_m) se procenjuje indirektno, merenjem intenziteta sile (F_r) uz pomoć dinamometra (D) ((a) i (b) su odgovarajući kraci sile)



Procedura testiranja

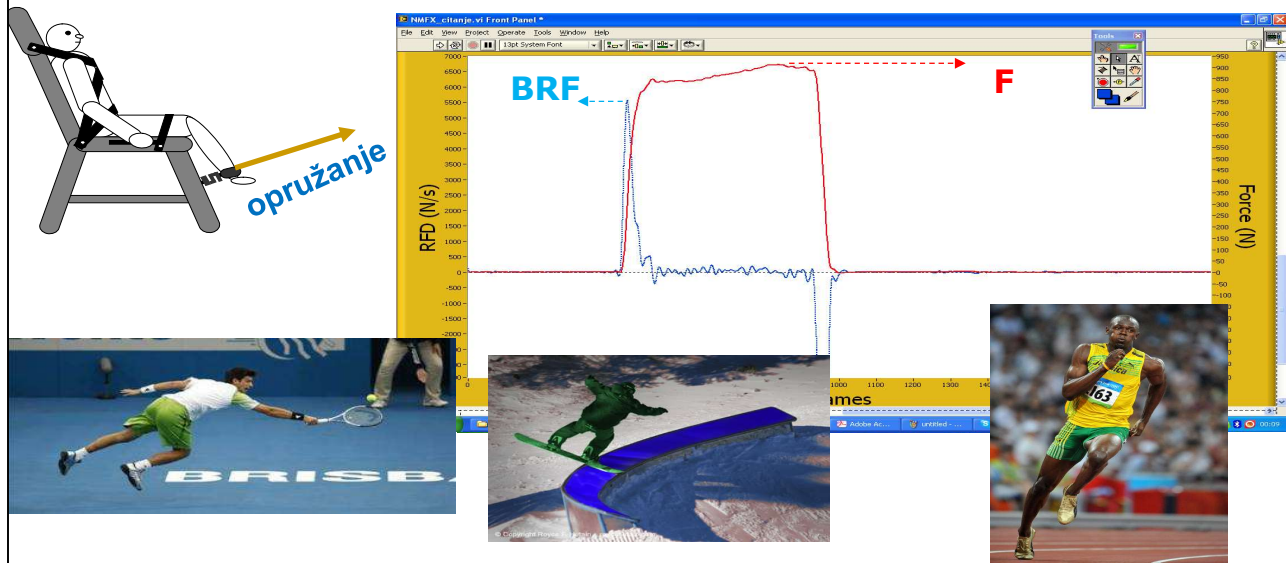
- Kalibracija dinamometra
- Podešavanja:
 - položaja ispitanika za testiranje (kontrola ugla u zglobu u kojem se sprovodi testiranje i susednim zglobovima)
 - Položaj veze dinamometra i ekstremiteta (na referentne anatomske pozicije kod jednozglobnih testiranja)
- Zagrevanje i familijarizacija ispitanika
- Specifična instrukcija (što jače i/ili što brže)
- Ukoliko je moguće obezbediti vizuelni prikaz ispoljavanja sile u realnom vremenu za ispitanika
- Dva do tri pokušaja (najbolji ili prosek za dalju analizu)

Standardni izometrijski test jačine (STJ)



Najčešće korišćeni test za procenu mišićne funkcije jeste Standardni izometrijski test jačine (STJ). Ovaj test je zasnovan na relativno dugotrajnoj maksimalnoj voljnoj izometrijskoj kontrakciji gde se maksimalna sila ostvaruje posle 3-5 s održavane kontrakcije. Očigledna validnost F_{max} je zasnovana na pretpostavljenoj sličnosti sa maksimalnom silom koju mišić može da ostvari u različitim motornim zadacima.

Standardni izometrijski test jačine (STJ)



Pored Fmax, ovim testom se procenjuje i Maksimalna brzina razvoja sile (BRFmax) koja predstavlja maksimalnu vrednost prvog izvoda sile u vremenu, odnosno predstavlja njen maksimalan nagib. BRF se generalno koristi za procenu eksplozivnih karakteristika neuromišićnog sistema kao i sposobnosti za izvođenje visoko zahtevnih zadataka sa ograničenim vremenom trajanja. Očigledna validnost BRFmax je zasnovana na činjenici da je vreme vršenja eksplozivnih i brzih pokreta i kretanja ili posturalnih korekcija, znatno kraće od vremena koje je potrebno za dostizanje Fmax (Andersen i Aagaard, 2006; Holtermann I sar., 2007; Mirkov i sar., 2004).

Primeri izometrijskih testova



Iako se često koriste, Standardni izometrijski testovi jačine (SITJ) imaju nekoliko značajnih nedostataka i ograničenja. Prvo, shema neuralne aktivacije se razlikuje za brze kontrakcije

(Desmedt i Godaux, 1977; van Cutsem i sar., 1998) i kontrakcije u kojima se sila postepeno povećava (Enoka i Fuglevand, 2001). S obzirom da su SITJ zasnovani na relativno sporim, maksimalnim kontrakcijama, oni nisu u mogućnosti da prate shemu neuralne aktivacije karakterističnu za brzo razvijanje sile koja može biti značajna za motorne zadatke ograničenog trajanja (Holtermann i sar., 2007; Mirkov i sar., 2004; Pijnappels i sar., 2005). SITJ nisu zasnovani ni na neuralnim mehanizmima za koje se veruje da su u velikoj meri odgovorni za mišićnu ekscitaciju tokom cikličnih aktivnosti (npr. centralni generator pokreta i recipročna inhibicija; Latash, 2008). Navedene činjenice dovode u sumnju validnost varijabli SITJ kada se koriste za procenu sposobnosti

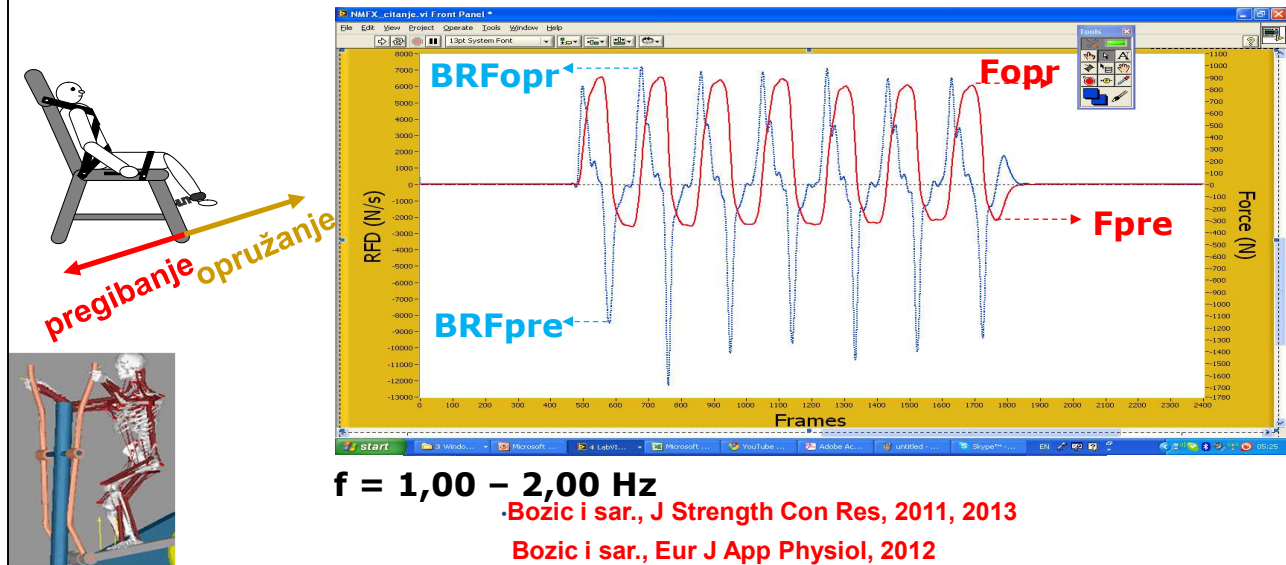
za izvođenje brzih diskretnih i cikličnih kretanja (npr. trčanje, vožnja bicikla, plivanje, skakanje, bacanje, šutiranje, posturalne korekcije i druga).

Pomenute razlike u šemi neuralne aktivacije između brzih i sporih kontrakcija utiču da različite instrukcije (npr. „razvij maksimalnu silu” i „razvij silu što brže”) mogu izazvati značajno različite efekte u vrednostima varijabli STJ - Fmax i BRFmax (Bemben i sar., 1990; Sahaly i sar., 2001). Zbog toga se predlažu odvojene serije za praćenje Fmax i BRFmax.

Brzina relaksacije ili opuštanja mišića, koja je bitna za aktivnosti u kojima su prisutne uzastopne i naizmenične aktivacije mišića agonista i antagonista (karakteristično za većinu kretanja, posebno cikličnih), često se zanemaruje i ne prikazuje kao jedna od varijabli SITJ (Andersen i Aagaard, 2006).

Značajan nedostatak se odnosi na to da ispoljavanje maksimalnih kontrakcija, karakteristično za STJ, može biti neodgovarajuće, bolno, čak i rizično za pojedine osobe, pre svega za starije, povređene i osobe sa neuromišićnim poremećajima (Wilson i Murphy, 1996).

Novi izometrijski test zasnovan naizmeničnih maksimalnim kontrakcijama



Zbog značajnih nedostataka Standardnih izometrijskih testova, postoji očigledna potreba za evaluacijom novih testova za procenu mišićne funkcije. Novi testovi bi trebalo da budu

zasnovani na relativno kratkim kontrakcijama, umerenim silama, manjem broju ponavljanja, šemi mišićne aktivacije koja bi bila slična sa prirodnim povratnim i cikličnim pokretima i kretanjima.

Na slici je prikazan jedan novi izometrijski test koji bi po kinetičkoj šemi i šemi neuromišićne aktivacije bio sličniji našim prirodnim kretanjima u odnosu na STJ. Naime, novi test je zasnovan brzim naizmeničnim promenama aktivacije antagonističkih mišićnih grupa. Konkretno test zahteva izvođenje naizmeničnih maksimalnih izometrijskih kontrakcija opružačima i pregibačima kolena. Dalje, frekvencija izvođenja naizmeničnih maksimalne kontrakcije zadaje se metronomom, a opseg u kojima se može izvoditi ovaj test odgovara frekvenciji velikog spektra naših prirodnih kretanja (kao što su hodanje, trčanje, vožnja bicikla itd). Varijable koje se prate u ovom testu obuhvataju F i BRF za mišiće opružače i pregibače u zglobu kolena.

Izoinercijalni testovi (1RM testovi)



Procena jačine podizanjem velikih opterećenja je često opisivana izotonično testiranje što bukvalno podrazumeva testiranje sa konstantnom silom. Međutim, aktuelna sila primenjena na opterećenje (masu) tokom zadatka podizanja nije konstanta zbog ubrzanja u usporenja mase tega i promena zglobnih uglova. Zbog toga verovatno bolji termin kojima bi se opisali ovi testovi bio bi izoinercijalni testovi što podrazumeva rad protiv konstatnog spoljašnjeg opterećenja (konstantano gravitaciono optrećenje). Maksimalni izoinercialni testovi jačine (1 ponavljajući maksimum) se često uzima kao mera jačine tokom testiranja sportista.

Karakteristike izoinercijalne dinamometrije

- Procena jačine preko jednog maksimalnog ponavljanja (1RM) ili indirektno predikcijom maksimuma preko submaksimalnih ponavljanja
- Za razliku od izometrijskih testova, koriste se dinamičke kontrakcije
- Omogućavaju testiranje u željenom opsegu pokreta
- Slobodni tegovi zahtevaju bolju koordinaciju (kontrola tegova)
- Manje bezbedni
- Zahtevaju dužu familijarizaciju (ponekad i obuku)
- Često neophodan iskusan pomagač

Prednost ovih testova jeste da su dinamičkih (tako da su sličniji prirodnim kretanjima), mogu se sprovoditi u specifičnim uslovima, ne zahteva skupu i softificiranu opremu. Međutim, još uvek ostaju ograničenja kod ove vrste testiranja ta da položaj, obrazac neuralne aktivacije, brzine pokreta često nije sličan mnogim funkcionalnim zadacima. Često se ovi testovi i definišu i kao kvaziizometrijski testovi. Ovakvi testovi često zahtevaju i veštinu i iskustvo ispitanika u radu sa opterećenjima.

Predikcija 1RM



1 RM—Repetition Table	
Repetitions	% 1 RM
1	100
2	95
3	93
4	90
5	87
6	85
7	83
8	80
9	77
10	75
11	70
12	67
15	65

Izokinetički testovi



- Brzina izvođenja konstantna
- Različiti režimi rada (ecc, con, iso)
- Veliki opseg brzina
- Mogućnost testiranja svih najvažnijih zglobova
- Moment sile, snaga, izvršeni rad tokom celog opsega pokreta
- Odnosi između strana tela
- Odnosi između antagonističkih mišićnih grupa
- Odnosi između različitih kontrakcija

Izokinetička procena uključuje merenje momenata sile (sila x krak) i snage u definisanom opsegu pokreta tokom kojeg se ekstremitet kreće konstantnom ugaonom brzinom (teorijski, ubrzanje je malo i neznatno). Dinamometri omogućavaju testiranje u ekscentričnim i koncentričnim režimima rada tokom velikog opsega brzina 0-500 stepeni/s. Tokom celog opsega pokreta se beleži moment sile, snaga, i izvršeni rad. Naknadnom obradom se mogu dobiti odnosi između strana tela, različitih mišićnih grupa i sl, ali se mogu i dodatno tumačiti dobijne krivljue momenata u odnosu na ugao i sl.

Jadna od prednosti ove metode u odnosu na izoinercijalne metode jeste da je pouzdanija i objektivnija (veća je kontrola brzine, pokreta, tehnike). Ipak, ograničenja ove metode jeste da je zasnovana na testiranju pojedinačnih zglobova, kretanje nije slično funkcionalnim zadacima.

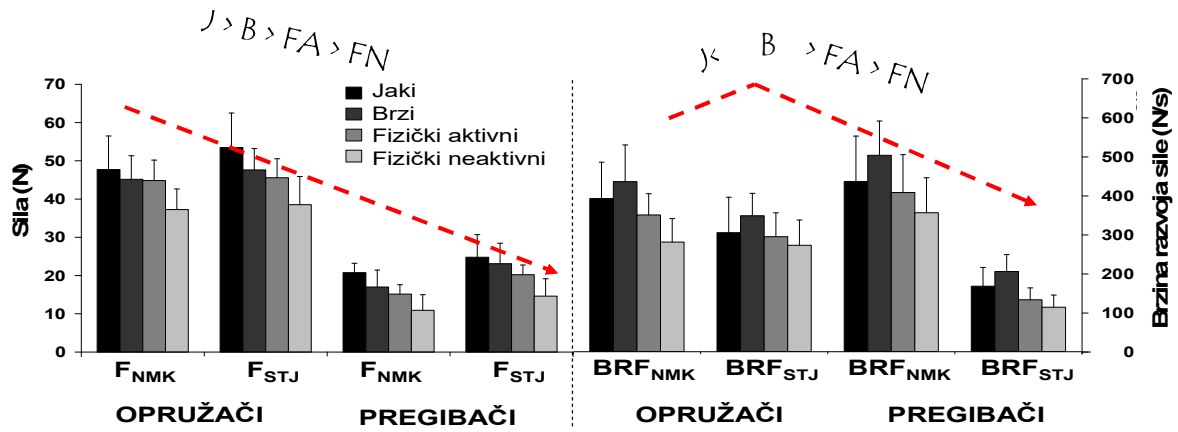
Pouzdanost standardnih testova mišićne funkcije

- Uglavnom potvrđena visoka pouzdanost, tačnost i objektivnost
(Bozic i sar., *J Strength Con Res*, 2011, 2013; Wilson i Murphy, *Sports Med*, 1996; Abernethy et al., *Sports Med*, 1995)
- Nešto manja pouzdanost BRF u odnosu na F (Bozic i sar., *Eur J App Physiol*, 2012)
- U cilju održavanja visoke pouzdanosti preporučuje se:
 - Standardizacija instrukcija testa i položaja ispitanika
 - Odvojeni pokušaji i instrukcije za procenu F i BRF (Bemben et al., *Res Q Exerc Sport*, 1990; Sahaly et al., *Eur J Appl Physiol*, 2001)
 - Familijarizacija ispitanika sa protokolima (probni pokušaji)
 - Nivo veština iskustvo ispitanika značajne kod izoinercijalnih testova (McCurdi i sar., *J Strength Con Res*, 2008)

Povezanost rezultata testova mišićne funkcije sa funkcionalnim kretanjima

- Standardni testovi jačine ne prate šemu neuralne aktivacije tipičnu za brzu produkciju mišićne sile (Van Cutsem et al., J Physiol, 1998; Enoka and Fuglevand, Muscle Nerve, 2001)
- Sposobnosti predikcije funkcionalnih kretanja mala do umerena (Wilson i Murphy, Sports Med, 1996; Abernethy et al., Sports Med, 1995)
- Izoinercijalni testovi pokazuju nešto veću spoljašnju validnost u odnosu na izometrijske i izokinetičke testove (Harris i sar., 2008)
- Razvoj novih testova mišićne funkcije (brze kratkotrajne kontrakcije, balističkih pokreti i ciklična kretanja i dr) (Bozic i sar., J Strength Con Res, 2011, 2013; Pazin i sar., 2011, Harris i sar., 2008; Wilson i Murphy, Sports Med, 1996; Abernethy et al., Sports Med, 1995)

Razlike u jačini različitih populacija



Bozic i sar., Eur J App Physiol, 2012

Razlike između različitih populacija sportista

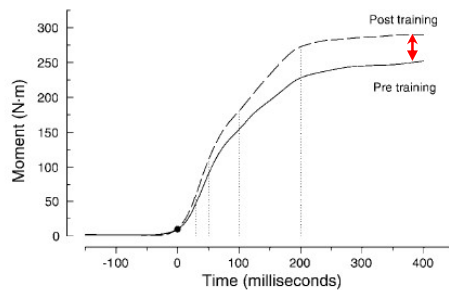
Osetljivost SSJ često nedovoljna u pravljenju razlika u homogenijem uzorcima sportista (npr. elitni-subelitni, starteri-nestarteri i sl.) (Wilson i Murphy, *Sports Med*, 1996; Abernethy et al., *Sports Med*, 1995)

Zbog sličnosti sa brojnim funkcionalnim kretanjima, testovi snage osetljiviji za razlikovanje različitih populacija ljudi (MacDugl)

Evaluacija efekata procesa treninga i rehabilitacije

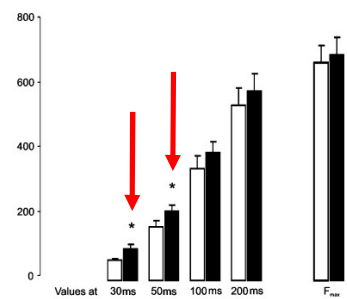
- Treninzi zasnovani na velikim opterećenjima, maksimalnoj produkciji snage ili brzim i rapidnim reakcijama imaju različite uticaje na F i BRF (Hakkinen, Acta Physiol Scand 1985)
- Osetljivost testova STJ se smanjuje ukoliko se režimi mišićnih aktivnosti primenjenih u treningu razlikuju od režima u testu (Morrissey i sar., Med Sci Sports Exerc, 1995)

Trening jačine



Aagaard i sar., J App Physiol, 2012

Trening na balans platformama



Gruber i Gollhofer, Eur J App Physiol, 2012

Evaluacija zamora i oporavka

- Smanjena sposobnost mišića da ispolji maksimalnu silu posle intenzivnih ekcentričnih kontrakcija (7-14 dana)
- Jačina mišića pregibača u zglobu kolena u većoj meri smanjena nakon specifičnih fudbalskih vežbi u odnosu na mišiće opružače (Small i sar., J Sci Med Sport, 2010)
- Funkcionalni odnos između različitih mišića može biti narušen nakon treninga i takmičenja (povećavanje rizika od povređivanja) (Delextrat i sar., Scand J Med Sci Sports, 2011)

Utvrđivanje slabosti i faktora rizika

- Kinetički lanac je jak koliko mu je jaka i najslabija karika!
- Procena mišićne funkcije može utvrditi specifične slabosti koje povećavaju rizik za povređivanje
- Primer 1: Povrede mišića zadnje lože natkolenice dešavaju se zbog (Knapik i sar., *Am J Sports Med*, 1991):
 - smanjene jačine (koncentrične, posebno ekscentrične kontrakcije),
 - neodgovarajućih odnosa sa jačinom mišića kvadricepsa
 - većih razlika u jačini kada se porede leva i desna noga i dr.
- Primer 2: Slabost i nedovoljna izdržljivost mišića rotatora u zglobu ramena mogu uticati povećanu nestabilnost zgloba (Davies i sar., *J Orthop Sports Phys Ter*, 1992)

Praktične implikacije

- Testovi jačine i snage su visoko pouzdani i omogućavaju dobijanje objektivnih i preciznih podataka
- Kontrola uslova veća nego kod testova zasnovanih na složenim kretanjima
- STJ ne mogu da prate šemu neuralne aktivacije tipičnu za funkcionalna kretanja zasnovana na brzim i/ili cikličnim mišićnim aktivnostima

Praktične implikacije

- U cilju povećavanja spoljašnje validnosti preporučuje se evaluacija novih testova zasnovanih na mišićnim aktivnostima koja odgovaraju prirodnim kretanjima
- Voditi računa da se novim testovima osim povećavanja spoljašnje validnosti održi i odgovarajući nivo pouzdanosti i preciznosti

HVALA NA
PAŽNJI!

PITANJA...?