



Vojko Strojnik,
Igor Štirn, Aleš Dolenc

Struktura moči kot izhodišče vadbe za moč

Izvleček

V članku je predstavljen pregled delovanja živčno-mišičnega sistema v povezavi s strukturo moči, ki predstavlja izhodišče za strukturiranje metod vadbe za moč. Na tej osnovi je mogoče določiti pet glavnih ciljev vadbe za moč: izboljšanje znotrajmišične koordinacije (nivoja aktivacije posamezne mišice), povečanje mišične mase, izboljšanje medmišične koordinacije v pogojih povečane obremenitve med izometričnimi in koncentričnimi naprežanji, izboljšanje medmišične koordinacije v pogojih povečane obremenitve med ekscentrično-koncentričnimi naprežanji in izboljšanje vzdržljivost v moči.

Ključne besede: živčno-mišični sistem, cilji vadbe za moč.

Strength and power abilities as a basis for strength and power training

Abstract

The paper presents neuro-muscular function related to the structure of strength and power as motor ability which constitutes a basis for structuring the strength and power training methods. According to that, five major training goals are defined: improving of intra-muscular coordination (muscle activation level), increasing muscle mass, improving of inter-muscular coordination during high-load action with isometric and concentric contraction, improving of inter-muscular coordination during high-load action with stretch-shortening cycle action, and improving strength endurance.

Key words: neuro-muscular system, goals of strength and power training.

Uvod

Moč je ena ključnih gibalnih sposobnosti za učinkovito izvajanje gibanja. V mnogih športih je rezultat neposredno odvisen od moči (meti, sprinti, skoki, alpsko smučanje ...), v drugih lahko omogoča večjo učinkovitost gibanja (teki na srednje in dolge proge), v tretjih poveča tehnične in taktične možnosti športnikov (športne igre).

Na moč lahko gledamo z vidika mehanike ali gibalnega obnašanja. V prvem primeru je moč delovanje sile pri določeni hitrosti in se izračuna kot produkt sile in hitrosti. V drugem primeru gre za področje človekovega gibalnega obnašanja, kjer je potrebno delovati proti velikemu zunanemu ali notranjemu upor. Moč kot gibalna sposobnost je tako definirana kot sposobnost učinkovitega gibalnega delovanja v prej omenjenih pogojih. V članku bo moč obravnavana kot gibalna sposobnost, razen kadar bo posebej označeno drugače.

Moč kot gibalna sposobnost ni enovita, temveč razdeljena na več podspodobnosti. Te so lahko deljene akcijsko ali topološko. Akcijsko pomeni, da se nanašajo na način izražanja moči, kamor spadajo največja moč, hitra moč in vzdržljivost v moči. Topološka delitev se nanaša na dele telesa, zato govorimo moči posameznih

delov telesa, kot so moč nog, moč rok, moč trupa ipd. Poleg teh delitev obstaja še funkcionalna delitev, ki se nanaša na funkcijo. V tem okviru delimo moč na odzivno moč, metalno moč, sprintersko moč ipd.

Izmed vseh zgoraj omenjenih delitev moči je najpomembnejša akcijska delitev. V klasičnem modelu moči, zasnovanem na statičnih analizah, so si vsi akcijski tipi moči enakovredni. Če pa jih obravnavamo iz fiziološko-biomehanskega vidika, potem je največja moč do določene nadrejena ostalima dvema podspodobnostima. Gre za to, da si posamezne podspodobnosti moči delijo nekatere skupne živčno-mišične mehanizme. Zato bo v nadaljevanju predstavljena struktura moči kot motorične sposobnosti z vidika delovanja živčno-mišičnega sistema.

Struktura moči predstavlja izhodišče za vadbo za moč, saj so posamezne metode vadbe za moč vezane na strukturo moči. Ko struktura moči izhaja neposredno iz gibalnega obnašanja (statični pristop), potem so metode vadbe za moč zasnovane na sintetičnem pristopu. V primeru izhodišč na osnovi živčno-mišičnega sistema pa bo vadba zasnovana na analitičnem pristopu. Sintetična vadba pomeni vadbo, zasnovano na analogiji obnašanja, na osnovi katerega je postavljen model moči. Tako na primer za razvoj

največje moči uporabljamo metode z največjimi bremenami, za hitro moč eksplozivna gibanja, za vzdržljivost v moči pa metode z večjim številom ponovitev in veliko utrujenostjo na koncu serije.

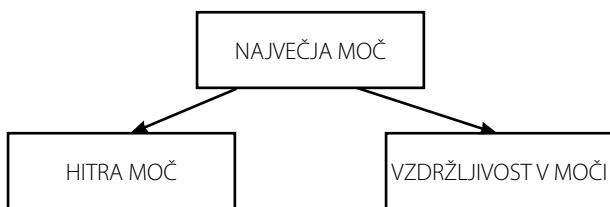
Sintetična vadba običajno omogoča dokaj zanesljivo doseganje cilja vadbe. Njena »slabša« stran je nižja transformacijska moč oziroma omejena možnost napredovanja oziroma velikosti razvoja sposobnosti. Obratno je z analitično vadbo. Poznavanje živčno-mišičnega delovanja v posameznih pogojih razvijanja moči omogoča vadbo posameznih živčno-mišičnih mehanizmov, ki jih lahko razvijemo na višji nivo kot pri sintetični metodi. Pri tem obstaja tveganje, da bomo razvijali napačne mehanizme oziroma uporabili neučinkovit način. Poleg tega bo treba posamezne analitično razvite mehanizme šele vključiti v učinkovito gibanje. Zato je možnost, da storimo napako pri analitični metodi, bistveno večja kot pri analitični metodi.

Dolgoročno je analitični pristop k vadbi za moč najbolj smiseln, saj omogoča doseganje večjega napredka na področju moči. Na osnovi poznavanja delovanja živčno-mišičnih mehanizmov je mogoče vadbo za moč bolj učinkovito vključiti v celoten koncept vadbe, tako v smislu analize potreb športnika z vidika tehnike in taktike kot z vidika postopnosti in organizacije kondicijske oziroma celotne športne vadbe. Podobno velja tudi za uporabo vadbe za moč pri posebnih skupinah oseb.

Članek je v znatni meri zasnovan po članku Schmidtblecherja (1984).

■ Struktura moči kot gibalne sposobnosti

V članku bo predstavljena fiziološko-biomehanska struktura moči kot gibalne sposobnosti (Slika 1). Ta struktura je zasnovana hierarhično z največjo močjo kot dominantno podspodobnostjo na področju moči. Velika največja moč pozitivno vpliva tako na izražanje hitre moči kot na izražanje vzdržljivosti v moči. Zato bo vadba za največjo moč vplivala hkrati na izboljšanje obeh drugih podspodobnosti. Učinki v obratni smeri so veliko manjši.



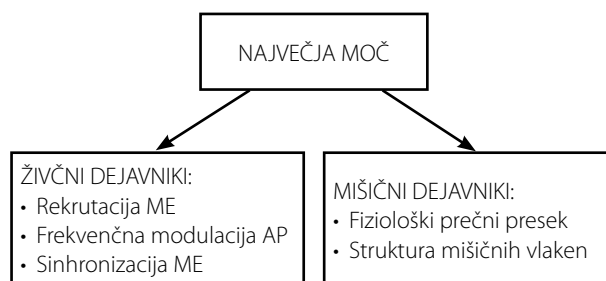
Slika 1. Struktura moči kot gibalne sposobnosti.

Vsaka od podspodobnosti pri moči bo v nadaljevanju prikazana kot specifičen način delovanja živčno-mišičnega sistema. Z vplivanjem na razvoj živčno-mišičnih mehanizmov, tipičnih za delovanje posamezne podspodobnosti, prispevamo k razvoju te sposobnosti. Ker so nekateri od teh mehanizmov skupni posameznim podspodobnostim, bo vadba hkrati vplivala tudi na te. Za razvoj posameznih živčno-mišičnih mehanizmov lahko uporabljamo različne metode vadbe oziroma stimulacije, kar poveča raznovrstnost vadb pri vadbi za moč.

Največja moč

Največja moč je sposobnost premagovati najtežja bremena. Povezana je z razvijanjem največje mišične sile med hotenim mišič-

nim naprežanjem. Največjo moč lahko delimo glede na vrsto mišičnega naprežanja na izometrično, koncentrično in ekscentrično največjo moč. Ne glede na to, da se največje sile med različnimi tipi mišičnih naprežanj razlikujejo, je glede delovanja živčno-mišičnega sistema in medsebojne povezanosti to enotna gibalna sposobnost. Glede na vrsto mišičnega naprežanja se največja moč v koncentričnih pogojih kaže v teži bremena, ki ga še lahko premaknemo, v izometričnih in ekscentričnih pogojih pa z največjo silo, ki jo lahko razvijemo. Največja sila pri izometričnem naprežanju je običajno označena kot 100 % največje mišične sile, pri koncentričnem naprežanju pa kot 1 RM (*repetition maximum*) oziroma breme, ki ga lahko dvignemo le enkrat.

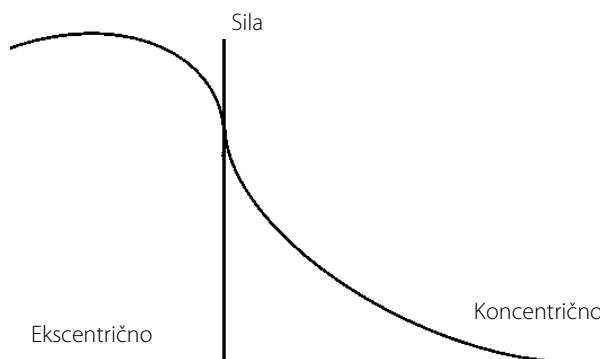


Slika 2. Dejavniki živčno-mišičnega sistema pri največji moči (ME – motorične enote, AP – akcijski potenciali).

Določanje največje ekscentrične sile je bolj zahtevno, običajno pa se pojavlja med kontroliranim spuščanjem bremena, kjer je trajanje spusta okoli 2 sekundi.

Na Sliki 2 so prikazani elementi živčno-mišičnega sistema, povezanega z največjo močjo. Od živčnih elementov so ključni mehanizmi znotraj-mišične koordinacije, kamor spadajo rekrutacija motoričnih enot, frekvenčna modulacija akcijskih potencialov in sinhronizacija motoričnih enot (Duchateau in Enoka, 2002). Med mišičnimi dejavniki pa sta pomembni fiziološki prečni presek mišice in struktura mišičnih vlaken.

Mišica predstavlja potencial za razvijanje sile. Funkcionalni prečni presek mišice je povezan z največjo silo, ki jo mišica lahko razvije. Večji, kot je funkcionalni presek mišice, večjo silo lahko mišica razvije. Specifična sila je lahko različna tako med mišicami kot med osebami. Ocene njene vrednosti pa so ocenjene okoli vrednosti 30 N/cm² (Enoka, 2008, str. 95). Struktura mišičnih vlaken ni neposredno vezana na velikost sile, saj je specifična sila hitrih



Slika 3. Odnos sila-hitrost.

in počasnih mišičnih vlaken podobna. Njihova vloga se kaže pri potencialu za povečanje mišične sile. Ker se hitrejša mišična vlakna lahko bolj odebelijo, imajo osebe s hitrejšo strukturo mišičnih vlaken možnost za večje povečanje prečnega preseka mišice in s tem posledično večji potencial za razvijanje največje moči. Funkcionalni prečni presek mišice se da ne-invazivno izmeriti s pomočjo določanja volumna mišice (slikanje z magnetno resonanco, računalniško tomografijo ...), strukturo mišičnih vlaken pa s pomočjo merjenja skrčka.

Živčni sistem določa, koliko mišičnega potenciala za razvijanje sile bo dejansko uporabljeno. Glavna mehanizma, odgovorna za mišično aktivacijo, sta rekrutacija motoričnih enot in frekvenčna modulacija akcijskih potencialov. Pri majhnih silah igra večjo vlogo rekrutacija. Začetni prirastki sile so predvsem na račun vključevanja vedno novih motoričnih enot. Frekvenca akcijskih potencialov teh enot se z večanjem mišične sile ne povečuje bistveno. Vse motorične enote se aktivirajo nekje med 60–85 % največje mišične sile (Enoka, 2008, str. 226). Nato je večanje sile odvisno od frekvenčne modulacije akcijskih potencialov in v manjši meri tudi sinhronizacije motoričnih enot. Konec rekrutacije je višji pri velikih mišicah. Tako se pri primikalki palca na roki vse motorične enote rekrutirajo že pri okoli 65 % največje sile, pri štiriglavi stegenski mišici pa pri okoli 85 % največje sile. Pri največji hoteni aktivaciji mišice je delež sinhroniziranih mišičnih vlaken okoli 5 %. Meri izkoristka mišičnega potenciala za razvijanje sile pravimo nivo aktivacije. Izrazimo ga kot % izkoristka mišice v smislu doseganja največje sile. Najpogosteje se ga izmeri s pomočjo metode vrinjenega skrčka ali vlaka dodatnih električnih impulzov.

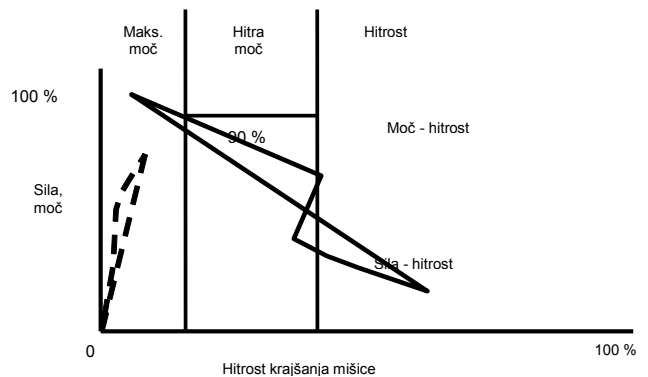
Največja koncentrična mišična sila je običajno 10–15 % nižja kot največja izometrična sila, največja ekscentrična mišična sila pa 130–150 % večja od nje (deVlugt idr., 2011). Razlog za razlike v sili med posameznimi vrstami naprežanj ni v mišični aktivaciji temveč v mišični mehaniki. Glavni dejavnik je odnos sila-hitrost (Slika 3). Pri koncentričnem naprežanju se mišična vlakna krajšajo, miozinske in aktinske niti drsijo ene mimo drugih, kar posledično zmanjša verjetnost sklepanja prečnih mostičev, hkrati pa se zmanjša tudi sila prečnih mostičev. Pri ekscentričnih naprežanjih se s hitrostjo ravno tako zmanjšuje število vzpostavljenih prečnih mostičev, vendar je smer obračanja miozinskih glavic obratna, kar prispeva k večji sili prečnega mostiča in posledično k večji skupni mišični sili. Mehanizem se imenuje togost na kratki razdalji. S hitrejšim raztezanjem mišice število prečnih mostičev upade bolj kot naraste sila prečnega mostiča, zato je sila v mišici pri hitrejšem raztezanju manjša.

Načinu mišične aktivacije pri največji moči ustrezajo velika bremena in enosklepne vaje.

Hitra moč

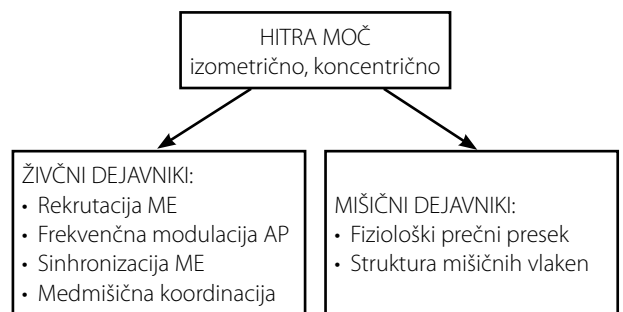
Hitra moč je sposobnost razvijanja čim večjega impulza sile v čim krajšem času. V izometričnih pogojih temu ustreza površina pod krivuljo sila-čas v prvih 200 ms, v koncentričnih in ekscentričnih pogojih pa povprečen pospešek, ki ga damo telesu ali predmetu oziroma hitrost. Za doseganje čim večje končne hitrosti je potrebno izkoristiti kinetično verigo v smislu prenosa energije med telesnimi segmenti. Če bi pogledali odnos sila-hitrost (Slika 4), potem področje hitre moči približno ustreza delu krivulje moč-hitrost, kjer je krivulja višja od 90 % svoje največje vrednosti. Gre za kombinacijo sile in hitrosti. Hitro moč glede delovanja živčno-mišične-

ga sistema delimo na izometrično-koncentrično in ekscentrično-koncentrično (Slika 6).



Slika 4. Predstavitev hitre moči v odnosu moč-hitrost.

Hitra moč v koncentričnih in izometričnih pogojih mišičnega naprežanja



Slika 5. Dejavniki živčno-mišičnega sistema pri hitri moči v izometričnih in koncentričnih pogojih mišičnega naprežanja.

Hitra moč v koncentričnih in izometričnih pogojih mišičnega naprežanja opisuje delovanje živčno-mišičnega sistema pri eksplozivnih gibanjih, ki se začnejo iz mirovanja (atletski start, skok iz počepa, ...) brez predhodnega gibanja (Slika 5). Izometrično naprežanje predstavlja izjemo, saj pri njem ne prihaja do medmišične koordinacije in prenosa energije med segmenti. Njena značilnost je posebna znotraj-mišična koordinacija, ki se glede na največjo moč bistveno spremeni.

Za čim večji prirastek mišične sile se prag rekrutacije motoričnih enot zniža celo do take mere, da se vse motorične enote aktivirajo hkrati. Tako vse hkrati začno prispevati k razvoju sile. Bistveno se spremeni tudi način proženja akcijskih potencialov. Pri počasnem naraščanju sile je na začetku rekrutacije motorične enote frekvenca akcijskih potencialov najnižja in potem postopno narašča. Pri maksimalno eksplozivni mišični aktivaciji pa se na začetku rekrutacije pojavijo najvišje frekvence akcijskih potencialov in se nato hitro zmanjšajo. Za doseganje največje mišične sile zadošča 30 Hz (počasna) oziroma 60 Hz (hitra) mišična vlakna, za največji prirastek sile v času pa se pojavljajo frekvence tudi do 400 Hz. Pri doseganju tako visokih frekvenc se v mišici pred samim začetkom aktivacije za kratek čas pojavi predgibalna tišina (Van Cutsem in Duchateau, 2005). Okoli 20 % oseb naj bi imelo tak način aktivacije prirojen. Meritve v našem laboratoriju takega % oseb ne potrjujejo, ampak kažejo na bistveno nižji delež. Pri zagotavljanju čim večjega prirastka sile igra pomembno vlogo tudi sinhronizacija motoričnih enot, saj je njihovo delovanje sinhronizirano v okoli 30 %.

Glede značilnosti mišic postane struktura mišičnih vlaken pomemben dejavnik storilnosti. Hitra mišična vlakna imajo približno 4 krat višjo hitrost krajšanja in približno 2 krat hitrejši prirastek sile. Zato je smiselno v športih, kjer je hitra moč pomembna, spreminjati strukturo vlaken v smeri hitrih. Prečni preseki mišice vpliva na hitrost prirastka sile. Mišica sicer sama predstavlja maso, ki jo je potrebno premikati, in če bi gledali z vidika posamezne mišice, potem bi ugotovili, da masa narašča na tretjo potenco, sila pa na drugo. Zato bi morala taka mišica z večanjem svojega preseka (sile) delovati proti masi, ki narašča hitreje od sile, kar pripelje do vedno manjšega pospeška, ki pa je mera eksplozivnosti. Če to velja za posamezno mišico, ne velja za celo telo. Če povečamo silo posamezne mišice in njeno maso, se to pri masi celega telesa skoraj ne pozna, pri sili pa. Zato taka mišica bolje pospeši celo telo.

Za doseganje čim večje hitrosti gibanja je pomemben prenos energije med posameznimi telesnimi segmenti, ki se zgodi po proksimalno-distalnem principu (Bobbert in van Ingen Schenau, 1988), ki je tukaj opisan na primeru skoka iz počepa. Gibanje se najprej začne z gibanjem v kolku, ko se začne dvigati trup, temu sledi iztegovanje v kolenu in na koncu v gležnju. Takšno zaporedje gibanja je posledica zaporedja aktivacije mišic. Najprej se aktivirajo iztegovalke kolka (mišice zadnje lože stegna), nato iztegovalke kolena in na koncu iztegovalke gležnja. Energijo med telesnimi segmenti prenašajo dvosklepne mišice. Za učinkovito gibanje trupa na začetku morajo mišice ustrezno stabilizirati trup oziroma zagotoviti njegovo togost, da bo sledil gibanju medenice. Pri končnem trupu se na začetku odziva iztegovalke kolka vključujejo minimalno. V nožni preši, ki je na videz podobna skoku iz polčepa v smislu iztegovanja nog in trupa, je aktivacija celotne kinetične verige hkratna. Takšna aktivacija ima pomembno vlogo glede izbire vaj (praviloma večsklepne – kinetična veriga) in velikosti bremen, ki omogočajo takšno zaporedje aktivacije.

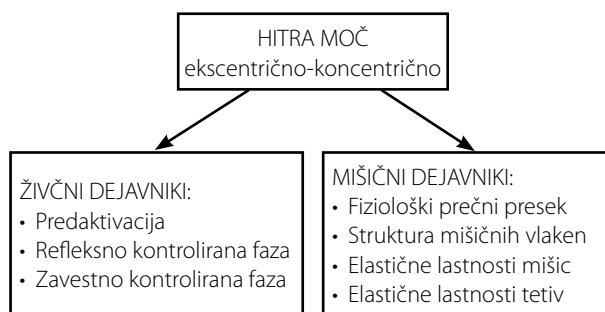
Hitra moč v pogojih ekscentrično-koncentričnega naprežanja

Glavna značilnost hitre moči v pogojih ekscentrično-koncentričnega mišičnega naprežanja je izkoriščanje elastične energije za doseganje večje hitrosti gibanja in večjo mehansko učinkovitost gibanja. Poleg tega ta način mišičnega delovanja omogoča doseganje največjih sil. Ločimo dve vrsti ekscentrično-koncentričnih akcij: z nasprotnim gibanjem in z udarcem (tipa poskok). Razlikujeta se v načinu mišične aktivacije, s katero živčno-mišični sistem kontrolira togost mišice in s tem hranjenje elastične energije v mišično-tetivnem sistemu. Elementi hitre moči v pogojih ekscentrično-koncentričnega naprežanja tipa poskok so prikazani na Sliki 6.

Pri poskokih se morajo mišice upirati sili reakciji podlage v trenutku kontakta s podlago. Da bi to nalogo lahko začele opravljati v trenutku kontakta, se morajo začeti aktivirati že pred kontaktom s podlago. Glede na pričakovano silo morajo mišice vzpostaviti ustrezno število prečnih mostičev, ki se bodo v trenutku prvega kontakta začeli upirati raztezanju mišice. Aktivacijo mišice pred kontaktom s podlago imenujemo predaktivacijo (Komi in Nicol, 2011). Njena naloga je zagotoviti začetno togost mišice na začetku raztezanja mišice. Ko se mišica začne raztezati, se vzdražijo mišična vretena, ki sprožijo refleks raztezanja. Ta refleks potrebuje 20–30 ms (glede na oddaljenost mišice od hrbtenjače) za začetek svojega pojavljanja in traja približno 90 ms. Po 120 ms od prvega kontakta je refleksne podpore konec. Če traja kontaktna faza še

naprej, se za refleksno kontrolirano fazo pojavi še zavestno kontrolirana faza aktivacije.

Začetno togost mišice določa število aktivnih prečnih mostičev v trenutku začetka raztezanja. Ko se začno miozinske glavice vrteti v obratno smer zaradi raztezanja mišice, se njihova sila poveča za do 50 %. S trajanjem zaviranja se hitrost raztezanja mišic zmanjšuje, kar pomeni, da se učinek togosti na kratki razdalji in s tem povečana sila posameznega prečnega mostiča zmanjšuje. Vendar v tem obdobju že začne učinkovati refleks na raztezanje, ki poveča število prečnih mostičev in na tak način ohranja povečano togost mišice. Velika togost mišice pomeni večjo silo za raztezanje tetive, ki na tak način shrani veliko elastične energije in jo na račun podaljševanja mišične togosti ohrani dalj časa. Ker se tetiva lahko krajša veliko hitreje kot mišica, je smiselno elastično energijo v tetivi hraniti, da bo uporabna na koncu naprežanja oziroma koncu odziva.



Slika 6. Dejavniki živčno-mišičnega sistema pri hitri moči v ekscentrično-koncentričnih pogojih mišičnega naprežanja.

Pri časovnem poteku aktivacije je potrebno upoštevati tudi elektromehansko zakasnitev, to je čas med pojavom aktivacije v mišici in njenim mehanskim učinkom. Ključno vprašanje je, koliko časa traja mehanska posledica refleksa na raztezanje. Če je konec refleksne aktivacije 120 ms po začetku kontakta s podlago, trajanje elektromehanske zakasnitve pa je okoli 30 ms, kar znese 150 ms. K temu lahko dodamo še trajanje prečnih mostičev, kar pri hitrih mišičnih vlaknih prinese še kakšnih 30 ms. To pomeni, da lahko visoko mišično togost ohranjamo okoli 180 ms od začetka kontakta s podlago. To je blizu najdaljšega kontaktnega časa, ki je še smiselno pri izvajanju poskokov in globinskih skokov.

V refleksno kontrolirani fazi aktivacije se lahko pojavi tudi golgijev tetivni refleks, ki zmanjša mišično aktivacijo in s tem mišično togost ter izgubo elastične energije. Zato je pojav tega refleksa nezadržan. Z vadbo lahko mišično silo, pri kateri se pojavi ta refleks, povečamo na nivo, da se ta refleks v normalnih pogojih sploh ne vključuje.

S podaljševanjem kontaktnega časa se začne spreminjati tudi strategija mišične aktivacije. Pri krajših časih je vzdraženost sklada alfa-gibalnih živčnih vlaken povišana, pri daljših (preko 250 ms) pa znižana oziroma se pojavi strategija dušenja. Z znižano vzdražnostjo je težko ustrezno aktivirati mišico in vzdrževati njeno togost. Dušenje periferne eferentnega sistema se pojavlja tudi pri prevelikih višinah doskoka, strahu, povečani natančnosti naloge in zahtevah po ravnotežju. Zato v takih primerih ni mogoče učinkovito izvajati globinskih skokov in poskokov oziroma gibalnih akcij tipa poskok.

Ekscentrično-koncentrične gibalne akcije tipa nasprotno gibanje imajo drugačno kontrolo mišične togosti. Ker ni zunanje sile, ki bi hipno raztegnila mišico, je celotno raztezanje in krajšanje mišice pod zavestno kontrolo. Zato se pri tem tipu mišičnega naprežanja refleksi na raztezanje ne pojavlja. Lahko pa se pojavi golgijev kitni refleksi, ki inhibira mišico. Da bi shranili čim več elastične energije v mišico, je potrebno na koncu raztezanja mišice zagotoviti ustrezno število prečnih mostičev, ki bodo raztegnili tetivo in hkrati začeli koncentrični del mišičnega naprežanja z že veliko mišično silo. Pri koncentričnem naprežanju se mišična akcija hitre moči začne z nizko silo, ki potem narašča, tukaj pa se koncentrična akcija začne z največjo silo, ki jo skakalec poskuša ohraniti čim dlje časa in na tak način ohraniti elastično energijo v tetivah do konca odrida. Z vidika delovanja celotne verige tudi pri tem gibanju velja proksimalno-distalni princip (Chiu idr., 2014).

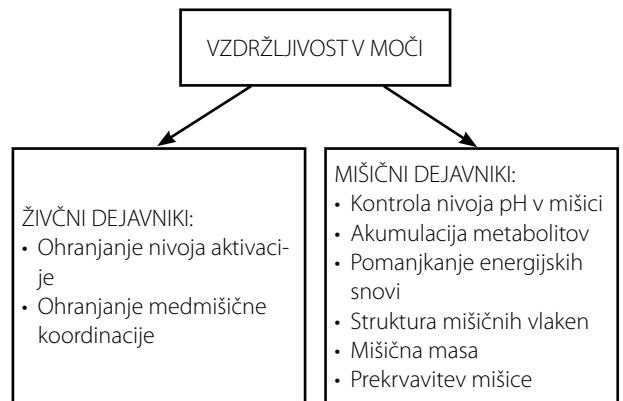
V obeh primerih ekscentrično-koncentričnega naprežanja velja, da je hranjenje elastične energije odvisno od sile na prehodu med raztezanjem in krajšanjem mišice in da mora biti odziv izveden v dovolj kratkem času, ki omogoča doseganje velikih pospeškov in s tem več shranjene elastične energije. Ekscentrično-koncentrično mišično naprežanje omogoča doseganje večjih hitrosti, večjih sil in porabi za enako delo kot koncentrično naprežanje manj energije.

Lastnosti mišice pomembno vplivajo na način izvajanja ekscentrično-koncentričnega naprežanja. Večji presek – večja sila mišice omogoča močnejše raztezanje tetive in s tem hranjenje več elastične energije vanjo. Poleg hranjenja elastične energije v tetive je mogoče elastično energijo shraniti tudi v mišice v približno enakem obsegu kot v tetivo. Bistvena razlika med mišico in tetivo je v času hranjenja elastične energije. Tetiva med gibanjem nima posebnih časovnih omejitev, mišica pa je omejena s trajanjem življenja prečnega mostiča. Ker je trajanje prečnega mostiča odvisno od strukture mišičnih vlaken v mišici, bodo za hitrejša mišična vlakna optimalnejše akcije s krajšim odrivnim časom, za počasna mišična vlakna pa z daljšim. To lastnost lahko na primer povežemo s tehnikami odrivov pri skoku v višino (*speed in power flop*), pri čemer je potrebno upoštevati tudi maso skakalca, ki mora biti v pravi kombinaciji s strukturo mišičnih vlaken (Ae idr., 2008).

Pri ekscentrično-koncentričnih mišičnih naprežanjih se pojavljajo največje sile v gibalnem aparatu, še posebej pri akcijah tipa poskok. Večina mišično-tetivnih poškodb in zakasnjenih mišičnih bolečin se pojavlja tukaj. Zato je potrebno biti pri njih še posebej previden in zahtevajo dobro predpripravo. Zaradi tega se tovrstna gibanja vključijo v vadbo praviloma na koncu pripravljalnega obdobja.

Vzdržljivost v moči

Vzdržljivost v moči je sposobnost posameznih mišic dalj časa opravljati delo v pogojih velikih obremenitev. Gre za delovanje v anaerobnih pogojih zagotavljanja energije, kjer je ključni energijski mehanizem anaerobna razgradnja glukoze in nastanek acidoze. Živčno-mišični dejavniki vzdržljivosti v moči so predstavljeni na Sliki 7. Eden ključnih dejavnikov vplivanja na velikost mišične sile in hitrost kontrakcije je stopnje acidoze (nivoja pH) mišice. Dovolj nizek nivo pH prekine mišično kontrakcijo (Fabiato in Fabiato, 1978) in deluje kot zaščitni mehanizem pred preobremenitvijo oziroma izčrpanjem. Mehanizmi, ki preprečujejo nižanje pH v mišici so zadostna obnova ATP po aerobni poti in mišični puferski sistemi.



Slika 7. Dejavniki živčno-mišičnega sistema pri vzdržljivosti v moči.

Pri vzdržljivosti v moči so ključni predvsem slednji. Vadba za vzdržljivost v moči izboljša delovanje puferskih sistemov.

Naslednji dejavnik zmanjšanja mišične sile je akumulacija metabolitov v mišici. Med pomembnejšima sta prosti fosfati (Pi) in amonij. Povečana koncentracija Pi vpliva na zmanjšanje izločanja Ca iz sarkoplazemskega retikuluma (Allen in Westerblad, 2001). Amonij iz mišic preko krvi potuje v možgane in povzroča centralno utrujenost, ki pride z zakasnitvijo (Štirn, 2009). Pomanjkanje energijskih snovi v mišici tudi vpliva na zmanjšanje mišične sile oziroma utrujenost pri visoko-intenzivni obremenitvi. Pomembna vira sta glikogen in kreatin fosfat. Z vadbo lahko njune zaloge v mišici povečamo.

V hitrih mišičnih vlaknih je anaerobna razgradnja veliko bolj intenzivna kot v počasnih. Zato v njih prihaja do bolj intenzivnih prej omenjenih procesov in večje utrujenosti. Po drugi strani pa hitra vlakna omogočajo večje opravljeno delo v anaerobnih pogojih zagotavljanja energije. Večja mišična masa predstavlja večji rezervoar energije, hkrati pa pri absolutnem bremenu omogoča delo na nižjem nivoju mišične aktivacije. Na tak način je lahko večji delež uporabljene energije iz aerobnih virov. Velikost mišične aktivacije je povezana s prekrvavitvijo mišice. Pri okoli 30 % največje mišične sile se začno žile v mišici zaradi znotraj-mišičnega pritiska ožiti in se pri približno 50 % največje sile povsem stisnejo ter preprečijo pretok krvi. To je še posebej pomembno pri neprekinjenih (tekoče ponovitve) in izometričnih naprežanjih. Zato so tovrstna naprežanja bolj učinkovita za zagotavljanje prej opisanih metaboličnih sprememb v mišici.

Med živčne dejavnike vzdržljivosti v moči spadata ohranjanje nivoja mišične aktivacije (znotraj-mišična koordinacija) in medmišična koordinacije. Motnja slednje je v prvi vrsti posledica prve. Metabolni procesi v mišici pomembno vplivajo na nivo aktivacije (Zajac idr., 2015). Kot že omenjeno, amonij povzroča centralno utrujenost. Nizek nivo pH in visok Pi v mišici zmanjša občutljivost sklada gibalnih živčnih vlaken na nivoju hrbtenjače. Možnih poti vplivanja na delovanje centralnega živčnega sistema pa je še veliko več.

Poseben vidik vzdržljivosti v moči bi lahko predstavljalo izvajanje ekscentrično-koncentričnih naprežanj. Pri njih poleg energijskih mehanizmov, kot omenjeno prej, lahko na pojav utrujenosti vplivajo tudi drugi, povezani s prevajanjem akcijskih potencialov po mišici, ki se kažejo kot visokofrekvenčna utrujenost. Tako se najprej pojavi visokofrekvenčna utrujenost, s podaljševanjem časa traja-

nja aktivnosti pa preide v nizkofrekvenčno oziroma utrujenost kot posledico metabolnih sprememb v mišici. Ker motnja prevajanja akcijskih potencialov po mišici ni posledica znižanja pH, pojava metabolitov ali pomanjkanja energije v mišice, se postavlja vprašanje, če so klasične metode za razvoj vzdržljivosti v moči učinkovite pri zmanjševanju visokofrekvenčne utrujenosti.

■ Zaključek

Moč kot gibalna sposobnost opisuje področje gibalnega obnašanja človeka. To področje je zelo raznoliko v smislu delovanja živčno-mišičnega sistema. Temu se mora prilagoditi tudi vadba za moč. Zato vadba za moč ni kar »neka vadba z velikimi bremenii«, temveč je sistem preišljenih aktivnosti, ki učinkovito vplivajo na posamezne dejavnike živčno-mišičnega sistema, opisane v tem prispevku. Z vidika prikazane strukture moči lahko določimo pet ključnih ciljev pri vadbi za moč:

- izboljšanje znotraj-mišične koordinacije (nivoja aktivacije posamezne mišice),
- povečanje mišične mase,
- izboljšanje medmišične koordinacije v pogojih povečane obremenitve med izometričnimi in koncentričnimi naprežanji,
- izboljšanje medmišične koordinacije v pogojih povečane obremenitve med ekscentrično-koncentričnimi naprežanji in
- izboljšanje vzdržljivost v moči.

Vsak od teh ciljev ima svojo skupino metod za izboljšanje moči. Njihove predstavitve so v povezanih člankih v tej številki revije *Šport* (Štirn idr. 2017; Dolenc idr. 2017).

Izbira metode vadbe za moč pomeni izbiro obremenitve, ki bo povzročila ustrezno živčno-mišično adaptacijo. Kje se bo ta sprememba zgodila, pa je odvisno od izbire vaje. S smiselnim časovnim zaporedjem in trajanjem obremenitev ter izbranih vaj, ciklizacija, bo vadba za moč postala resnično učinkovita.

■ Literatura

1. Ae M, Nagahara R, Ohshima Y, Koyama H, Takamoto M, Shibayama K. Biomechanical analysis of the top three men high jumpers at the 2007 World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics*. 2008; 23:45–52.
2. Allen DG, H Westerblad H. Role of phosphate and calcium stores in muscle fatigue. *J Physiol*. 2001; 536(Pt 3): 657–665.
3. Bobbert MF, van Ingen Schenau GJ. Coordination in vertical jumping. *J Biomech*. 1988; 21(3):249–62.
4. Chiu LZ, Bryanton MA, Moolyk AN. Proximal-to-distal sequencing in vertical jumping with and without arm swing. *J Strength Cond Res*. 2014; 28(5):1195–202.
5. de Vlugt, Erwin et al. Short range stiffness elastic limit depends on joint velocity. *Journal of Biomechanics*. 2011; 44(11):2106–2112.
6. Duchateau J, Enoka RM. Neural adaptations with chronic activity patterns in able-bodied humans. *Am J Phys Med Rehabil*. 2002; 81(11 Suppl):S17–27.
7. Enoka M. *Neuromechanics of human movement – 4th ed., Human kinetics*. 2008.

8. Fabiato A, Fabiato F. Effects of pH on the myofilaments and the sarcoplasmic reticulum of skinned cells from cardiac and skeletal muscles. *J Physiol*. 1978; 276: 233–255.
9. Komi PV, Nicol C. Stretch-Shortening Cycle of Muscle Function. V: Komi PV (ed). *Neuromuscular Aspects of Sport Performance*, 1st edition. Blackwell Publishing Ltd. 2011: 15–31.
10. Štirn I. Vrednotenje mišičnega utrujanja z analizo površinskega elektromiograma : doktorska disertacija. UL FŠ, Ljubljana, 2009.
11. Van Cutsem M, Duchateau J. Preceding muscle activity influences motor unit discharge and rate of torque development during ballistic contractions in humans. *J Physiol*. 2005; 562(Pt 2):635–44.
12. Zajac A, Chalimoniuk M, Maszczyk A, Golaś A, Lngfort J. *Central and Peripheral Fatigue During Resistance Exercise – A Critical Review*. *J Hum Kinet*. 2015; 49: 159–169. Schmidtbleicher D. Strukturanalyse der motorischen Eigenschaft Kraft. *Leichtathletik*. 1984; 50: 1785–1792.

prof. dr. Vojko Strojnik
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport
vojko.strojnik@fsp.uni-lj.si