

**UNIVERZITET U BANJOJ LUCI
FAKULTET FIZIČKOG VASPITANJA I SPORTA
BANJA LUKA**

DUŠAN PERIĆ

BORKO PETROVIĆ

ANTROPOMOTORIKA

**ZAKONITOSTI RAZVOJA MOTORIČKIH
SPOSOBNOSTI ČOVEKA**

2015.

PREDGOVOR

Knjiga koja je pred Vama obrađuje aktuelnu materiju vezanu za čovekove pokrete i kretanja objedinjene u zasebnom antropološkom prostoru označenom kao antropomotorika. Posebna pažnja je posvećena aspektima funkcionisanja čovekovog manifestnog i latentnog motoričkog prostora, kao i adekvatnim zakonitostima razvoja antropomotoričkih potencijala. Teorijske osnove antropomotorike leže u nekoliko fundamentalnih disciplina i oblasti koje izučavaju čoveka, te je teško načiniti najpovoljniji izbor literature i izložiti rezultate u obimu koji udžbenik dozvoljava. Osnovna namera autora je bila da napišu udžbenik koji će pre svega biti razumljiv studentima, trenerima, kao i svima onima koji žele da ovladaju osnovnim znanjima neophodnim za poboljšanje čovekovih motoričkih sposobnosti koje su uslov bez kojeg se ne može ostvariti vrhunski sportski rezultat. Posebno se vodilo računa o postupnom usvajanju pojmova i izgradnji znanja, čemu u mnogome doprinosi i veliki broj praktičnih primera koji mogu poslužiti kao osnova za bolje razumevanje teorijskih koncepata.

Za razliku od predhodnih izdanja ove knjige, u novom šestom izdanju izvršene su znatne izmene i dopune. Interesantno je naglasiti poslednje poglavlje knjige (Razvoj motoričkih sposobnosti) koje predstavlja dopunu predhodnog izdanja. U ovome poglavlju autori su uvažavajući zakonitosti razvoja motoričkih sposobnosti čoveka, a na osnovu svog višegodišnjeg rada u prostoru kondicione pripreme sportista, pokušali da na jasan i detaljan način sistematizuju metode za razvoj motoričkih sposobnosti.

Nakon izmene i dopune predhodnog izdanja pod naslovom Uvod u sportsku antropomotoriku, autori su smatrali da bi adekvatniji naslov ovog izdanja bio **ANTROPOMOTORIKA-zakonitosti razvoja motoričkih sposobnosti čoveka**.

A U T O R I

Sadržaj

1. UVODNA RAZMATRANJA	9
1.1. PRIRODA I ZNAČAJ LJUDSKOG KRETANJA	9
1.2. VRSTE KRETANJA	11
1.2.1. Translatorna kretanja	12
1.2.2. Rotaciona kretanja	14
1.2.3. Složena kretanja	15
1.2.4. Proizvoljna kretanja	16
1.3. POJAM ANTROPOMOTORIKE	17
1.3.1. Manifestni motorički prostor	19
1.3.2. Latentni motorički prostor	19
1.4. OPŠTI MEHANIČKI PRINCIPI HUMANE LOKOMOCIJE	33
2. MIŠIĆNA AKTIVNOST KAO SUŠTINA KRETANJA	37
2.1. ANATOMSKI PODSETNIK	38
2.2. MEHANIZAM MIŠIĆNE KONTRAKCIJE	42
2.2.1. Fizičko-hemijski aspekti mišićne kontrakcije	46
2.2.2. Gradacija mišićne sile	49
2.3. MEHANIČKI ČINIOCI U MIŠIĆNOJ KONTRAKCIJI	51
2.3.1. Odnos dužina – napetost	52
2.3.2. Odnos sila – brzina	55
2.4. VRSTE MIŠIĆNOG NAPREZANJA	57
2.5. TIPOVI MIŠIĆNIH VLAKANA	59
3. NERVNI SISTEM I MIŠIĆNA AKTIVNOST	65
3.1. NEURON I MOTORNA JEDINICA	68
3.2. PROSTA I SLOŽENA MIŠIĆNA KONTRAKCIJA	70
3.3. VREME REAGOVANJA I VREME POKRETA	72
3.4. PROPRIOCEPCIJA I KINESTEZIJA	74

3.5.	VIŠI NERVNI CENTRI I MOTORNA KONTROLA	79
3.5.1.	Piramidalni motorni sistem	79
3.5.2.	Ekstrapiramidalni sistem	81
3.6.	MIŠIĆNI TONUS I NJEGOVE KOMPONENTE	83
3.7.	UKRŠTENI I DINAMOGENI EFEKAT KONTRAKCIJE	84
4.	HEMIZAM I ENERGETIKA MIŠIĆNE AKTIVNOSTI	87
4.1.	FOSFAGENSKI ENERGETSKI IZVORI	88
4.2.	ANAEROBNI (LAKTACIDNI) IZVORI ENERGIJE	91
4.3.	AEROBNI (OKSIDATIVNI) IZVORI ENERGIJE	96
4.3.1.	Ugljeni hidrati kao gorivo oksidativnog sistema	99
4.3.2.	Masti kao gorivo oksidativnog sistema	102
5.	SPOSOBNOSTI SA MIOGENIM IZLAZOM	107
5.1.	DEFINICIJA SILE I SNAGE	107
5.2.	SILA I SNAGA IZOLOVANOG MIŠIĆA	110
5.3.	SILA I SNAGA U REALNIM POKRETIMA	113
5.4.	RELATIVNA NEZAVISNOST SILE I SNAGE	116
5.5.	FAKTORI ZNAČAJNI ZA ISPOLJAVANJE SILE I SNAGE	117
5.5.1.	Uticaj tipa mišićnog vlakna	117
5.5.2.	Uticaj arhitekture mišića	118
5.5.3.	Uticaj zamora i temperature	119
5.5.4.	Uticaj biološke starosti	120
5.5.5.	Uticaj hormonalnih mehanizama	121
5.5.6.	Uticaj treninga na silu i snagu	127
5.6.	APSOLUTNA I RELATIVNA SILA	128
6.	SPOSOBNOSTI SA ENERGOGENIM IZLAZOM	133
6.1.	VRSTE IZDRŽLJIVOSTI	134
6.1.1.	Anaerobna izdržljivost	136
6.1.2.	Aerobna izdržljivost	138
6.2.	TRANSFER OPŠTE IZDRŽLJIVOSTI	140
6.3.	ZAMOR I NJEGOV UTICAJ NA IZDRŽLJIVOST	141
7.	SPOSOBNOSTI SA NEUROGENIM IZLAZOM	145
7.1.	DEFINICIJA I VRSTE KOORDINACIJE	146
7.2.	DEFINICIJA I VRSTE GIPKOSTI	153

8. BRZINA – KOMPLEKSNO FIZIČKO SVOJSTVO	157
8.1. STRUKTURA BRZINE POJEDINAČNOG POKRETA	160
8.2. ISPOLJAVANJE BRZINE U REALNIM POKRETIMA	161
8.2.1. Vreme proste reakcije	163
8.2.2. Vreme složene reakcije	164
8.3. FAKTORI ZNAČAJNI ZA ISPOLJAVANJE BRZINE	167
8.3.1. Uticaj strukture mišića i biološke starosti	167
8.3.2. Uticaj sile i snage na brzinu	168
8.3.3. Uticaj tehnike kretanja na brzinu	170
9. SPECIFIČNA MOTORIČKA SVOJSTVA	175
9.1. APSOLUTNA, EKSPLOZIVNA I BRZINSKA SNAGA	175
9.2. IZDRŽLJIVOST U SNAZI	179
9.3. BRZINSKA IZDRŽLJIVOST	180
10. TRENAŽNI STIMULUSI I METABOLIZAM MIŠIĆA	183
10.1. EFEKTI STIMULUSA ZA POVEĆANJE SILE I SNAGE	184
10.2. EFEKTI STIMULUSA ZA POVEĆANJE BRZINE	187
10.3. EFEKTI STIMULUSA ZA POVEĆANJE IZDRŽLJIVOSTI	190
11. RAZVOJ MOTORIČKIH SPOSOBNOSTI	195
11.1. POTREBA ZA SINTETIČKIM SAGLEDAVANJEM MOTORIKE ...	196
11.2. OSNOVNI PRINCIPI RAZVOJA MOTORIČKIH SPOSOBNOSTI ...	197
11.3. METODIKA RAZVOJA SPOSOBNOSTI SA MIOGENIM IZLAZOM.....	200
11.3.1. Metodika razvoja mišićne sile	206
11.3.2. Metodika razvoja brzinske snage	214
11.3.3. Metodika razvoja eksplozivne snage	217
11.3.4. Metodika razvoja izdržljivosti u snazi	223
11.4. METODIKA RAZVOJA BRZINE	225
11.4.1. Metodika razvoja maksimalne brzine trčanja	228
11.5. METODIKA RAZVOJA SPOSOBNOSTI SA NEUROGENIM IZLAZOM.....	233
11.5.1. Metodika razvoja koordinacije	233
11.5.2. Metodika razvoja agilnosti.....	236
11.5.3. Metodika razvoja ravnoteže	243
11.5.4. Metodika razvoja preciznosti.....	244

11.5.1.	Metodika razvoja gipkosti.....	246
11.6.	METODIKA RAZVOJA SPOSOBNOSTI SA ENERGOGENIM IZLAZOM.....	251
11.6.1.	Metodika razvoja aerobne izdržljivosti	256
11.6.1.1.	<i>Intervalni trening</i>	256
11.6.1.2.	<i>Kontinuirani (neprekidni) trening</i>	260
11.6.2.	Metodika razvoja anaerobne izdržljivosti	261
	Literatura.....	263

1 UVODNA RAZMATRANJA

1.1. PRIRODA I ZNAČAJ LJUDSKOG POKRETA

Pokret, kao osnovno sredstvo i prevashodni cilj svih oblika kretnog ispoljavanja čoveka, zauzima centralno mesto u teoriji sporta. Pokret se razmatra sa različitih aspekata: anatomske, biomehaničke, fiziološke, korektivne, psihološke, pedagoške, sociološke... Potreba proučavanja ljudskog pokreta dovela je do formiranja specifične nauke – *humane lokomocije* ili *antropomotorike*.

Ljudski pokret se definiše na različite načine. Najjednostavnije određen, on predstavlja pomeranje (pomicanje) tela ili njegovih delova u prostoru. Pokret se može ograničiti na translokaciju izolovanih segmenata tela i tada se određuje kao *segmentarno kretanje* ili na transpoziciju celog tela u odnosu na okolni prostor. U savremenom sportu veoma retko se susreće segmentarno kretanje, već se najčešće radi o kompleksnom kretanju, tj. o kombinovanju pojedinačnih pokreta sa translokacijom kompletnog tela. Pokret čoveka, prema tome, naročito u sportu, je veoma složen fenomen koji zahteva multidisciplinarni pristup u izučavanju.

Posmatrano kroz istorijsku retrospektivu, kretanje čoveka imalo je različit biološki i socijalni karakter. U prvobitnoj zajednici pokret je bio osnovno egzistencijalno sredstvo. Svojim kretanjem čovek je branio goli život tražeći nova staništa, loveći, prikupljajući hranu, fizički se boreći protiv pripadnika neprijateljskih plemena. Fizička snaga, funkcionalni i motorički potencijali, tada su u mnogome determinisali kvalitet života.

Sa pojavom prvih civilizacijskih tekovina – privatne svojine koja je nastala ograđivanjem izabranih zemljišnih poseda i usavršavanjem oruđa za rad i borbu – menja se vrsta, karakter i cilj ljudskog pokreta.

Tada se javljaju i prvi oblici uvežbavanja pojedinih motoričkih radnji, pre svega u vidu obuke rukovanja pojedinim oruđima i primitivnim hladnim oružjem. Osim toga, čovek je kroteći životinje, počeo da koristi i njihovu snagu čime su se brzina i način kretanja u prostoru značajno izmenili. Više nije bilo najvažnije brzo prevaliti veću razdaljinu sopstvenim fizičkim naprezanjem. Čovek je počeo da živi udobnije i racionalnije. Efikasnost njegovih kretnih poduhvata bila je sve veća. Tako su se stvorili uslovi za pojavu viška slobodnog vremena koje je trebalo ispuniti.

Višak slobodnog vremena doneo je nove antropološke sadržaje usmerene ka zabavi i takmičenju. Veliki deo zabavno-takmičarskih aktivnosti bio je vezan za pokret, čime nastaje niz novih kretnih sadržaja. Talentovani pojedinci otkrivali su sve složenije kretne sadržaje prevazilazeći izvorne kinezičke forme tipa klasičnog trčanja, bacanja ili skakanja. Posledica ekspanzije novih kretnih sadržaja su i brojni rekviziti, kao i posebna pravila kako se oni koriste. Tako su stvoreni uslovi i za nastanak prvih sportova, a istovremeno i prvih sportskih takmičenja. Broj i kvalitet sportova se vremenom rapidno povećavao, tako da je sport danas jedna od najmoćnijih tekovina ljudske civilizacije.

Potreba čoveka za kretanjem je imanentno biološko svojstvo koje mnogi psiholozi svrstavaju u sferu bazičnih motiva, zajedno sa potrebama za hranom, pićem, snom i seksom. Savremeni čovek, međutim, sve više se suočava sa pojavom *hipokinezije* (nedovoljno kretanje), koju stručnjaci smatraju glavnim uzročnikom mnogih savremenih bolesti, od klasičnih kardiovaskularnih tegoba, do psihičkih problema u vidu neuroza i stresa.

Prema tome, prateći civilizacijske tokove, ljudski pokret je prevalio put od egzistencijalnog sredstva za odbranu života, do potpunog odsustva u svakodnevnom režimu rada i odmora. Čovek današnjice je svoje kretanje sasvim preneo u sferu slobodnog vremena (izuzimajući neke profesije koje su još uvek vezane za težak fizički rad). Ove tvrdnje, naravno, odnose se na pripadnike masovnih populacija, odnosno, na prosečne ljude. Danas, naime, egzistira i jedna velika grupa pojedinaca koja svoju profesionalnu egzistenciju i dalje vezuje isključivo za pokret i njegovo usavršavanje. To su brojni vrhunski sportisti i njihovi treneri. Ova knjiga, koncipirana kao deo udžbeničke literature namenjena je prvenstveno studentima fakulteta fizičkog vaspitanja i sporta, trenerima, sportistima i svima onima koji su uključeni u neki od mnogobrojnih oblika telesnog vežbanja, a žele da saznaju zakonitosti razvoja motoričkih sposobnosti čoveka.

Sportski rezultati determinisani su velikim brojem različitih antropoloških obeležja. Za vrhunski sportski rezultat neophodna su različita saznanja savremenih bioloških i društvenih nauka. Valjane selekcije, kao prvog preduslova za ostvarenje sportskog rezultata, nema bez medicinskih istraživanja i uključivanja genetičkog inženjeringa u tokove modernog sporta. Procena i praćenje psiholoških dispozicija danas su presudni faktori uspeha kada više gotovo da nema tajni u prostoru fizičke pripreme i farmakologije. Može se, međutim, reći da centralno mesto savremenog sporta još uvek pripada klasičnim kineziološkim fenomenima, tj. informacijama neposredno vezanim za ljudske kretne potencijale. Svi oblici ljudskog kretanja, kako manifestni tako i latentni, objedinjeni su u zasebnom antropološkom prostoru označenom kao – **antropomotorika**. Ova knjiga bavi se upravo osnovama ljudske biomotorike (antropomotorike)¹. Njen osnovni cilj je da budućim i sadašnjim (pa i bivšim) trenerima pruži osnovne informacije o suštini ljudskog kretanja i ukaže na mogućnosti njegovog usavršavanja pravilnim tretmanom brojnih latentnih motoričkih (fizičkih) dimenzija sportiste.

1.2. VRSTE KRETANJA

Složenost aparata za kretanje i bogatstvo sportskih sadržaja usloveli su veliki broj raznovrsnih oblika ljudskih pokreta. Radi sistematičnije analize, studentima je ponuđen jedan model za klasifikaciju kretanja u kojem je osnovni kriterijum oblik putanje zajedničkog težišta tela, kao i težišta pojedinih njegovih segmenata (Slika 1-1).

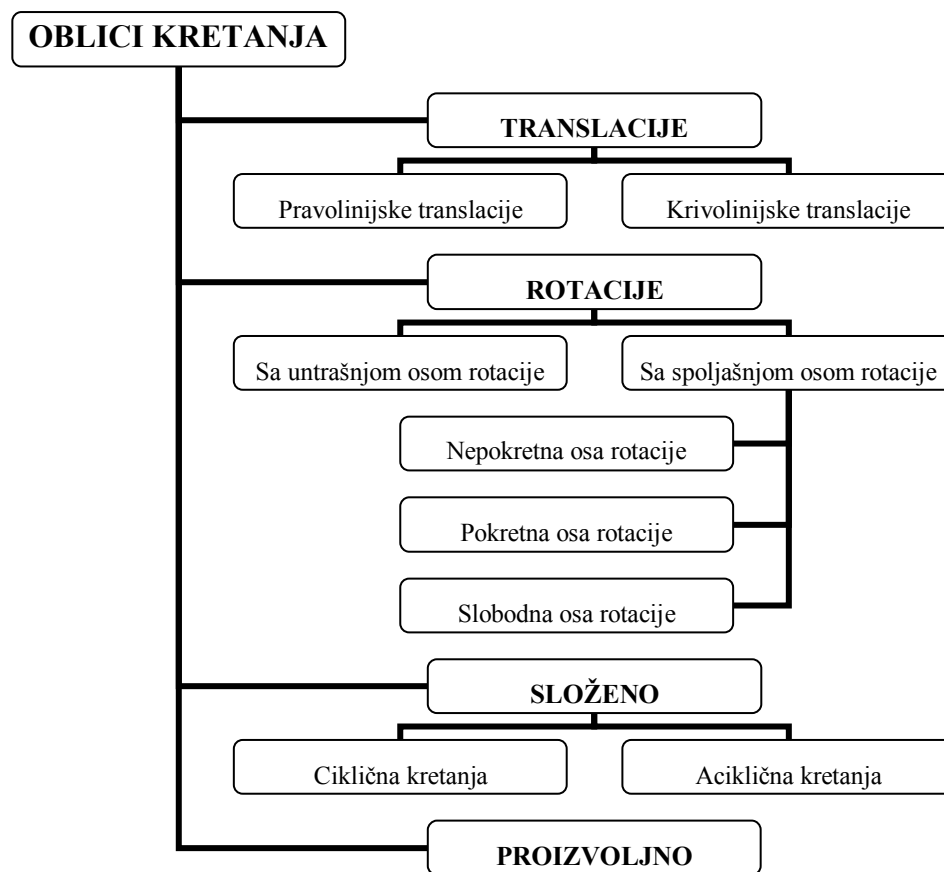
1.2.1. TRANSLATORNA KRETANJA

Translatorna kretanja su ona u kojima svi delovi tela za isto vreme prelaze isto rastojanje u istom pravcu. U zavisnosti od oblika linije kretanja (trajektorije) dobijene povezivanjem pojedinih tačaka na telu

¹ Izraz antropomotorika upotrebljava se u većini radova novijeg datuma. Ovaj pojam je u radovima starijeg datuma zamenjivan izrazima kao: *biomotorika*, *psihomotorika*, *fizička svojstva* i sl.

tokom pomeranja (translacije) celog tela u prostoru, mogu se razlikovati dve osnovne forme translacije – *pravolinijska* i *krivolinijska*.

Za pravolinijsku translaciju karakteristično je da sve tačke na telu, od početka do kraja kretanja, bilo da se nalaze na glavi, trupu ili ekstremitetima, formiraju jednu pravu liniju (Slika 1-2). Očigledno je da tačke menjaju svoj položaj u prostoru, ali ne i orijentaciju, odnosno, translatorno se mogu preslikati iz jednog položaja u drugi i to sa istim rastojanjem. Sve trajektorije dobijene pravolinijskim translacijama su paralelene linije. Ovakvi primeri se susreću u kretanjima u kojima je zastupljeno horizontalno klizanje sportiste ili rekvizita (klizanje na ledu, vožnja rolera, putanja čamca, kajaka ili kanua...).



Slika 1-1 Moguća klasifikacija kretanja



Slika 1-2 Primer pravolinijske translacije

Za razliku od pravolinijske, kod krivolinijske translacije aktualne referentne tačke na telu, za isto vreme, opisuju krivolinijske trajektorije (putanje), uz zadržavanje relativno istih prostornih međuodnosa. Umesto uzajamno paralelnog položaja, tipičnog za pravolinijske, kod krivolinijskih translacija dobijene trajektorije imaju koncentričan odnos (Slika 1-3). Primeri krivolinijskih translacija dosta se susreću kada dolazi do slobodnog pada tela pod uticajem sile zemljine teže (skijaški skokovi, skokovi u vodu, paraglajding, skok padobranom...).



Slika 1-3 Krivolinijska translacija

1.2.2. ROTACIONA KRETANJA

Rotacije su ugaone kretnje u kojima se telo kreće po kružnoj putanji, pri čemu svi delovi tela, za isto vreme, opisuju koncentrične krugove i opisuju jednak ugao u istom pravcu. Linija oko koje se odvija rotaciono kretanje naziva se *osa rotacije* i uvek je ortogonalna (pod pravim uglom) u odnosu na ravan u kojoj se pokret realizuje.

U zavisnosti od mehaničkih karakteristika i položaja ose rotacije, postoji nekoliko varijanti rotacionog kretanja. U zavisnosti od toga da li osa prolazi kroz telo ili izvan njega, postoje rotacije sa unutrašnjom i spoljašnjom osom obrtanja. Svi terminalni pokreti pojedinim ekstremitetima ili segmentima tela predstavljaju tipična rotaciona kretanja sa unutrašnjom osom zato što ona prolazi kroz centre zglobova u kojima se elementarni pokret izvodi (Slika 1-4).



Slika 1-4 Rotacija sa unutrašnjom osom obrtanja



Slika 1-5 Rotacija sa nepokretnom spoljašnjom osom obrtanja

Rotacije sa spoljašnjom osom obrtanja susreću se u izvođu raznih sportskih tehnika (u gimnastici, atletskim bacanjima, plesu i sl.). Zavisno od toga da li spoljašnja osa miruje ili je pokretna, mogu se razlikovati:

1. Rotacije sa nepokretnom spoljašnjom osom (na primer rotacije gimnastičara oko vratila – Slika 1-5)
2. Rotacije oko pokretne spoljašnje ose sa ograničenim ekskurzijama (na primer rotacije gimnastičara tokom vežbe na krugovima – Slika 1-6)
3. Rotacije oko slobodne spoljašnje ose (na primer piruete u plesu i baletu, ili rotacije bacača kladiva – Slika 1-7).



Slika 1-6 Rotacija sa pokretnom spoljašnjom osom obrtanja ograničenih ekskuzija



Slika 1-7 Rotacija sa slobodnom pokretnom spoljašnjom osom obrtanja

1.2.3. SLOŽENA KRETANJA

Usavršavanje sportske tehnike vodi ka definisanju izvesnih biomehaničkih kanona (idealnih modela) koji garantuju najefikasnije i najracionalnije kretanje. Sagleda li se struktura tih tzv. akademskih tehnika, zapaža se da većina predstavlja kombinaciju različitih translacija i rotacija. Obično se rotacijama sa unutrašnjom osom obrtanja proizvode translatorna kretanja, poput trčanja, plivanja, veslanja, vožnje bicikla (Slika 1-8) i sl. Svi takvi pokreti, nastali kao kompleksna i precizna kombinacija translacija i rotacija, u biomehanici su označeni kao *složena kretanja*. U konstituisanju složenog kretanja može istovremeno učestvovati više rotacija i više translacija.

Kada su unapred poznati kinetički model, ritam i frekvencija rotacionih kretnih stereotipa koji proizvode linearne translacije, radi se o *cikličnim složenim kretanjama* čiji su tipični reprezentivi trčanje, plivanje, biciklizam... Ukoliko su međutim, rotacioni pokreti sa prekidima i uslovljeni uticajem okoline (oblik terena, reakcija i položaj protivnika), onda je reč o *acikličnim složenim kretanjama*



Slika 1-8 Primer cikličnog kretanja

kakve se, na primer, susreću u gimnastici, skijanju, boksu, kajaku i kanuu na divljim vodama i još mnogim sličnim sportovima.

1.2.4. PROIZVOLJNA KRETANJA

Kada se telo kreće po neodređenoj nepravilnoj putanji, pri čemu svaka tačka tela prelazi različito rastojanje, po sredi je proizvoljno kretanje. Budući da trajektorije, dobijene spajanjem različitih pozicija



Slika 1-9 Primer proizvoljnog kretanja u rukometu

referentnih tačaka, nemaju pravolinijski, a ni krivolinijski oblik, dok ostvarena kretanja nema ni osobine tipične rotacije, proizvoljna kretanja se još zovu *nelinijska*. Ovaj oblik kretanja je u sportu najviše zastupljen, naročito u igrama sa loptom (fudbalu – Slika 1-9, rukometu, košarci, odbojci, tenisu...) i borbilačkim sportovima (boksu, aikidu, karateu, rvanju, džudou...).

1.3. POJAM ANTROPOMOTORIKE

Prilikom objašnjavanja nekog složenog pojma obično se polazi od etimološkog korena, budući da on često jasno ukazuje i na njegovu semantiku. Tako, u čisto jezičkom smislu, *antropomotorika* predstavlja hibrid (kovanicu) dva latinska izraza *antropos* (čovjek) i *motorika* koja se u ovom kontekstu odnosi na mehanizme kretanja. Izrazom antropomotorika se, prema tome, u najužem smislu, označava ljudsko kretanje. Šire gledano, ona predstavlja kompleksan sklop antropoloških kretnih varijabli². Kvaliteti kretnih osobnosti čovjeka otuda se često označavaju i kao *antropomotorički status* i definišu kao specifičan istraživački prostor svojstven prevashodno sportu. Ni u jednoj drugoj antropološkoj disciplini on nije opisan kao takav. Istina, u pojedinim naukama (psihologiji, biologiji, fiziologiji i sl.) govori se o nekim aspektima ljudskog kretanja (nervnim, razvojnim, funkcionalnim...), ali se jedino sport integralno bavi antropomotoričkim statusom definišući ga kao centralni problem svog izučavanja. Opservacije ostalih antropoloških obeležja (bioloških, psiholoških i drugih) u sportu se realizuje isključivo u funkciji motorike.

Odnos između antropomotoričkog statusa i ostalih antropoloških obeležja ima dvosmernu determinističku prirodu. Dok se sa jedne strane proučava uticaj različitih faktora (psiholoških, socioloških, bioloških...) na antropomotorički status, dotle se sa druge prati uticaj bavljenja sportom (i rekreacijom) na neke psihološke, socijalne ili biološke karakteristike, u vidu izvesne povratne sprege (*feed back*).

Kretno ispoljavanje čovjeka je raznovrsno i istovremeno determinisano kompleksnim latentnim faktorima. Ono se prevashodno sagledava vizuelno i često iskazuje fizičkim veličinama (dužinom hica, visinom skoka, brzinom trčanja, snagom udarca itd.). Postoje, međutim, kretna ispoljavanja nemejljiva klasičnim fizičkim merama, ali se mogu precizno opisati i iskazati pouzdanim i objektivnim numeričkim pokazateljima, tj. ocenama. Reč je o brojnim dinamičkim stereotipima koji se svakodnevno sagledavaju kroz raznovrsne elemente sportske tehnike. Manifestni oblici ljudskog kretanja (ono što se vidi) zavise od latentnih biomotoričkih dimenzija koje se ne mogu eksplicitno sagledati.

² Varijablom se označava neka promenljiva veličina. Na kvalitet ljudskog kretnog ispoljavanja utiče niz varijabilnih prediktora (snaga, brzina, izdržljivost...).

Često se kaže: „...nema dovoljno *snage* da izvede taj pokret“..., „...nije dovoljno *brza* da bi ostvarila bolji rezultat...“, „...treba biti *spretan* da bi se to izvelo...“, „...nedostaje im *preciznost* da bi pobedili...“. Pomenuti pojmovi (*snaga*, *brzina*, *spretnost*) su upravo te latentne biomotoričke dimenzije čoveka koje se ne mogu direktno izmeriti, a čije prisustvo u svim sportskim aktivnostima je neizostavno i presudno za ostvarenje dobrog rezultata (dužine hica ili skoka, brzine trčanja, jačine udarca i sl.). Prema tome, u okviru antropomotoričkog statusa čoveka moguće je razlikovati dva prostora – *manifestni* i *latentni*. Prvi podrazumeva kretno ispoljavanje dostupno vizuelnim receptorima, neposrednom merenju i ocenjivanju. Latentni prostor podrazumeva izvesne dimenzije (fizička svojstva, antropomotoričke faktore) nedostupne eksplicitnom opserviranju koje se mogu dijagnostikovati indirektnim načinima. Interesantno je da se procena oba antropomotorička prostora sprovodi manifestnim formama, tj. motoričkim testovima.

Latentni i manifestni motorički prostor su međusobno uslovljeni i nekada je teško napraviti jasnu granicu. Njihov odnos je čest predmet kinezioloških istraživanja (koliko, na primer, *snaga*, a koliko tehnika utiče na brzinu trčanja; koliko izvođenje gimnastičkih elemenata zavisi od *snage*, a koliko od koordinacije; da li se, i koliko, upražnjavanjem određenog sporta podiže nivo pojedinih fizičkih svojstava...). S druge strane, izučavaju se mehanizmima preko kojih određeni sport utiče na transformisanje pojedinih antropomotoričkih dimenzija.

Manifestni motorički prostor se u neposrednoj praksi zamenjuje pojmom *motorika* (nekad i *antropomotorika*). Latentni motorički prostor, zavisno od autora, označava se različitim izrazima, a najčešće figuriraju: *biomotoričke sposobnosti* (Opavski, 1982), *latentne motoričke dimenzije* (Momirović, 1970, 1972; Kurelić i sar., 1975), *fizička svojstva čoveka* (Zaciorski, 1975) i *antropomotoričke dimenzije* (Kukulj i sar., 1993). Teško je reći koja je najpodesnija i koju bi trebalo upotrebljavati. Uglavnom se ova pitanja svode na čisto terminološke rasprave koje za materiju prezentiranu u ovoj knjizi nisu od presudnog značaja, pa se studentima preporučuje ravnopravna upotreba svakog od pomenutih naziva.

1.3.1. MANIFESTNI MOTORIČKI PROSTOR

U manifestnom motoričkom prostoru čoveka mogu se razlikovati raznovrsne kretne forme. Biološki posmatrano, sve se dele na (1) filogenetske i (2) ontogenetske.

Filogenetski oblici kretanja (poput puzanja, hodanja, trčanja) svojstveni su svim pripadnicima iste biološke vrste, dakle svim ljudima, a njihov razvoj je genetski određen i odvija se unapred utvrđenim tokom.

Ontogenetski oblici kretanja se razvijaju tokom života i specifičnost su svake jedinice. Reč je, naravno, o složenijim oblicima kretanja stečenim učenjem, kao što su plivanje, vožnja bicikla, skijanje, baratanje loptom i td. Proces usvajanja ontogenetskih oblika kretanja se označava kao *motorno učenje*.

Iako su filogenetski uključeni u gotovo sve kretne aktivnosti, centralno mesto u istraživanju sporta ipak pripada ontogenetskim oblicima kretanja. Neke filogenetske kretnje, poput hodanja i trčanja, su međutim glavni sadržaji većine sportova. U fudbalu igrači preko 80% vremena na terenu provedu u trčanju, a daleko manje u kontaktu sa loptom, dok su u atletici brojne discipline zasnovane isključivo na trčanju ili hodanju. Zbog velike prisutnosti ontogenetskih kretnji u sportu, velika pažnja se posvećuje njihovom usavršavanju. Tako se kvalitetnim treningom mogu usavršiti tehnika trčanja ili brzog hodanja. Ipak, trčanje (i hodanje) ostaju tipični filogenetski oblici kretanja, bez obzira na njihovo biomehaničko usavršavanje. Čovek danas raspolaže daleko većim brojem ontogenetskih nego filogenetskih radnji. Osim toga, prostor za uvećanje broja ontogenetskih radnji je trajno otvoren. Najveći broj sportskih pokreta, sa ili bez rekvizita, smislio je čovek u toku ontogenetskog razvoja, pa će se njihov broj i u buduće verovatno još uvećavati.

1.3.2. LATENTNI MOTORIČKI PROSTOR

Latentni motorički prostor čoveka je veoma složen kompleks dimenzija. Sastoji se od niza faktora koji egzistiraju u biomotoričkom prostoru utičući na specifične sposobnosti pojedinca. Osnovni problem istraživača prilikom opservacije latentnog motoričkog prostora čoveka je definisanje broja i vrste dimenzija (biomotoričkih sposobnosti) koje ga

sačinjavaju. Realizovan je veliki broj istraživanja sa takvim ciljem, ali konačni model još nije definisan. Otkriveno je veoma mnogo raznovrsnih biomotoričkih sposobnosti (antropomotoričkih dimenzija), čak je teoriji ponuđeno i nekoliko, naizgled, stabilnih modela (Kurelić i sar., 1975; Zaciorski, 1975; Dukovski, 1984; Perić, 1991). Ipak, još uvek se ne može da govori o konačnom modelu latentne motoričke strukture čoveka. Problem se komplikuje i time što neki autori iste pojmove obeležavaju različitim imenima pa je broj otkrivenih dimenzija prešao okvire realnosti. U nemogućnosti da ponude konačan i sveobuhvatan model, istraživači se koriste vrlo raznovrsnom terminologijom. U praksi se, međutim, još uvek najčešće upotrebljavaju klasični nazivi: snaga, brzina, izdržljivost, koordinacija, gipkost, preciznost itd. Od esencijalnih, autori su izveli specifične pojmove tipa: brzinska izdržljivost, brzinska snaga, snažna brzina...

Kao izvesna istorijska retrospektiva formiranja antropomotoričkih pojmova, u ovom odeljku ponuđeno je nekoliko modela, bez namere da koji dobije prednost. Osnovni kriterijum prilikom izbora latentnih dimenzija bi je da su otkrivene egzaktnim istraživanjem i primenom adekvatne metodologije, na reprezentativnom uzorku uz pomoć valjanih procedura faktorske analize. Zbog velikog broja različitih modela, može se zaključiti da struktura latentnog motoričkog prostora prevashodno zavisi od prirode uzorka ispitanika – njihovog uzrasta, pola i nivoa treniranosti. Ustanovljeno je da među različitim uzrastima postoje značajne razlike, kao i među pripadnicima različitog pola iste uzrasne grupe. Najveće razlike su ipak utvrđene između ispitanika različitog nivoa treniranosti. Tako su specifičnu latentnu strukturu imala deca, rekonvalescenti, mlade žene, stariji rekreativci, vrhunski fudbaleri, vrhunski atletičari i tako redom. Među vrhunskim sportistima su češće dobijane složenije strukture sa većim brojem latentnih dimenzija. Kod njih su ekstrahovane neke specifične sposobnosti kojih među populacijom nesportista ili rekreativaca uopšte nije bilo. Istraživanja ukazuju da se, po svemu sudeći, može izvesti pravilo: što su sportisti kvalitetniji, latentna motorička struktura im je složenija.

Uprkos mnogim, različito imenovanim biomotoričkim svojstvima, u latentnoj motoričkoj strukturi svakog čoveka egzistiraju neke osnovne (*esencijalne*) biomotoričke sposobnosti. Pretpostavka je da se one rastom i razvojem diferenciraju pa ne čude različite strukture u različitim uzrastima. Perić (1991) je ispitujući latentni motorički prostor dece

predškolskog uzrasta utvrdio postojanje generalnog i jednog specifičnog faktora motorike koga je označio kao mehanizam za kinestetsku skladnost ekscitacije motornih jedinica. Specifični faktor je doveden u vezu sa finom motorikom s obzirom na to da je ukazivao na rudimente budućih složenijih, fino izdiferenciranih motoričkih svojstava. Iz generalnog se, po svemu sudeći, razvijaju ranije pomenute esencijalne biomotoričke sposobnosti. Utvrđeno je i to da se već u ovom uzrastu pojavljuju razlike između biomotoričkog statusa dečaka i devojčica.

Prvi pokušaji dijagnostikovanja latentnih motoričkih dimenzija su vezani za konstrukciju motoričkih testova, a među prvim baterijama je ona sa šest motoričkih zadataka koju je konstruisao D.A. Sargent pod nazivom „Univerzalni test snage, brzine i izdržljivosti ljudskog tela“ (prema Kureliću i sar., 1975). Kasnije konstruisane baterije za merenje fizičkih sposobnosti se najčešće vezuju za osvajanje znački različitog stepena vrednosti (skandinavske, sovjetske, nemačke) ili za čitave nacionalne projekte (američki Physical Fitness). Metodološki najvredniji izvor istraživanja latentnog motoričkog prostora, koja su trasirala dalji istraživački put, su egzaktni pokušaji kvantifikovanja ljudske motorike uz primenu faktorske analize³. Ta orijentacija je vezana preventivno za radove McCloy-a: „Merenje generalnog motoričkog kapaciteta i generalne motoričke sposobnosti“ (1934), „Metode faktorske analize u merenju fizičkih sposobnosti“ (1941) i „Testovi i merenja u zdravstvenom i fizičkom vaspitanju“ (1942), posle kojih sledi čitava serija istraživanja usmerenih ka identifikovanju latentnih motoričkih dimenzija.

Eksplozivnu snagu su ekstrahovali Haris (1937) kod devojaka srednjih škola, Rarick (1947) u analizi faktora brzine u jednostavnim atletskim aktivnostima, Hutto (1938) prilikom merenja faktora brzine i snage kod srednjoškolaca, McCloy (1940) u radu o merenju brzine u motoričkim dostignućima, Carpenter (1941) u razmatranju odnosa faktora brzine, snage i težine prema atletskim dostignućima, a Seashore (1942) razmatrajući odnose između finih i grubih motoričkih

³ **Faktorska analiza** je složena multivarijantna statistička procedura koja se koristi za ekstrahovanje latentnih dimenzija iz nekog antropološkog prostora. Tako se baterija od 20 do 30 motoričkih testova može svesti na samo četiri ili pet latentnih motoričkih dimenzija. To praktično znači da se na jedno fizičko svojstvo odnosi više različitih testova. Faktorskom analizom moguće je izvršiti redukciju tih testova i praksi ponuditi onaj koji nosi najveću količinu informacija o posmatranoj dispoziciji.

sposobnosti. *Dinamičku snagu* su identifikovali Metheny (1938) u studijama Džonsonovog testa i testa motorne edukabilnosti, Larson (1941) u faktorskim analizama varijabli snage i valjanosti testova, odnosno, u faktorskim analizama varijabli i testova motoričkih sposobnosti studenata. *Statičku snagu* identifikovali su Rarick (1947) raspravljajući i o topološkim faktorima snage, Larson (1941) i Carpenter (1941). U prvim pokušajima određivanja latentne antropomotoričke strukture konstatovan je i *faktor brzine*, preciznije faktor brzine sa promenom pravca koga su Wendler (1938), McCloy (1940) i Larson (1941) nazvali i *agilnošću*. Wendler je u kritičkoj analizi testova primenjivanih u fizičkom vaspitanju izolovao i faktor *brzine trčanja* (sprinterske brzine) sagledavši njegovu korelaciju sa dinamičkom snagom. Prostorom *ravnoteže* prvi se bavio Bass (1939) koristeći faktorsku analizu kao glavni statistički metod obrade podataka. Analizirajući komponente testova u vezi sa ulogom semicirkularnih kanala vestibularnog aparata, u testovima *statičke i dinamičke ravnoteže*, pokazao je da sposobnost održavanja ravnoteže zavisi i od toga da li su oči zatvorene ili otvorene. Prostor *koordinacije* je od samog početka bio veoma sporan. Neki njegovi faktori su izolovani, ali slabo definisani. Wendler (1938) i Larson (1941) su izolovali tzv. faktor grube telesne koordinacije. McCloy (1941) i Metheny (1938) su izolovali faktor nazvan sposobnost učenja motornih veština (*faktor motorne edukabilnosti*). McCloy je smatrao da on reprezentuje izvesnu sinergiju i usklađenost velikih mišićnih grupa.

Nakon drugog svetskog rata su proširena istraživanja antropomotoričkih sposobnosti, posebno za potrebe američke vojske i mornarice. Flajšman (*Fleishman*) je u nizu tako finansiranih istraživanja napravio veliki korak. Radovi Terstona (*Thurston*) o multiploj faktorskoj analizi (1947) i Kajzera (*Kaiser*) o Varimax kriterijumu za analitičke rotacije u faktorskoj analizi (1958) su od neprocenjivog značaja za unapređenje metodologije istraživanja biomotoričkih sposobnosti. Istraživanja iz tog perioda su potvrdila postojanje ranije utvrđenih biomotoričkih sposobnosti i otkrila nove stvarajući na taj način prostor za jasno definisanje esencijalnih biomotoričkih sposobnosti – *snage, brzine, gipkosti, ravnoteže, koordinacije i izdržljivosti*. Kako je većina pomenutih antropomotoričkih sposobnosti imala veoma složenu strukturu, u okviru svake od njih je identifikovano nekoliko subfaktora (specifičanih vidova esencijalne sposobnosti). Tako su u okviru snage

izdvojene eksplozivna, dinamička, statička, repetitivna i još neki specifični vidovi.

Faktor *eksplozivne snage* je najčešće identifikovan. Posebno su interesantna istraživanja Brogden i sar. (1952) o hijerarhijskoj strukturu faktora eksplozivne snage i Cumbee i Haris (1953) o topološkoj separaciji faktora eksplozivne snage ruku i nogu. U gotovo svim radovima se pominje i faktor *dinamičke snage*, a u okviru njega je izolovan i topološki subfaktor dinamičke snage trupa (Philips, 1949; Fleishman i Hempel, 1956). Pokušaji Brogden i sar. (1952) da dalje ekstrahuju topološke faktore nižeg stepena opštosti, na primer podfaktor dinamičke snage ekstenzora i fleksora, nisu uspeli. *Statička snaga* je jasno identifikovana u većini studija (Philips, 1949; Sills, 1950; Henry, 1960). Propali su, međutim, pokušaji ekstrahovanja nižih subfaktora. Nicks (1960) je dinamometrijskim testovima ukazao na faktorsku kompleksnost statičke snage, ali nije uspeo da je definiše do kraja. Simons (1969) je faktorizacijom baterije motoričkih testova na uzorku dvanaestogodišnjih dečaka izdvojio čak šest faktora snage od kojih su samo dva dobro definisana – *funkcionalna* i *statička snaga*.

Esencijalno fizičko svojstvo čoveka, brzina i njene manifestacije, ekstrahovana je u mnogim radovima. Brzina udova, ili *segmentarna brzina*, je identifikovana u istraživanjima Cumbee (1953), Fleishman i Hempel (1956), Cumbee i sar. (1957). *Sprinterska brzina* je identifikovana kao subfaktor u nekoliko radova (Silss, 1950; Cousins, 1955; Highmore, 1956; McCloy, 1956), kao i *brzina promene pravca* (Cumbee i Haris, 1953).

I u prostoru *gipkosti* (*pokretljivosti*, *fleksibilnosti*) je utvrđeno nekoliko subfaktora, ali za razliku od do sada navedenih antropomotoričkih sposobnosti, nije utvrđen jedinstven faktor. To znači da gipkost ne egzistira kao samostalna esencijalna sposobnost. Faktorska kompleksnost gipkosti je potvrđena u više radova. Fleishman i Hempel (1956) govore o dva faktora: *fleksibilnosti udova* i *fleksibilnosti trupa*. Kasnije Fleishman (1964) ekstrahuje i definiše *ekstendiranu* i *dinamičku fleksibilnost* (gipkost u smislu sposobnosti izvođenja pojedinačnog pokreta sa najvećom mogućom amplitudom i gipkost ponavljajućih brzih pokreta savijanja). U drugoj dimenziji je očigledna povezanost sa repetitivnom snagom i brzinom. Haris (1969) je našao da je čak dvanaest faktora fleksibilnosti odgovaralo topološkoj podeli svojstva gipkosti.

Područje *ravnoteže* je razdvojeno u *statičku i dinamičku ravnotežu* koju Fleishman i Hempel (1956) nazivaju ravnotežom ekvilibrijuma i ravnotežom dostignuća. Cumbee, Mayers i Peterson (1957) su izolovali i faktor balansiranja objektima koji su u kasnijim istraživanjima potvrdili Ismail i Cowell (1961). Ismail i Gruber (1967) su istražujući odnos motoričkih sposobnosti i intelektualnih dostignuća na uzorku učenika i učenica od 10 do 13 godina, identifikovali generalni faktor ravnoteže kod dece oba pola bez obzira na inteligenciju (nisku, srednju i visoku). Faktore statičke i dinamičke ravnoteže (balansiranja) sa predmetima, međutim, našli su samo u nekim grupama.

Veliki broj istraživanja odnosi se na najsloženiju latentnu motoričku dimenziju – *koordinaciju*. Uprkos značajnim saznanjima do kojih se došlo, još uvek ima dosta neobjašnjenih detalja. Fleishman je u nekoliko istraživanja (1956, 1958) identifikovao faktor nazvan koordinacija više udova (*Multilimb Coordination*) koji definiše sposobnost koordiniranog simultanog kretanja ruku i nogu u posebnim motoričkim zadacima. Postojanje faktora telesne koordinacije potvrdila su istraživanja Cumbee (1954), kao i Fleishman i Hempel (1956). Fleishman i sar.(1961) očekivali su da će izolovati izvesnu grubu koordinaciju tela, koju su hipotetski označili kao *agilnost*, u jednom istraživanju za potrebe američke mornarice. Takav separatan faktor ipak, nisu izdvojili. Testovi kojima je trebalo da ga ekstrahuju bili su više povezani sa dinamičkom gipkošću i eksplozivnom snagom. Fleishman (1964) je ukazao na postojanje većeg broja parazitarnih faktora u testovima koordinacije koje je koristio u prethodnim radovima i sugerisao konstruisanje novih kojima bi uticaji drugih faktora motorike (snage, gipkosti i td.) bili svedeni na minimum.

U nekim istraživanjima je ekstrahovana i latentna motorička dimenzija označena kao *izdržljivost*. McCloy (1956), Barry i Cureton (1961) su, međutim, mišljenja da ovaj faktor više ukazuje na razliku između kratkog i istrajnog trčanja preko Drip of index-a, na primer, te da ne predstavlja toliko izdržljivost koliko specifičan faktor trčanja. Brogden i sar. (1952), Cousins (1955), Ismail i Cowell (1961) identifikovali su faktor *kardiovaskularne izdržljivosti*. Carlson (prema Kureliću i sar., 1975) je nasuprot kardiovaskularnoj govorio o *mišićnoj izdržljivosti* pokušavši da je identifikuje u jednom istraživanju sa studentima. Našao je da se tri grupe različitih nivoa sportskog dostignuća značajno razlikuju u snazi, ali ne i izdržljivosti merenoj izometrijskim naprezanjem. Ni

Posker (1967) u opsežnom istraživanju na češkoj omladini (primenom faktorske analize) nije uspeo do kraja da definiše faktor izdržljivosti uprkos tome što ga je pouzdano izolovao kao specifično fizičko svojstvo. Prema tome, izdržljivost kao stabilna (samostalna) antropomotorička sposobnost, nije egzaktno utvrđena. Po svemu sudeći ona ipak postoji. U praksi se o njoj često govori, ali je očigledno zasićena brojnim drugim faktorima, naročito psihološke prirode. Sposobnost obavljanja izvesnog rada u dužem vremenskom intervalu, naime, determinisana je voljom i motivacijom ispitanika.

Prva istraživanja latentne motoričke strukture u nas obavljena su bez primene faktorske analize. Bila su to merenja izvesnih manifestnih varijabli studenata (Mihovilović i sar., 1948), mladih vojnika takmičara (Mejovšek, 1950) i srednjoškolske omladine Beograda i Niša (Polić, 1955) i sva su realizovana u obliku transverzalnih studija. Longitudinalni pris-tup prvi je primenio Kurelić (1957) prateći uticaj telesnog vežbanja na izvesne fizičke sposobnosti i razvoj studenata Fakulteta fizičke kulture. Najmasovnije istraživanje sposobnosti školske omladine nekadašnje Jug-oslavije izvršili su 1962. godine Polić i saradnici na uzorku od 68.000 učenika i učenica uzrasta od 7 do 19 godina primenivši osam testova, bez prethodnog utvrđivanja njihovih metrijskih karakteristika. Rezultate su objavili u dve brošure Jugoslovenskog zavoda za fizičku kulturu (1964 i 1965) i izradili tablice za ocenjivanje fizičkih sposobnosti školske populacije. Lokalna istraživanja ove vrste (bez primene faktorske analize) na manjim (hotimičnim i prigodnim) uzorcima publikovalo je i nekoliko nastavnika fizičkog vaspitanja.

Zahvaljujući poukama izvučenim iz nedostataka ovakvih ispitivanja, od 1958. godine počinju obilato da se koriste iskustva drugih nauka, pre svega iz psihologije. U izučavanju motoričke strukture čoveka intenzivno se koriste faktorska i regresiona analiza i ispituje validnost i pouzdanost motoričkih testova. Momirovići sar., (1958) su izvršili faktorsku analizu deset terenskih testova „fizičke kondicije“ i na osnovu dobijenih rezultata izrazili sumnju u postojanje fizičke kondicije kao generalnog faktora ljudske motorike. Isti autori (1960) su uradili faktorsku analizu kombinovanog mišićnog testa primenjivanog za proveru *kondicije* u Jugoslovenskoj vojsci i pokazali da on meri pet različitih sposobnosti koje bi mogle predstavljati *snagu* i *izdržljivost* pojedinih mišićnih grupa. Miler (1963) modifikovanom multigrupnom metodom uspeva da izoluje iz baterije od deset testova fizičke kondicije

tri faktora: faktor *fizičke snage, kardiovaskularne stabilnosti i brzinske izdržljivosti*. Pokušaj pronalaženja generalnog faktora koji bi nazvao *fizičkom kondi-cijom* nije urodio plodom. Šturm (1969) organizuje istraživanje s ciljem utvrđivanja strukture snage. Na uzorku od 65 studenata fakulteta fizičke kulture vrši procenu dvanaest hipotetskih varijabli nameravajući da proveri pretpostavku o akcionoj i topografskoj determinaciji faktora snage. Hipotetski faktor *statičke snage* definisan je testovima izdržaja u položajima koji traže lokalno naprezanje muskulature ekstremiteta i trupa; *eksplozivna snaga* je definisana skokom, udarcem ruke i bacanjem medicine; *repetitivna snaga* ponavljajućim pokretima ekstremiteta i trupa u cilju savladavanja otpora. Rezultati ovog istraživanja su pokazali da je jedino faktor eksplozivne snage nezavisan od topološkog kriterijuma, a da su svi ostali prevashodno topološki određeni. Koristeći se sličnom metodologijom, Gabrijević (1966) je izolovao četiri faktora među kojima jedan generalni faktor snage i jedan faktor eksplozivne snage. Četiri godine kasnije Šturm (1970) opsežnije istražuje faktorsku strukture motorike. Na uzorku od 192 dečaka i 197 devojčica mlađeg školskog uzrasta primenjuje bateriju od 28 testova fizičkih sposobnosti i uspeva da ekstrahuje četiri nova faktora – eksplozivnu snagu, repetitivnu snagu, repetitivnu snagu trupa i brzinu. Pored zajedničkih, kod dečaka je uočio kao primaran *faktor sprinta*. Kod osmogodišnjih dečaka i devojčica ekstrahovan je faktor *ravnoteže*. Utvrđeno je da iste faktore u svim grupama ne definišu isti testovi. Rezultati testova nisu uvek zavisili od istih funkcionalnih struktura, što pokazuje da je faktorska struktura veoma nestabilna tokom razvoja dece. Slična istraživanja sproveo je i Momirović i sar. (1970-a i 1970-b). Na uzorku od 194 učenika i 151 učenice od 15 do 18 godina izvršio je faktorsku analizu četrnaest motoričkih testova i utvrdio njihovu relijabilnost. Modifikovanom multigrupnom metodom je ekstrahovao četiri faktora (latentne motoričke dimenzije): *eksplozivnu snagu, faktor kardiovaskularnosti, koordinaciju* (više naglašen kod dečaka) i *ravnotežu* (naglašeniji kod devojčica).

Pored istraživanja faktorske strukture kompletnog latentnog motoričkog prostora, autori su pratili i esencijalne antropomotoričke sposobnosti za koje su prethodna istraživanja dokazala da postoje. Jedno od takvih istraživanja su sprovedi Metikoš i Hošekova (1972) na specifičnom uzorku od 61 studenta Fakulteta fizičke kulture koji su selektirani na prijemnom ispitu. Koristeći rezultate 28 motoričkih testova

izolovali su čak šest faktora koordinacije: koordinaciju čitavog tela, faktor učenja kompleksnih motornih zadataka, koordinaciju ruku, faktor reorganizacije motornih stereotipa, koordinaciju u ritmu i faktor brzog izvođenja kompleksnih motornih zadataka. U zaključku svog rada, međutim, autori su izrazili sumnju u mogućnost generalizovanja dobijenih rezultata na čitavu populaciju, s obzirom na visoku specifičnost uzorka ispitanika.

Istraživanjima su mahom obuhvaćeni omladina i odrasle osobe, dok latentnoj motoričkoj strukturi dece predškolskog uzrasta nije poklonjena veća pažnja. Najveći razlog za to su specifičnosti ovog razvojnog perioda, odnosno, nestabilnosti i neizdiferenciranost dečje motorike koja se odlikuje burnim i intermitentnim razvojem, uz naglašene individualne fenotipske osobenosti. Kod dece ovog uzrasta, naime, nije formirana stabilna motorika, pa je veoma teško pouzdano i objektivno je proceniti. Ipak, bilo je pokušaja procene strukture latentnog motoričkog prostora predškolske dece. Dukovski (1984) je sproveo istraživanje na uzorku od 499 dečaka i devojčica uzrasta pet i šest godina primenivši sistem od osamnaest antropometrijskih mera i bateriju četrnaest kretnih zadataka. Od rezultata tog istraživanja interesantno je izdvojiti podatke koji se odnose na strukturu latentnog motoričkog prostora. Dukovski je u okviru svakog subuzorka izolovao pet zasebnih faktora motorike kod petogodišnjih i šestogodišnjih dečaka i šestogodišnjih devojčica. Dobijene faktorske strukture su se međusobno razlikovale, ali zajednički za oba pola i uzrasta je izolovani faktor *mišićne snage*, iako definisan različitim brojem testova. Svi ostali faktori su, po autoru, uglavnom sekundarnog značaja, jer su ili nedovoljno jednoznačno definisani ili definisani nedovoljnim brojem testova. Istraživanje sličnog tipa obavili su Rajtmajer i Proje (1989). Na uzorku od 378 dečaka i devojčica između pet i pet ipo godina izvršili su proveru metrijskih karakteristika baterije 45 kretnih zadataka i na osnovu faktorske analize rezultata pokušali da utvrde latentnu strukturu motorike ispitanika. Adekvatnim statističkim procedurama utvrđeno je da čak 38 kretnih zadataka (testova) zadovoljava kriterijum pouzdanosti, zbog čega ih autori preporučuju za dalju upotrebu. Faktorizacija posmatranih subsistema pokazala je da hipotetski postavljene kategorije testova nisu homogene, a faktorskom analizom celog sistema ekstrahovano je dvanaest latentnih motoričkih dimenzija. Rajtmajer (1989) je daljom faktorizacijom rezultata dobijenih retestom došao do indikacije da se iz

ranije izdvojenih dvanaest faktora, po svemu sudeći, mogu ekstrahovati još opštiji faktori. Istina, nije uspeo do kraja da ih definiše, ali u zaključku svog rada iskazao je hipotezu o postojanju generalnog faktora motorike dece predškolskog uzrasta koju je Perić (1991) dokazao u ranije pomenutom istraživanju.

Navedeni primeri su dobra ilustracija za veliku razuđenost latentnog motoričkog prostora i njegovu veliku zavisnost od specifičnosti uzorka na kom je vršeno istraživanje. Različiti autori su identifikovali različite latentne dimenzije, ali je teško govoriti o univerzalnom i stabilnom modelu motoričkog prostora čoveka. Nekih pokušaja teorijskog utemeljenja je ipak bilo. Primer je rad Zaciorskog (1975), verovatno najviše citiran u dosadašnjim istraživanjima. Pomenuti autor je izdvojio sedam esencijalnih fizičkih svojstava sportiste (snagu, brzinu, izdržljivost, koordinaciju, ravnotežu, preciznost i pokretljivost) i u okviru svake od njih definisao nekoliko oblika njenog manifestovanja. Pošavši od niza teorijskih kriterijuma Zaciorski je, više spekulativnim nego empirijskim putem, definisao:

◆ **Četri klasifikacije snage**

1. *kriterijum*: fizičke manifestacije snage
 - *sama snaga*
 - *snaga kao realna sila*
2. *kriterijum*: relacije sile i mase tela
 - *apsolutna snaga*
 - *relativna snaga*
3. *kriterijum*: tip mišićne kontrakcije
 - *dinamička snaga sa dva osnovna vida*
 - miometrijska (koncentrična)
 - pliometrijska (ekscentrična, amortizujuća)
 - *izometrijska sila*
 - *repetitivna snaga*
4. *kriterijum*: mišićna topologija
 - *snaga ruku*
 - *snaga nogu*
 - *snaga trupa*

◆ **Tri tipa brzine**

1. brzina motorne reakcije
2. brzina pojedinačnog pokreta

3. brzina trčanja (zavisi od dužine i frekvencije koraka)

◆ **Dva tipa izdržljivosti**

- a) opšta (kardiovaskularna izdržljivost)
- b) lokalna (mišićna) izdržljivost

◆ **Tri manifestacije koordinacije⁴**

- a) koordinacija kao sposobnost preciznog (tačnog) izvođenja brzih pokreta
- b) koordinacija kao sposobnost brzog učenja pokreta
- c) koordinacija kao sposobnost motornog transfera u srodnim i nesrodnim pokretima.

◆ **Dva tipa ravnoteže**

- a) sposobnost uspostavljanja ravnoteže (dinamička)
- b) sposobnost zadržavanja ravnotežnog položaja (statička)

◆ **Dva tipa preciznosti**

- a) preciznost bacanja (gađanja)
- b) preciznost vođenja predmeta ili dela tela

◆ **Dva tipa gipkosti (pokretljivosti, fleksibilnosti)**

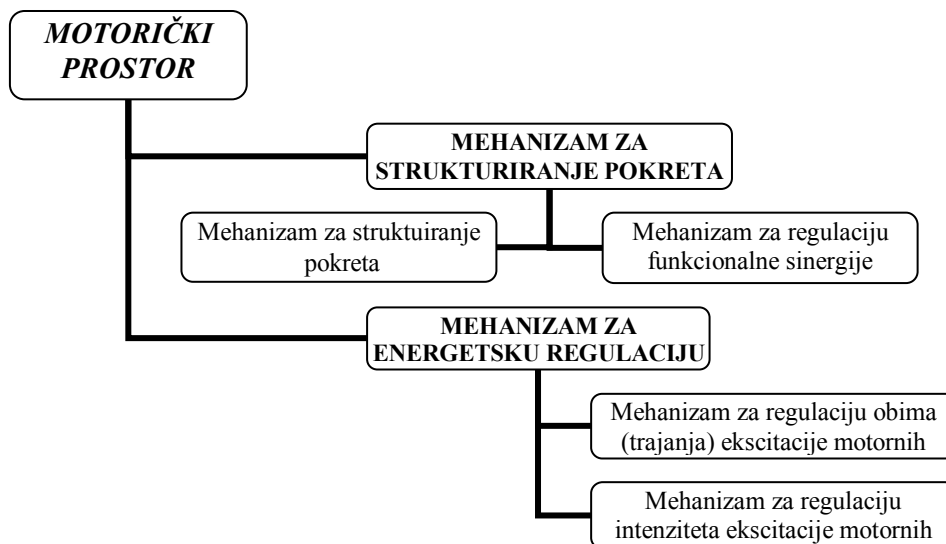
- a) statička
- b) dinamička (aktivna)

Za razliku od Zaciorskog, Kurelić i sar., (1975) se koristio faktorskom analizom, pa je pokušao na masovnom uzorku od 3.423 ispitanika uzrasta između 15 i 17 godina da odredi stabilan model strukture latentnog motoričkog prostora. Velikim brojem kretnih zadataka sagledan je kompletan motorički prostor ispitanika, a dobijena faktorska struktura umnogome se razlikuje od dotadašnjih. Autori su, naime, izdvojili dva generalna faktora motorike – *mehanizam za regulaciju kretanja* i *mehanizam za energetske regulacije* – sa po dva subfaktora. U okviru prvog definisani su: (a) mehanizam za struktuiranje pokreta i b) mehanizam za regulaciju funkcionalne sinergije; a u okviru drugog: (c) mehanizam za regulisanje obima (trajanja) ekscitacije motornih jedinica i (d) mehanizam za regulisanje intenziteta (brzine) ekscitacije motornih jedinica (Slika 1-10). Upotrebom ekstrahovanih

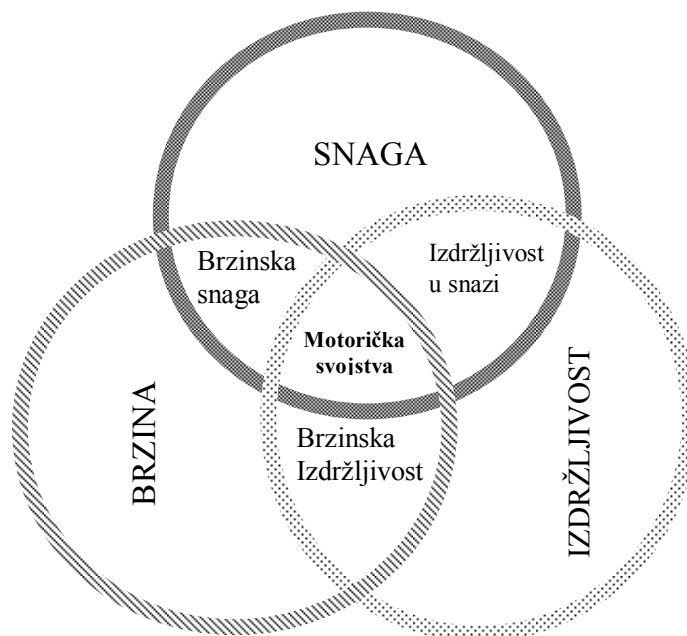
⁴ Zaciorski (1975) je naveo mogućnost da se koordinacija može posmatrati kao *spretnost* i *okretnost*. Spretnost se odnosi na manipulativne sposobnosti delova tela, a okretnost na koordinaciju celog tela u prostoru.

subfaktora moguće je definisati kompletan biomotorički prostor čoveka. Detaljnijom analizom ekstrahovanih subfaktora, uočava se da je iza njihovog impresivnog terminološkog plašta moguće naslutiti većinu ranije otkrivenih svojstava. Subfaktor označen kao mehanizam za struktuiranje pokreta, na primer, može se dovesti u vezu sa onim što se obično naziva koordinacijom. Subfaktorom, označenim kao mehanizam za regulisanje intenziteta ekscitacije motornih jedinica, moguće je objasniti dimenzije u praksi označene kao eksplozivna snaga, brzina i sl. Uprkos očiglednoj naučnoj zasnovanosti, model latentne motoričke strukture Kurelića i saradnika nikada nije zaživeo u praksi upravo zbog velike terminološke udaljenosti od vokabulara kojim se služi većina trenera, nastavnika, pa čak i savremenih istraživača.

U nastojanjima da pronađu što jednostavniju, a istovremeno sveobuhvatnu klasifikaciju latentnih fizičkih svojstava sportista, u literaturi novijeg datuma mogu se pronaći brojne spekulacije. Jedan takv pokušaj napravio je Lekić (1997) ponudivši model *tri esencijalna motorička svojstva* (snaga, brzina, izdržljivost) na čijim prelazima se nalaze specifične sposobnosti (Slika 1-11). Iako dosta razumljiva i korišćena od većeg broja stručnjaka, ova sistematizacija nije u potpunosti prihvatljiva zbog toga što mnoge motoričke sposobnosti ostaju izvan sistema (na primer: koordinacija, preciznost, gipkost...).



Slika 1-10 Model latentne motoričke strukture prema Kureliću i sar., (1975)



Slika 1-11 Model tri esencijalna svojstva konstruisan prema Lekiću (1997)

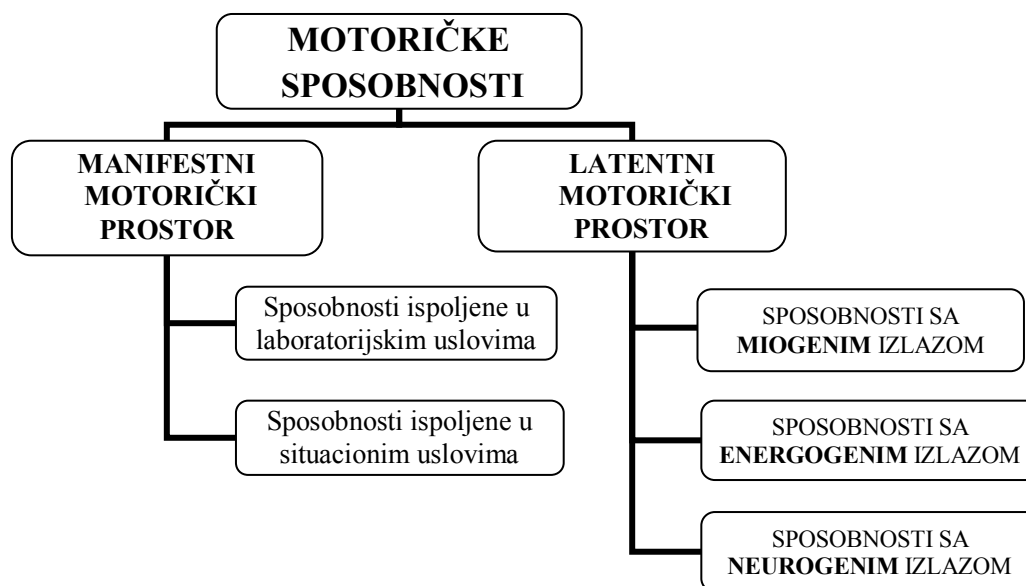
Bilo je i pokušaja da se u okviru pojedinih sportova utvrde tzv. antropomotorički modeli i konstitucionalni tipovi učesnika u njima. Tako su pojedini autori izdvajali specifična fizička svojstva, na primer, rukometaša (Pokrajac, 1983) ili odbojkaša (Baker, 1968 i Tomić, 1978). Uz upotrebu ranije formulisanih pojmova, autori su utvrdili dominaciju poje-dinih dimenzija u specifičnom sportu. Analizirana je i stara dilema da li svi ljudi poseduju iste latentne motoričke dimenzije ili, pak, sportisti nose neka posebna obeležja. Ispostavilo se da je istina izgleda na sredini, pa se otuda ta teorija naziva interakcionističkom. Radi se, zapravo, o tome da u antropomotoričkim potencijalima svakog čoveka postoje rudimenti većine latentnih dimenzija, ali da su za njihov razvoj neophodni specifični stimulusi koji bi ih pokrenuli i usavršili. Upravo na tim specifičnim stimulusima zasnovan je sportski trening. Pored toga, genetika je dokazala da su neki pojedinci više predisponirani za maksimalno ispoljavanje jedne, a minimalno neke druge antropomotoričke dimenzije. Otkrivanje te predisponiranosti za razvoj pojedinog antropomotoričkog svojstva zadatak je rane sportske selekcije.

Zbog visoke razuđenosti specifičnih antropomotoričkih obeležja,

u savremenoj literaturi se kao osnovni kriterijum za valjanu klasifikaciju uzimaju fiziološki i biohemijski mehanizmi koji učestvuju u njihovom generisanju. Zbog toga se sve više fizička svojstva čoveka sistematizuju u tri velike grupe (Slika 1-12) i označavaju kibernetičkim terminima:

1. Antropomotoričke sposobnosti sa **miogenim izlazom** – čine ih svojstva koja prevashodno zavise od kontraktilnih i mehaničkih sposobnosti mišića i promera mišićnih vlakana. Mogu se opisati kao sposobnosti mišićnog vlakana da ispolje veliku silu i snagu, odnosno njihove modalitete
2. Antropomotoričke sposobnosti sa **energogenim izlazom** – to su različiti oblici ispoljavanja aerobne i anaerobne izdržljivosti
3. Antropomotoričke sposobnosti sa **neurogenim izlazom** – čine ih svojstva određena prevashodno nervnim faktorima za struktuiranje kretanja (brzina proste i složene motorne reakcije, koordinacija, agilnost, ravnoteža, preciznost i sl.)

Predmet analize u narednim poglavljima ove knjige su prevashodno latentne motoričke dimenzije sistematizovane upravo onako kako je prikazano na Slici 1-12.



Slika 1-12 Moderna klasifikacija dimenzija antropomotoričkog statusa

1.4. OPŠTI MEHANIČKI PRINCIPI HUMANE LOKOMOCIJE

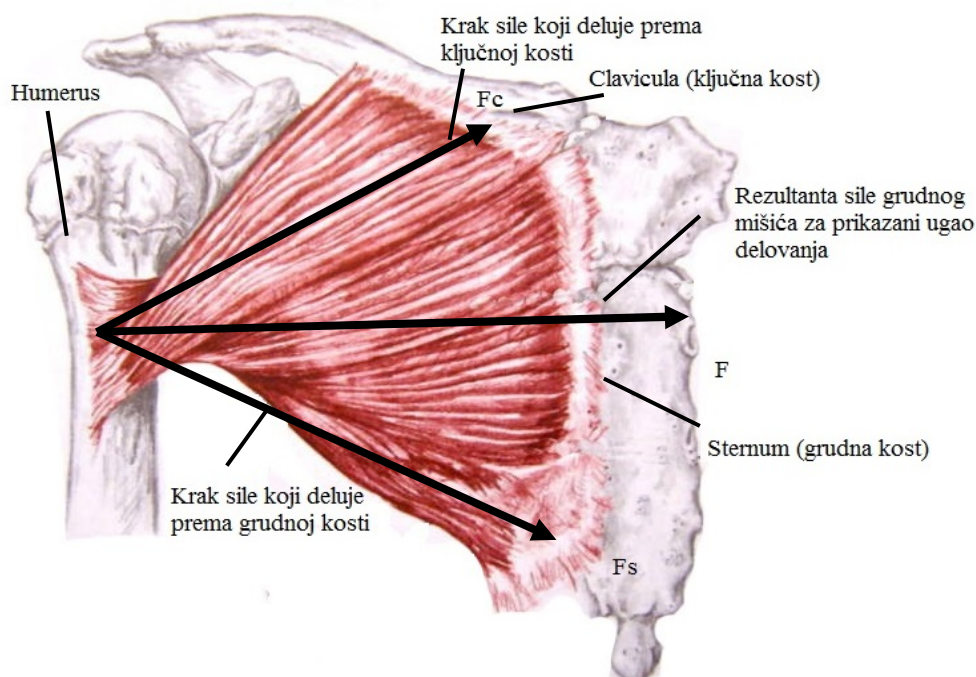
Ljudski aparat za kretanje (lokomotorni aparat), u čisto mehaničkom smislu, moguće je podeliti u tri funkcionalna dela: prvi čine kosti, drugi zglobovi, a treći mišići. Prva dva dela (kosti i zglobovi) grade *pasivni*, dok mišići čine *aktivni* deo lokomotornog sistema. Ovako posmatrane, kosti čoveka imaju ulogu *biomehaničkih poluga* koje se pokreću oko obrtnih tačaka (centara obrtanja), odnosno, oko zglobova. Prema tome, čisto kinematički posmatrano, ljudski pokreti predstavljaju pokretanje biomehaničkih poluga oko centara obrtanja.

Među pojedinačnim pokretima ljudskog tela nikada se ne susreće pravolinijsko kretanje, jer se svi njegovi segmenti kreću krivolinijski, odnosno ispoljavaju uglovne veličine (ugaonu brzinu i ugaono ubrzanje). Pravolinijsku prirodu imaju jedino trajektorije kompletnog težišta tela. Pravolinijske kretanje susreću se samo prilikom transpozicije kompletnog tela u prostoru ili prilikom pomeranja pojedinih predmeta (pravolinijski se, naravno, kreću ti predmeti, a ne biomehaničke poluge). Otuda analizi humane lokomocije valja prilaziti sa dosta opreza i u obzir uzimati niz biomehaničkih zakonitosti.

Mišići čoveka čine aktivni deo aparata za kretanje budući da su sposobni za promenu sopstvenih dimenzija. Svojim skraćivanjem oni pokreću biomehaničke poluge (kosti) za koje su vezani. U dinamičkoj analizi pokreta, mišićno naprezanje se analizira kao izvor sile koja se suprotstavlja spoljašnjem otporu. Mišićna sila je, dakle, uzrok ljudskog kretanja. Njena usklađenost, kao jedine unutrašnje, sa dejstvom spoljašnjih sila, od presudnog je značaja za kvalitet ljudskog kretanja.

Skeletni mišići čoveka imaju svojstvo parcijalnog kontrahovanja, što znači da se pojedini segmenti mogu naprezati nezavisno od ostalih segmenata istog mišića. Na taj način vrši se, između ostalog, gradacija mišićne sile, tj. mišić savladava spoljašnji otpor sa minimalnim naprezanjem, odnosno, angažovanjem minimalnog broja svojih vlakana. Osim toga, na ovaj način jedan mišić može da izvodi vrlo različite pokrete u istom zglobu. Tako prednji snopovi deltastog mišića (*m. deltoideus*) deluju kao antefleksori u zglobu ramena, dok njegovi zadnji snopovi izvode antagonistički pokret – retrofleksiju. Središnji snopovi istog mišića izvode treću vrstu pokreta – abdukciju u zglobu ramena.

Posmatra li se dejstvo drugog, takođe krupnog i snažnog mišića, velikog grudnog (*m. pectoralis major-a*), lako se uočava da se njegovi snopovi pružaju zvezdasto u nekoliko pravaca. Prilikom njihove istovremene kontrakcije izvodi se pokret povlačenja ruke napred, kao na primer u popularnom „benč-presu“. Tom prilikom teško je utvrditi pravac delovanja mišićne sile. Tada se zajednički pravac i intenzitet sile određuju kao rezultanta više parcijalnih sila koje se ispoljavaju u pojedinim mišićnim snopovima velikog grudnog mišića (Slika 13). Tako dobijena sila, međutim, nije konačna rezultanta pokreta s obzirom na to da pravolinijsko dejstvo mišića izaziva krivolinijsko kretanje biomehaničkih poluga (kostiju). Na veličinu ostvarene sile tada utiče i ugao pod kojim mišić deluje, odnosno njena dinamička manifestacija je posledica veličine ostvarene sile i kraka na kojem ona deluje (biomehantičkom terminologijom rečeno, ona zavisi od obrtnog momenta sile, budući da se obrtni moment definiše kao proizvod sile i kraka na kojem ta sila deluje).



Slika 1-13 Određivanje pravca, smeru i intenziteta mišićne sile nastale kontrakcijom velikog grudnog mišića (*m. pectoralis major-a*). Vektor mišićne sele (F) određen je kao rezultanta pojedinačnih vektora koji ilustruju delovanje izdvojenih mišićnih snopova.

Doda li se ovome da neki mišići deluju kao jednozglobni, a drugi kao dvozglobni, onda se upotpunjava slika o složenosti humane lokomocije. Tako na primer, mišići zadnje lože buta (*m. semimembranosus*, *m. semitendinosus* i *m. biceps femoris*) u zglobu kuka prevashodno deluju kao ekstenzori, a u zglobu kolena kao fleksori. Česte su, međutim, situacije kada oni u zglobu kolena izvode i sasvim suprotan pokret (ekstenziju) i tada deluju kao sinergisti prednje lože buta. To se dešava kada je stopalo fiksirano, odnosno kinetički lanac pokreta zatvoren na oba svoja kraja (kod veslanja, niskog starta u atletici, dubokog čučnja i sl.).

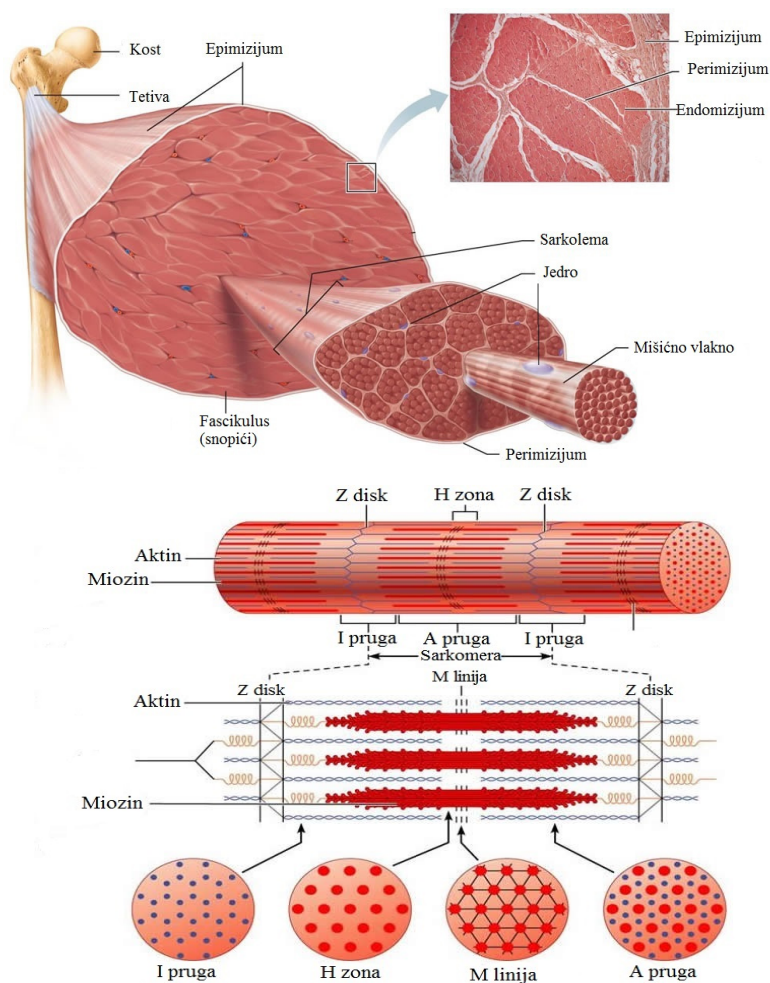
2 MIŠIĆNA AKTIVNOST KAO SUŠTINA KRETANJA

Pokret je osnovno sredstvo cilj svih sportskih aktivnosti. Da bi se izveo, odnosno da bi došlo do pokretanja tela u prostoru ili samo nekih njegovih delova, neophodno je delovanje unutrašnje sile. Jedina takva sila koja je glavni uzročnik i regulator kretanja nastaje kao posledica naprezanja skeletne muskulature. Mišićna aktivnost, dakle, predstavlja suštinu ljudskog kretanja. Mišić je specifičan organ sposoban za promenu svojih dimenzija. On se pod uticajem različitih stimulusa može skraćivati (kontrahovati), opuštati (distrahovati) i istežati (elongirati). Ova svojstva uslo-vljavaju najrazličitiju raspodelu mišićnog tkiva po čitavom telu. Mišići okružuju celokupni skelet, popunjavaju određene telesne prostore i nalaze se u svim unutrašnjim organima.

Mišić je sastavljen od mišićnog tkiva. Anatomija razlikuje tri tipa mišićnog tkiva: (1) *srčano*, (2) *glatko* i (3) *poprečno-prugasto*. Prva dva su pod kontrolom autonomnog (vegetativnog) nervnog sistema, dok je treći inervisan od strane somatskog (animalnog) nervnog sistema, pa je često označen kao voljna muskulatura. Predmet razmatranja ove knjige je samo voljna muskulatura, tj. poprečno-prugasto mišićno tkivo koje ulazi u sastav ljudskog aparata za kretanje (lokomotornog aparata), odnosno gradi skeletnu muskulaturu. Ovo poglavlje se, međutim, ne bavi mišićima onako kako to čini deskriptivna i funkcionalna anatomija, već ih prevashodno tretira sa fiziološkog i biohemijskog aspekta. Ponuđene informacije izabrane su sa ciljem da se što bolje sagleda centralni predmet knjige – antropomotoričke sposobnosti sportista. Sistematizovana su i prezentirana novija saznanja iz oblasti fiziologije i biohemije mišićne aktivnosti, sa posebnim akcentom na mehaničke i energetske procese.

2.1. ANATOMSKI PODSETNIK

Poprečno-prugasto mišićno tkivo sastoji se od mišićnih vlakana. Mišićno vlakno predstavlja uređene kolonije (*sincicijume*) više mišićnih ćelija koje se udružuju i obrazuju cilindrične formacije promera od 10 do 150 μm . Njegova dužina je znatno veća i iznosi od 2 do 15 cm.



Slika 2-1 Poprečni presek kroz tipičan skeletni mišić koji prikazuje (dole) raščlanjenje mišića u celini do pojedinačnog mišićnog vlakna i (gore) odnos mikroskopskih struktura prema mišićnom vlaknu

Dimenzije mišićnog vlakna determinisane su tipom i aktivnošću mišića. Ima ih od mikroskopski sitnih do onih koji su vidljivi golim okom (ta najkrupnija su poput vlasi kose). Na promer (debljinu) mišićnog vlakna može se uticati sistematskim treningom, dok se dužina vlakana uglavnom ne menja. Promer vlakna novorođenčeta iznosi oko 20% promera vlakna odraslog čoveka. Ukoliko se vlakno izloži sistematskom treningu ono zadebljava (*hipertrofira*) i time povećava svoje miogene sposobnosti. Otuda se kaže da je maksimalna sila mišića proporcionalna poprečnom preseku njegovih vlakana.

Svako mišićno vlakno poprečno-prugastog tkiva može da deluje kao zasebna celina i to je ono što ga izdvaja od ostalih tipova mišićnog tkiva. Sposobnošću parcijalnog kontrahovanja se objašnjava multifunkcionalno delovanje pojedinih mišića. Tako se može desiti da različiti snopovi istog mišića izvode potpuno različite pokrete u jednom zglobu (*m. deltoideus*, na primer, svojim prednjim snopovima izvodi antefleksiju ru-ke u zglobu ramena, zadnjim snopovima retrofleksiju, a središnjim abdukciju u istom zglobu).

Mišićno vlakno sastavljeno je od: ćelijske membrane (opne) koja se zove *sarkolema* i protoplazmatičnog dela. U sastav protoplazme ulaze: jedro, citoplazma, organele i sarkoplazmatični retikulum. U ćeliji poprečno-prugastog mišićnog tkiva nalazi se više jedara koja su priljubljena uz sarkolemu. Što se tiče organela, najznačajnije su mitohondrije koje imaju važnu ulogu u stvaranju energije za mišićni rad. Citoplazma mišićne ćelije označena je kao *sarkoplazma* (grč. *sarx*, meso). Ona je tečni deo mišićnog vlakna i često se naziva intracelularna tečnost ili *matrix*. U njoj plivaju uzdužno postavljena vlakanca, nazvana *miofibrili*. Njihov promer je od jednog do tri mikrometra. U jednom mišićnom vlaknu nalazi se preko hiljadu miofibrila. Oni su produkt sarkoplazme, poređani uzdužno od jednog do drugog kraja mišićnog vlakna i međusobno su paralelni.

Prilikom posmatranja pod elektronskim mikroskopom na miofibrilima se zapažaju svetle i tamne poprečne pruge, poređane naizmenično i postavljene u istoj visini (Slika 2-1). Tamne i svetle pruge su rezultat nejednakog prelamanja svetlosti usled različitog hemijskog sastava. Svetle i tamne pruge miofibrila postavljene u istoj visini vide se kroz sarkolemu, tako da se na površini vlakna vide naizmenično poređani svetli i tamni pojasevi (diskovi) koji skeletnim mišićima daju atribut poprečno-prugastih. Svetli pojasevi, u kojima se nalaze specifične

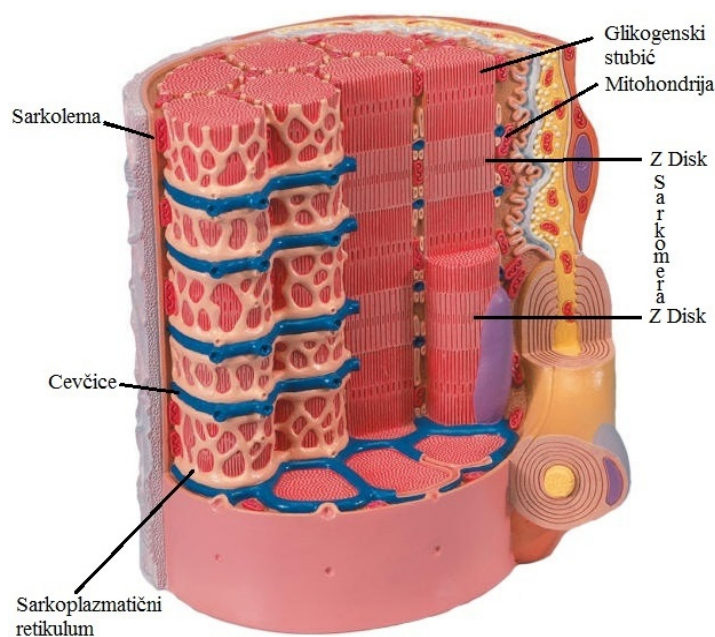
belančevine značajne za kontrakciju mišićnog vlakna, označeni su kao *izotropni* pojasevi (**I**-pojas). Njihov naziv ukazuje da oni na isti način prelamaju svetlost bez obzira duž koje ravni se posmatraju (grč. *isos*, isto). Tamni pojasevi označeni su kao *anizotropni* (**A**-pojas), s obzirom na to da pokazuju različita svojstva ukoliko se posmatraju iz različitih ravni.⁵

U tečnom delu sarkoplazme (matrix) se nalaze hranljive materije u vidu zrnaca (lipidi, proteini, glikogen), fosforna jedinjenja, neorganski joni i mioglobin (mišićni hemoglobin) koji mišićnom vlaknu daje crvenkastu boju. Matriks je raspoređen u dva prostora: jedan u kome plivaju miofibrili i drugi koji ispunjava šupljine sarkoplazmatskog retikuluma.

Sarkoplazmatski retikulum predstavlja sistem mrežasto raspoređenih cevčica (Slika 2-2). U njima se nalaze uskladišteni joni kalcijuma (Ca^{++}) koji se oslobađaju pod uticajem akcionog nervnog potencijala i igraju važnu ulogu u mišićnoj kontrakciji. Budući da delovi sarkoplazmatskog retikuluma, poput skladišta, sadrže jone kalcijuma nazivaju se i kalcijumovom cisternom. Sistem uzdužnih cevčica sarkoplazmatskog retikuluma komunicira među sobom blagodareći transverzalnim cevči-cama (T-cevčice). Preko njih se širi depolarizacija, a ujedno iz mišićnog vlakna izlaze nagomilani laktati (prema Koc-u, 1982).

⁵ Pod običnim mikroskopom, tačno fokusiranim, nebojena vlakna skeletnih mišića izgledaju kao savršeno providne cevi bez unutrašnje strukture. Pogrešno je **A** i **I** diskove nazivati „tamni” i „svetli” budući da se uopšte ne razlikuju u moći apsorpcije svetlosti. Može se, međutim, učiniti da izgledaju tamni ili svetli, jer se A-disk selektivno boji gvoždenim hematoksinom. A-disk, naime, dvostruko prelama (anizotropan je), dok je I-disk izotropan. U anizotropnom materijalu (kakav je, na primer, kalcit) indeks refrakcije zavisi od upadnog ugla i stanja polarisanosti upadne svetlosti. Upotrebom specijalnog polarizirajućeg mikroskopa razlika između A i I diskova može se uočiti i u živom, nebojenom, vlaknu, iako od podešenosti instrumenta zavisi koji će disk izgledati taman, a koji svetao. Bez obzira na anizotropiju, A diskovi imaju veći indeks refrakcije zbog čega se svetlosni zraci više uspore prolazeći kroz njih nego kroz I-disk. Tako se svetlost na izlazu malo razlikuje u fazi. Stvorena fazna razlika se može pretvoriti u razliku intenziteta, ukoliko se ostvari interferencija između izlazne svetlosti, bilo lokalno kao u mikroskopu sa faznim kontrastom ili u celom polju kao u interferentnom mikroskopu. Izgled diskova, očigledno je, potpuno zavisi od podešenosti i kvaliteta mikroskopa. Tako se i sa običnim mikroskopom vrsta faznog kontrasta može proizvesti ukoliko se optički mehanizam malo izvede iz fokusa. (prema Starling i Evans, 1962).

Mišićna vlakna grupišu se u snopiće (*fasciculus*). Broj vlakana u jednom fascikulusu kreće se od 12 do 100. Taj broj formira se pet meseci nakon rođenja, bez obzira na aktivnost mišića. Istina, neka istraživanja na mišićima opitnih životinja ukazuju na mogućnost povećanja broja mišićnih vlakana. U pitanju je samo izvesno longitudinalno deljenje koje nastaje usled uzdužnog cepanja mišićnog vlakana. Prema tome, dokaza o klasičnoj hiperplaziji (povećanju broja vlakana) kao posledici treninga za snagu još uvek nema, već se može govoriti samo o deobi jednog broja mišićnih vlakana. Za sada je sigurnije ostati na stanovištu klasičnog učenja o stalnosti broja mišićnih vlakana. Novonastala vlakna, nakon longitudinalne deobe, mogu zasebno da hipertrofiraju i uvećaju se do veličine normalnog (nepodeljenog) vlakna. Deoba vlakana je najintenzivnija u plastičnim periodima rasta i razvoja, pa se zato preporučuje intenzivno upražnjavanje treninga za snagu već u najranijim periodima života.

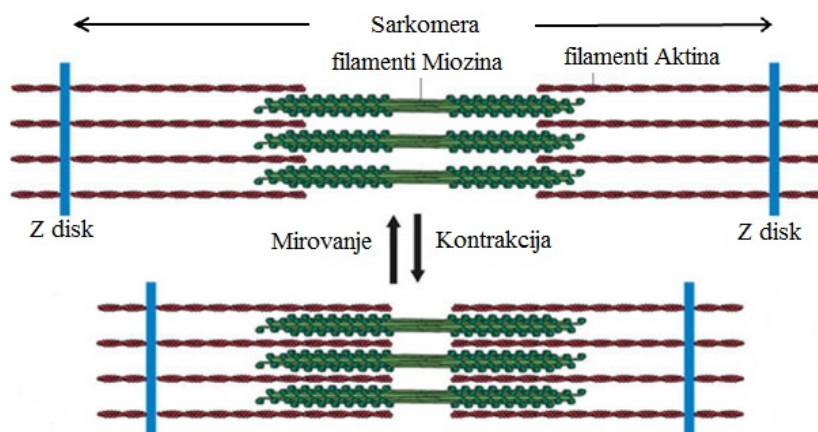


Slika 2-2 Struktura mišićnog vlakna. Vidi se uređeni nizovi debljih i tanjih proteinskih niti (filamenata). Sistem poprečnih cevčica otvara se na spoljašnjoj strani vlakna i sa sarkoplazmatičnim retikulumom učestvuje u kretanju jona kalcijuma, sastaju se u nizu spojnice koje se zovu dijade ili trijade.

Mišićni fascikulusi grupišu se u mišićne snopove. Više snopova gradi kontraktilni deo jednog skeletnog mišića. Svaki od pomenutih gradivnih elemenata mišića ima svoju karakterističnu ovojnici sastavljenu od fibroznog tkiva. Tako fascikuluse obavija i istovremeno, unutar mišićnih snopova, povezuje *endomizijum*. Mišićne snopove spolja obavija *perimizijum*, dok mišić spolja obavija *epimizijum* odvajajući ga tako od okolnih mišića i obezbeđujući mu slobodno kliženje prilikom kretanja. Cele mišiće ili mišićne grupe obavijaju *fascije*. Mišićne ovojnice svojom elastičnošću igraju važnu ulogu u mehanici mišićne aktivnosti.

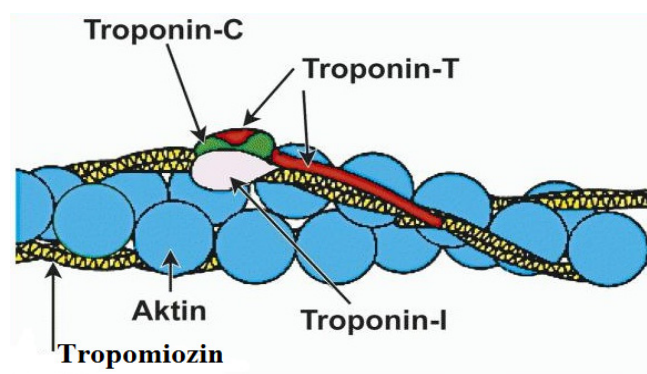
2.2. MEHANIZAM MIŠIĆNE KONTRAKCIJE

Miofibrili, smešteni u mišićnim vlaknima, sadrže osnovu kontraktilnog aparata, *fibrilne proteine*, poprečnog preseka jedan mikrometar, smeštene u identičnim strukturalno-funkcionalnim jedinicama – *sarkomerama*. Sarkomere su u longitudinalnom smeru ograničene dvema uskim optički tamnim prugama, Z-pločama, međusobno udaljenim za vreme mirovanja oko 2 do 2,5 μm (Slika 2-3). Sa obe strane Z-ploča nalaze se izotropni pojasevi širine jedan mikrometar. Sredina sarkomere, u dužini oko 1,5 μm , optički je tamnija (anizotropni pojas).



Slika 2-3 Struktura promene pri kontrakciji, počev od dužine mirovanja. Gornji red pokazuje segmente netaknutih vlaknaca. Donji red pokazuje položaje filamenta pri kontrakciji.

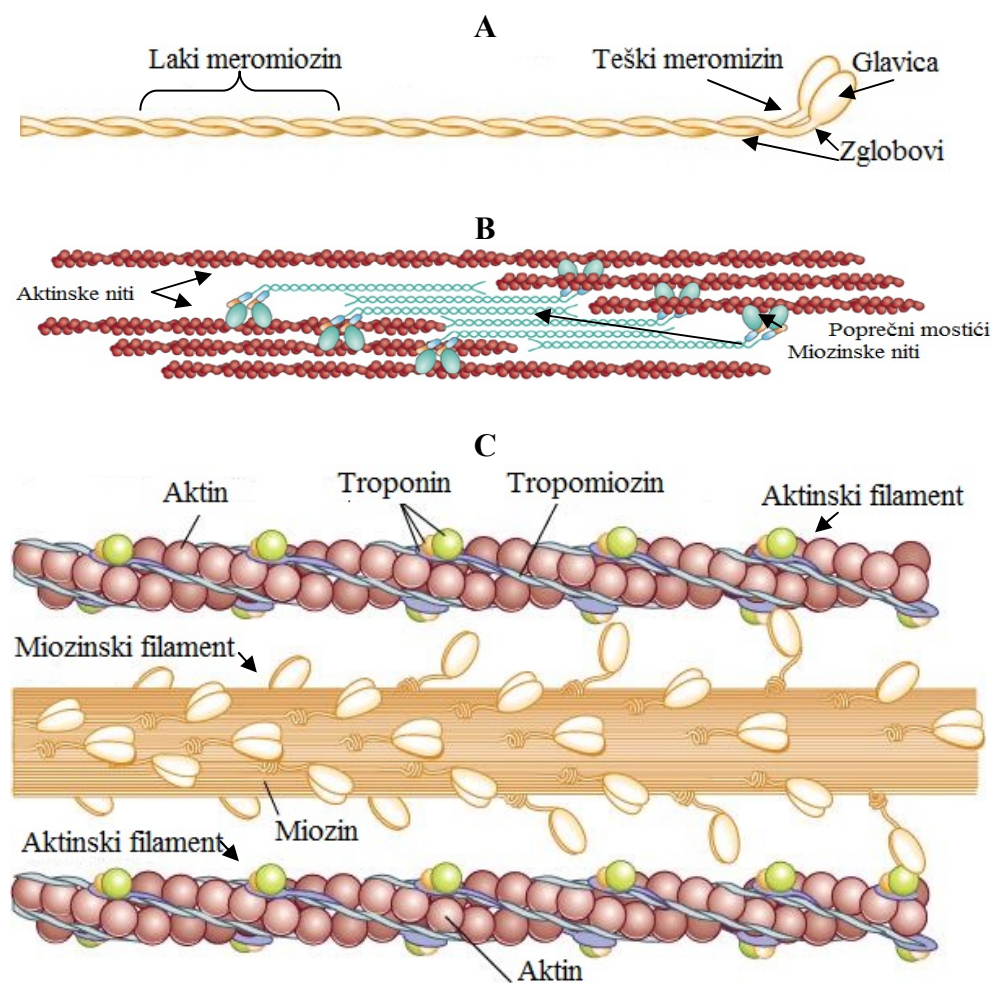
Elektronske mikrofotografije pokazale su da se fibrili sastoje od dva različita filameta (končića). Jedan od njih, promera pet nanometara, izgrađen je od složenih belančevinskih molekula: aktina, tropomiozina i troponina (Slika 2-4). Ovaj filament naziva se *aktin* i smešten je prevashodno u perifernim delovima sarkomere (u izotropnom pojasu) tako da su njegovi spoljašnji krajevi uronjeni i učvršćeni u Z-ploči, a centralni ulaze oko 500 nm u anizotropni pojas. Drugi filament položen je u središnjem delu sarkomere (A-pojas). Zove se *miozin*. Poprečni presek mu je heksagonalnog oblika i tri puta je deblji od aktina. Njegova dužina je 1500 nm. Niti aktina se heksagonalno raspoređuju oko miozinskih gradeći formaciju sličnu pčelinjem saću (Slika 2-6). Filamenti miozina, osim u malom središnjem području, imaju šest redova bočnih izdanaka (poprečni mostići) koji su nekom vrstom zglobova vezani za osnovnu nit (Slika 2-5). Poprečni mostići igraju izuzetno značajnu ulogu u mehanizmu mišićne kontrakcije. Ekstrakcija filamenata pokazala je da jedan gram skeletnog mišića sadrži 70 do 75 mg miozina i 25 do 30 mg aktina.



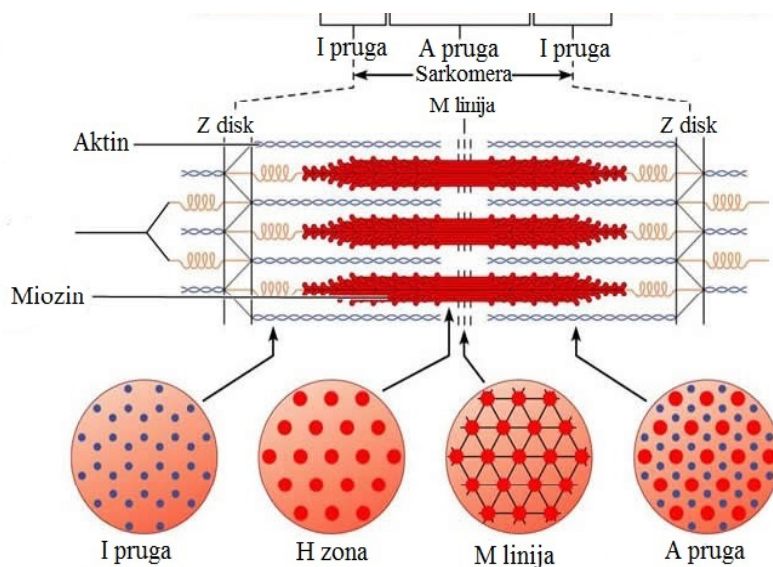
Slika 2-4 Nit aktina koja se sastoji od dva spiralno uvijena lanca takozvanog F-aktina. Vidi se i deo dva tropomiozinska lanca. Na površini tropomiozina shematski su prikazani i molekuli troponina

U fazi skraćivanja mišićnog vlakna, kao i u fazi pasivnog istežanja, dolazi do vidljivih strukturalnih promena na samom kontraktilnom aparatu. U kontrahovanom stanju skraćuju se izotropni pojasevi i među sobom približavaju Z-ploče, dok se u istegnutom stanju ti

pojasevi izdužuju, a Z-ploče udaljavaju. Pri tome anizotropni pojasevi ostaju nepromenjeni. Elektronske mikrofotografije pokazale su da dužina aktinskih i miozinskih niti ostaje ista, bez obzira u kojem je stanju kontraktilni aparat. Pri istezanju vlakna aktinske niti se izvlače iz intermiozinskih prostora, dok se pri kontrakciji, poput teleskopa, uvlače u te prostore.



Slika 2-5 A) Molekul miozina; B) Spajanje velikog molekula miozina u nit miozina. Vide se poprečni mostići, kao i interakcija glavica poprečnih mostića sa susednom aktinskom niti. C) Trodimenzionalni model spajanja aktina i miozina.



Slika 2-6 Struktura poprečno-prugastog mišića predstavljena u obliku dijagrama koji pokazuje nizove niti koje sadrže aktin i miozin tamo gde se prekrivaju.

Sve strukture i procesi vazani za mehanizam kontrakcije aktiviraju se kao posledica razdraženja duž sarkoleme. U realnim fiziološkim uslovima (*in vivo*) ono je rezultat dolaska impulsa iz alfa motornih neurona na neuromuskularnu sinapsu. Do svakog mišićnog vlakna stižu ogranci motornih neurona. Nervni impulsi dovode do pobuđivanja (*ekscitacije*) mišićnih vlakana. Ekscitacija je posledica lučenje jona kalcijuma iz sarkoplazmatičnog retikuluma. Na taj način stvaraju se uslovi za mišićnu kontrakciju, tj. za kontakt aktinskih i miozinskih miofilamenata. Krajnji efekat mišićne kontrakcije je mehanička promena (*kuplovanje*) odnosno, kretanje poprečnih mostića miozinske niti. Prema tome, ukupno vreme za koje se ostvari mišićna kontrakcija može da se podeli u dve faze: *ekscitaciju* i *kuplovanje*. Prva faza (vreme od pojave akcionog nervnog potencijala do početka kuplovanja) je dva do tri puta kraća od druge faze (mehaničke promene mišića). Ukupno vreme kontrakcije je različito za pojedine mišiće. Tako postoje izrazito brzi mišići sa vremenom kontrakcije kraćim od 50, kao i spori čije vreme prelazi 120 ms. Enoka (1994) navodi podatke o vremenu proste kontrakcije za pojedine mišiće klasifikujući ih po tom kriterijumu na brze, srednje brze i spore. Evo nekih vrednosti:

mastikatorni mišići.....	40 ms (brza)
mišići šake i stopala	50 - 60 ms (brza)
m. biceps brachi	70 ms (srednja)
m. gastrocnemius (lat. et med.)	100 ms (spora)
m. soleus	120 ms (spora)

2.2.1. FIZIČKO-HEMIJSKI ASPEKTI MIŠIĆNE KONTRAKCIJE

Uvid u hemijske komponente odgovorne za proces kontrakcije i njihove međusobne odnose dala su mnoga istraživanja ponašanja izolovanih kontraktilnih proteina u različito komponovanim rastvorima. Pokazalo se da je za delovanje takvog aparata neophodno prisustvo: miozina, zatim aktin-troponin-tropomiozin kompleksa, adenozintrifosfata (ATP-a), kalcijumovih (Ca^{++}) i magnezijumovih (Mg^{++}) jona. U toj kombinaciji, miozin uz prisustvo već vrlo niskih koncentracija jona kalcijuma ($6 \cdot 10^{-6}$ mola) i jona magnezijuma ($5 \cdot 10^{-6}$ mola) deluje kao enzim *akto-miozin-adenozintrifosfataza* (ATP-aza), koji razlaže ATP na adenozin-di-fosfat (ADP) i fosfatnu grupu (P). Ovaj enzim formira se čim se ostvari kontakt između aktina i miozina. Izolovani miofibril, upravo kao i izolovana mišićna vlakna, skraćuje se u takvom procesu za 20% početne dužine u mirovanju. U tom procesu ATP prvenstveno služi kao izvor ene-rgije, ali pored energetske ima i ulogu izvesnog enzimskog medijatora. Utvrđeno je, naime, da je kontrakcija moguća samo uz prisustvo nerazgrađenog ATP-a. Osnovni uslov da mišićno vlakno bude relaksirano nakon kontrakcije jeste postojanje nerazgrađenog ATP-a u sarkoplazmi. Svako razlaganje, koje pospešuje akto-miozin-adenozintrifosfataza, izaziva povećanje mišićnog tonusa.

Dokazano je da je koncentracija slobodnih kalcijumovih jona od $5 \cdot 10^{-6}$ mola u sarkoplazmi u mirovanju nedovoljna za aktivaciju ATP-aze, ali da se velika količina tih jona oslobađa iz cisterni sarkoplazmatičnog retikuluma, kada depolarizacija sa površine sarkoleme, preko T-cevčica, stigne u unutrašnjost mišićnog vlakna. Oslobodivši se iz cisterni sarkoplazmatičnog retikuluma, joni kalcijuma vezuju se za troponin (dva jona kalcijuma vezuju za sebe jedan molekul troponina). Kao rezultat ove hemijske reakcije javlja se eliminisanje

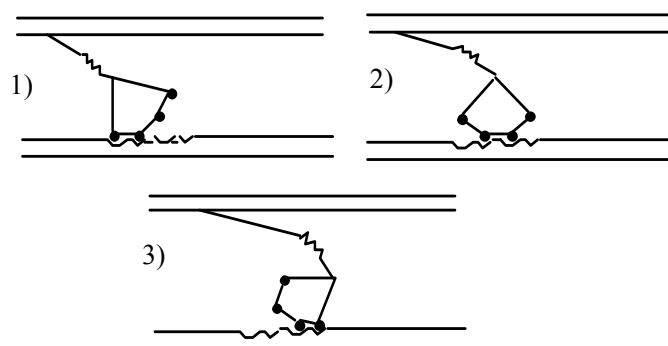
inhibitornog uticaja troponina na međusobnu reakciju glava miozina (poprečnih mostića) sa aktinskim nitima. Joni kalcijuma, prema tome, imaju zadatak da deblokiraju aktinske niti i omoguće njihov kontakt sa miozinom.

Mehanizam kontrakcije, odnosno kliženje miofilamenata, počiva na nizu mehaničko-hemijskih procesa. Iako su još uvek nepoznate mnoge pojedinosti, opšte je prihvaćena teorija *kliženja miofilamenata* čiji su autori dva fiziologa iz poznate istraživačke porodice Haksli (*Huxley*), prema kojoj poprečni mostići na miozinskim nitima imaju osnovnu ulogu. Ti poprečni mostovi nisu ništa drugo do terminalni delovi pojedinih molekula proteina koji grade miozinski filament i koji se poput vesala pomiču u intrafilamentarnom prostoru. Svojim zadebljalim završecima (glavicama) mostići, zahvaljujući oslobođenoj energiji i uz prisustvo jona kalcijuma, najverovatnije elektrohemijski deluju na aktivna mesta na aktinskoj niti i asinhronim nizom „zaveslaja” povlače te niti ka centru sarkomere.

Astrand i Rodahl (1977) su ukazali na još jedan zanimljiv detalj koji je i Huxley (1974) smatrao značajnim za gradaciju mišićne sile. Oni navode pretpostavku da se na površini molekula aktina nalaze izvesna udubljenja u koja se uvlače delovi molekula miozina. Istovremeno na krajevima teškog meromiozina nalaze se četiri glavice kojima odgovaraju aktinska udubljenja. Veoma je značajno da u kontakt sa aktinom ne dolaze sve meromiozinske glavice istovremeno i ne uvek iste. Različit raspored kontaktnih glavica utiče na veličinu ostvarene mišićne sile (Slika 2-7).

Inaktivacija troponina jonima kalcijuma oslobađa akto-miozin-adenozintrifosfataznu aktivnost. ATP-aza hidrolizuje ATP koji je raspoređen na glavicama miozina, čime se stvara energija za kliženje poprečnih mostića. Hidrolizom nastali ADP i fosfatna grupa napuštaju glavicu miozina odlazeći ka poprečnim mostićima gde formiraju novi molekul ATP-a. Ovaj ciklus se ponavlja sve dok u interfibrilarnim prostorima ima jona kalcijuma. Brzo pomeranje poprečnih mostića ponavlja se uzastopno mnogo puta i u brojnim susednim mišićnim vlaknima, sve dok kalcijum ne napusti interfibrilarne prostore ili dok brzina resinteze ATP-a ne postane toliko mala da se javi deficit energije. Povećana koncentracija jona kalcijuma u interfibrilarnim prostorima održava se svega nekoliko milisekundi, a zatim se joni vraćaju u cisterne sarkoplazmatičnog retikuluma blagodareći dejstvu kalcijumove pumpe.

Budući da se prepumpavanje odvija protiv difuznog gradijenta, nužan je utrošak određene količine energije. Ona se, naravno, ponovo obezbeđuje razgradnjom ATP-a. Za transport dva jona kalcijuma iz interfibrilarnih prostora u cisterne sarkoplazmatičnog retikuluma troši se jedan molekul ATP-a. Eliminisanjem jona kalcijuma iz interfibrilarnih prostora oslobađa se troponin koji ponovo blokira ATP-azu; ATP se ne razgrađuje i ne oslobađa energiju; molekuli aktina i miozina vraćaju se na početni status – mišić je relaksi-ran. Na taj način kalcijum u mišićnoj kontrakciji igra ulogu intracelular-nog medijatora za vezu ekscitacija-kontrakcija.



Slika 2-7 Gradacija mišićne sile u zavisnosti od mesta kontakta miofilamenata. Tri moguće varijante: 1) slučaj kada se ostvaruje najmanja sila; 2) slučaj kada se ostvaruje jača sila; 3) slučaj kada se ostvaruje najveća sila. (modifikovano prema Astrand-u i Rodahl-u, 1977)

Mišićna kontrakcija odvija se po principu *sve ili ništa* (engl. *all or nothing*). To znači da silu i trajanje kontrakcije ne uslovljava intenzitet nervnog impulsa, već njihov broj u jedinici vremena. Frekvencija nervnih impulsa, naime, proporcionalna je veličini i trajanju mišićne sile. U slučajevima kada valja ostvariti veliku silu, do aktuelnog mišića dolaze čitave salve nervnih impulsa, dok je u slučajevima kada se ostvaruje mala sila i broj impulsa proporcionalno manji. Isti broj i frekvencija nervnih impulsa uvek izaziva mišićni odgovor konstantnog intenziteta odnosno – kontrakcije ili ima ili nema.

Uzroke gradacije mišićne sile, pored frekvencije nervnih impulsa, trebalo bi potražiti i u kontaktu miofilamenata. Nađeno je da veličina sile mišićne kontrakcije zavisi od broja ostvarenih kontakata aktin-miozin, a kako Huxley (1974) navodi i od rasporeda glavica na teškom meromiozinu. Maksimalnu silu, dakle, mišić može da ostvari pri svojoj

optimalnoj dužini, odnosno, kada je broj aktinsko-miozinskih kontakata maksimalan. Ta optimalna dužina mišića ostvaruje se specifičnim uglom u zglobovima aparata za kretanje. Veličina tih uglova je različita. Tako se najveća sila mišića opružača u zglobu kolena ostvaruje pri uglu između natkolenice i potkolenice od 110-120 stepeni, a fleksora u zglobu lakta pri uglu između nadlaktice i podlaktice od 90-100 stepeni.

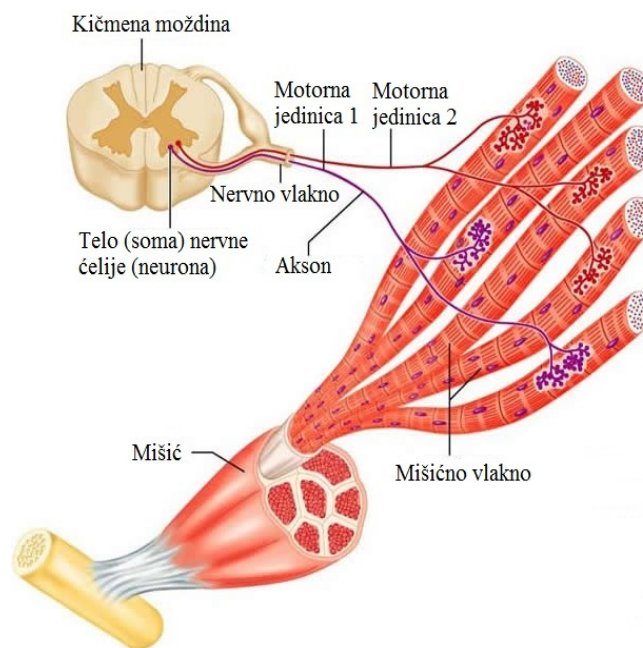
2.2.2. GRADACIJA MIŠIĆNE SILE

Pored frekvencije nervnih impulsa i broja aktinsko-miozinskih niti, na gradaciju mišićne sile značajno utiče još nekoliko mehanizama. Za njihovo objašnjenje neophodno je izneti još neke informacije koje se odnose na inervaciju mišićnih vlakana i mišićnih fascikulusa (snopova).

Ranije je naznačeno da pojedina vlakna skeletnih (porečno-prugastih) mišića mogu zasebno da se kontrahuju. To odvojeno dejstvo objašnjava se njihovom specifičnom inervacijom. Izvestan broj mišićnih vlakana, naime, udružuje se u *motorne jedinice*. Do svake motorne jedinice dolazi po jedan neuron (akson) koji donosi impulse iz motornih nervnih centara. Motorni neuroni završavaju se razgranatom mrežom nervnih vlakana (*telodendrona*) koji dopiru da svakog nervnog vlakna ponaosob. Motornu jedinicu, prema tome, gradi izvestan broj mišićnih vlakana i jedan motorni neuron koji ih inerviše. Na taj način jedan nervni impuls aktivira čitavu motornu jedinicu, odnosno jedan akson inerviše veći ili manji broj mišićnih vlakana (Slika 2-8).

Broj mišićnih vlakana u jednoj motornoj jedinici je različit. Postoje male motorne jedinice sa 10 do 12 mišićnih vlakana, kao i one velike sa nekoliko stotina, pa čak i preko hiljadu vlakana. U jednom mišiću nalaze se pomešane i velike i male motorne jedinice. Njihovo aktiviranje zavisi od veličine sile koju mišić treba da ostvari. Logično je da ukoliko se radi o potrebi za velikim naprežanjem, primat imaju velike, a u slučaju manjih naprežanja, male motorne jedinice. Mišić je veoma ekonomičan prilikom angažovanja svojih motornih jedinica budući da se na početku svakog rada najpre uključuju male motorne jedinice, dok se velike aktiviraju kao izvesna hitna pomoć prilikom velikih naprežanja ili kada se manje motorne jedinice zamore od dugih uzastopnih kontrakcija. Osim toga, tokom dužeg rada malog i srednjeg intenziteta, motorne jedinice se smenjuju u svojoj aktivnosti čime se omogućava oporavak

zamorenih mišićnih vlakana. Redak je, praktično nemoguć slučaj da se istovremeno aktiviraju sve motorne jedinice. Time se, na neki način, mišić sam čuva od prenaprezanja i povređivanja.



Slika 2-8 Ilustracija motorne jedinice

Imajući na umu objašnjenu strukturu mišića, moguće je definisati sledeća tri mehanizma za gradaciju mišićne sile:

- *Vrsta aktivnih motornih jedinica* – Kod malih i srednjih naprezanja aktivne su prevashodno male i srednje, a kod velikih krupnije motorne jedinice.
- *Broj aktivnih motornih jedinica* – Veličina ostvarene sile proporcionalna je broju angažovanih motornih jedinica. Sila se, dakle, može povećavati naknadnim uključivanjem neaktivnih motornih jedinica.
- *Sinhronizacija motornih jedinica* – Veća sila se ostvaruje sinhronizovanim aktiviranjem više motornih jedinica. Kod malih i srednjih opterećenja motorne jedinice rade naizmenično, dok se kod velikih naprezanja istovremeno uključuje veliki broj motornih jedinica. Tako se pri stvaranju maksimalne mišićne sile, kao kod

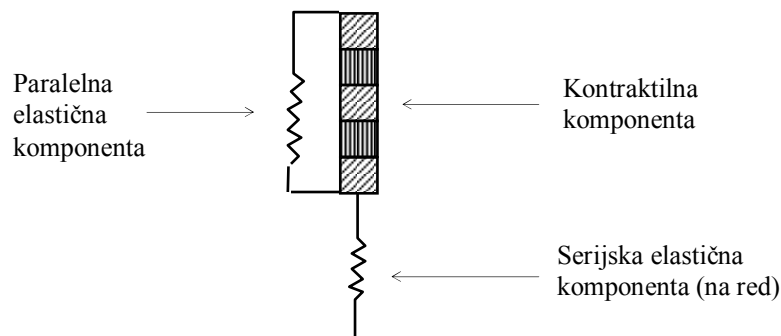
dizanja tegova na primer, istovremeno angažuje najveći broj motornih jedinica. Sistematski trening dovodi do usavršavanja sinergijskog delovanja motornih jedinica. Tako se kod netreniranih osoba istovremeno može kontrahovati maksimalno 20-25% motornih jedinica jednog mišića, dok kod dobro treniranih sportista taj broj čak prelazi 50%.

Tri opisana mehanizma gradacije mišićne sile determinisana su, očigledno, aktivnošću motornih nervnih centara smeštenih u centralnom i perifernom nervnom sistemu. Nervni sistem, dakle, igra presudnu ulogu u aktivnosti skeletnih mišića. Na to ukazuje i niz eksperimenata u kojima su istraživači nastojali da utvrde da li je hipertrofija mišićnih vlakana moguća i kao posledica električne stimulacije niskonaponskim strujama. Tom prilikom upoređivane su dve grupe ispitanika – eksperimentalna, kod koje je kontrakcija izazivana veštački pomoću električnih stimulusa i kontrolna, kod koje je kontrakcija izazivana prirodnim putem, odnosno delovanjem nervnog sistema. Uprkos približno jednakom nivou dobijene sile kod obe grupe ispitanika, hipertrofija je zabeležena samo kod kontrolne grupe, tj. kod ispitanika sa prirodnom aktivacijom mišićne mase. Elektrostimulacija, dakle, nije dovela do strukturalnih promena eksperimentalne grupe. Ovim je dokazano trofičko dejstvo nervnog sistema na hipertrofiju skeletnih mišića.

2.3. MEHANIČKI ČINIOCI U MIŠIĆNOJ KONTRAKCIJI

U strukturalnom pogledu, kod mišića se mogu razlikovati *kontraktilna* i *elastična* komponenta. Priroda kontraktilne, koju gradi mesnati deo mišića (grč. *sarx*, meso) je viskozna, što znači da se pri mehaničkim promenama otpor koji ona pruža uvećava proporcionalno brzini mehaničke promene. S druge strane, fleksibilnost mišića obezbeđuje elastična komponenta koja se može posmatrati kroz dve forme: kao serijska (ili kao elastičnost „na red“) i kao paralelna komponenta elastičnosti (Slika 2-9). Serijska komponenta elastičnosti nalazi se u produžetku kontraktilne komponente i formiraju je: tetivna vlakna, veze miofibrila sa sarkolemom i meromiozin, tj. poprečni mostići

miozina. Paralelnu komponentu elastičnosti grade mišićne ovojnice (sarkolema, endomizijum, perimizijum i epimizijum) svojom prirodnom elastičnošću.



Slika 2-9 Šematski prikaz mehaničkog modela mišića

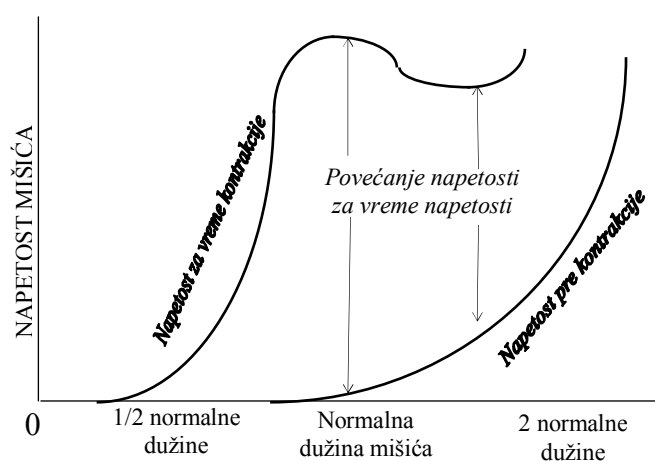
Odnosi kontraktilne i elastične komponente mišića se tokom kontrakcije menjaju. Pored promene dužine, na njih utiče brzina skraćivanja i istežanja mišića. Ti mehanički činioci doveli su do formiranja karakterističnih krivih koje definišu odnos između dužine i napetosti mišića, kao i između veličine ostvarene sile i brzine kontrakcije.

2.3.1. ODNOS DUŽINA – NAPETOST

Elastična svojstva relaksiranog mišića ispoljavaju se kao posledica istežanja tokom kojeg se razvija napetost. Dužina normalno opuštenog skeletnog mišića (*in situ*) se aktivnim istežanjem u većini slučajeva poveća maksimalno za oko 25% (kod izolovanog mišića 40%), pri čemu napetost dostiže svoje najveće vrednosti. Dezinsertovan (izolovan) mišić ima ravnotežnu dužinu koja približno iznosi 80% dužine mirovanja i pri kojoj je elastična napetost jednaka nuli, za razliku od mišića *in situ* koji i pri potpunom mirovanju poseduje izvesnu napetost (tonus). Prilikom istežanja dezinsertovanog mišića elastična napetost se progresivno uvećava sve dok se ravnotežna dužina ne udvostruči; dalje istežanje dovelo bi do kidanja elastične komponente.

Napetost koju mišić razvija prilikom kontrakcije, kao odgovor na nervni impuls (u eksperimentalnim uslovima izazvanim elektro stimulacijom), takođe zavisi od dužine mišića. Tu zavisnost opisuje karakteristična kriva *dužina – napetost* (Slika 2-10). Napetost

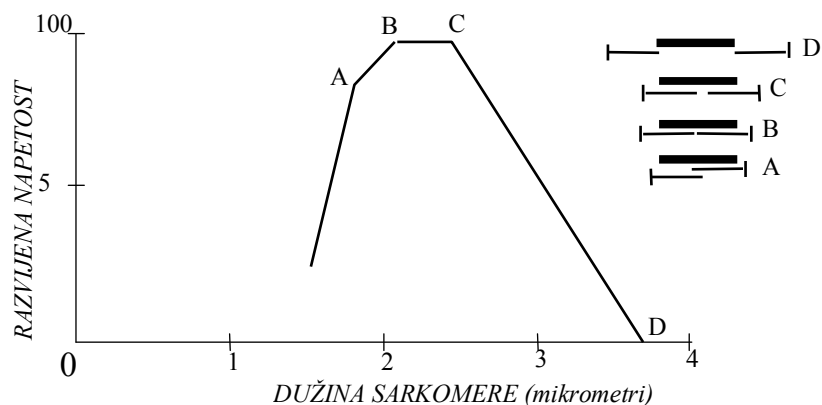
kontraovanog mišića je maksimalna ako je njegova dužina za približno 20% veća od ravnotežne dužine. Ta dužina pri kojoj mišić razvija maksimalnu napetost tokom aktivne kontrakcije, naziva se dužina mirovanja i za većinu skeletne muskulature iznosi 125% dužine dezinsertovanog mišića. Većina njih u prirodnim uslovima dostiže dužinu mirovanja pri maksimalnom ili njemu bliskom istežanju, odnosno pri krajnjem udaljavanju pripoja. Otuda je, prema DeVris-u (1976), pravilo u savremenom treningu vrhunskih sportista: „Istegni maksimalno mišić da bi postigao maksimalnu silu“.



Slika 2-10 Zavisnost sile kontrakcije od dužine kompletnog mišića. Mišić maksimalnu silu razvija ako se nadraži kada je istežnut do dužine mirovanju. Istegne li se pre kontrakcije preko normalne dužine, razvija se vrlo velika napetost u mirovanju i pre kontrakcije. Tada vezivno tkivo, sarkolema, krvni sudovi, nervi i dr., usled elastičnosti, povuku suprotne krajeve mišića jedan ka drugom. Porast napetosti u toku kontrakcije (aktivna napetost) opada ukoliko je mišić bio istežnut više od dužine mirovanja. Maksimalna napetost postepeno opada kada je mišić skraććen na dužinu manju od normalne. Skrati li se mišić na dužinu koja iznosi do 50% njegove maksimalne dužine u mirovanju, ova napetost postaje jednaka nuli (modifikovano prema Guyton-u, 1985)

Osobnosti karakteristične krive *dužina – napetost* mogu se objasniti analizom ranije opisane interakcije aktinskih i miozinskih niti u procesu kontrakcije. Radi se o tome da je napetost koju mogu da razviju miofibrili zavisna od broja poprečnih mostića koji u toku kontrakcije stupaju u kontakt s aktinskim filamentima. Najveći broj efikasnih poprečnih mostića može se realizovati kada se mišić nalazi pri dužini mirovanja. Pri manjoj dužini aktinske niti ulaze u H-zonu sarkomere u kojoj miozinske niti ne poseduju poprečne mostiće. Pri snažnoj

kontrakciji, naspramne niti aktina pokrivaju se međusobno zbog čega mostići u centralnom delu miozinske niti ne mogu da se iskoriste za kontakte s aktinom. Pri još većem skraćanju mišića krajevi miozinskih niti udaraju u Z-pregrade, pri čemu neke niti mogu biti i oštećene. Sve to vodi ka smanjenju mogućih kontakata aktinskih i miozinskih niti, što rezultira smanjenjem sile kontrakcije. Prilikom značajnijeg istežanja mišića, koje prevazilazi dužinu mirovanja, aktinske niti se izvlače iz intermiozinskih prostora čime je po-novo bitno smanjen broj kontakata aktin-miozin (Slika 2-11). Ukupna napetost u mišiću počinje ponovo da raste ukoliko se istežanje nastavi i približi krajnjim granicama koje je mišić sposoban da izdrži, pre kidanja elastične komponente.



Slika 2-11 Dijagram odnosa dužine i napetosti za jednu sarkomere. Vidi se da je sila kontrakcije maksimalna kada je dužina sarkomere 2 do 2,2 μm . Gornji desni deo slike prikazuje položaj aktinskih i miozinskih niti pri različitim dužinama sarkomere (tačka A do D). Tačka D na dijagramu označava stanje kada je aktinska nit izvučena sve do vrška miozinskih niti, tj. kada se aktinska i miozinska nit uopšte ne preklapaju. Napetost koju u ovom slučaju razvija aktivirani mišić iznosi nula. Kad se sarkomera skraćuje i kad se aktinska i miozinska nit sve više poklapaju, napetost postepeno raste, dokle god se sarkomera ne skрати na dužinu od oko 2,2 μm . U tom času je nit aktina poklopila sve poprečne mostove na miozinskoj niti, ali još uvek nije dosegla do njenog središta. Daljim skraćivanjem sarkomere napetost ostaje maksimalna, dokle god se sarkomera ne skрати da dužinu od 2 μm (tačka B). Upravo u tom času krajevi aktinskih niti počinju međusobno da se preklapaju. Kad se sarkomera skрати od 2 na svega 1,65 μm (tačka A) snaga kontrakcije oslabi. Upravo u tom času obe Z-pregrade sarkomere dodiruju krajeve miozinske niti, sila kontrakcije naglo slabi (prema Guyton-u, 1985)

Komparativnom analizom krivih datih na Slikama 2-10 i 2-11, uočavaju se izvesne razlike koje se, na prvi pogled, mogu učiniti kontradiktornim. Mesta za sumnju ipak nema, budući da prvi dijagram prikazuje odnos sile i dužine kompletnog mišića, a drugi promenu dužine jedne izolovane sarkomere. S obzirom na to da ceo mišić sadrži dosta vezivnog tkiva koje gradi elastičnu komponentu, logično je što napetost u mišiću raste tokom čitavog istezanja. S druge strane, uticaj elastične komponente izolovane sarkomere na veličinu napetosti gotovo da je zanemarljiv. Prema tome, veličina napetosti u kompletnom mišiću (*in situ*) determinisana je i kontraktilnom i elastičnom komponentom.

2.3.2. ODNOS SILA – BRZINA

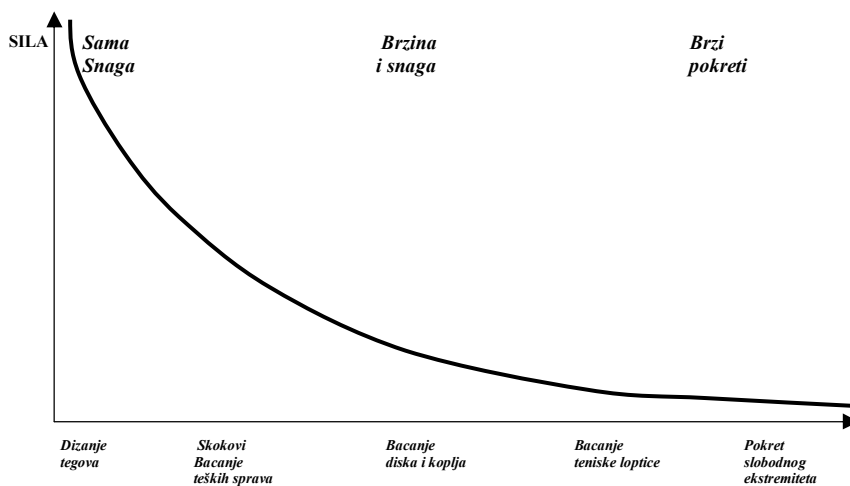
Veličina ostvarene mišićne sile proporcionalna je broju ostvarenih kontakata između miofilamenata. Istovremeno, što je kontakt brže ostvaren i što kraće traje brži će biti i spoljašnji pokret. Prema tome, u brzim pokretima smanjuje se mogućnost za veći broj istovremenih aktinsko-miozinskih kontakata čime se smanjuje i veličina ostvarene mišićne sile. Odnos brzine pokreta i sile koja se njime ostvaruje umnogome je determinisan i veličinom spoljašnjeg otpora koji se savlađuje. Primera radi, ukoliko se bacaju kugle različitih težina i pri tome izmeri brzina njihovog leta, logično je da će najveću brzinu imati najlakša, a najmanju najteža kugla. Istovremeno, za pokretanje najlakše kugle biće potrebno ostvariti najmanju, a za pokretanje najteže najveću mišićnu silu. Prema tome, veličina sile je u tom primeru obrnuto proporcionalna ostvarenoj brzini. U krajnjem slučaju, kada bi kugla bila toliko teška da ju je nemoguće pomeriti sa mesta, biće ostvarena najveća sila, jednaka maksimalnoj izometrijskoj sili mišića. Nasuprot tome, pri pokretu same ruke ostvaruje se minimalna sila, a pokret je najbrži. Bacanje standardne kugle zahteva pokret srednje brzine, uz realizaciju i sile srednje veličine. Ponavljanjem opisanog eksperimenta u laboratorijskim uslovima, moguće je dobiti karakterističnu krivu (Hilova kriva) koja matematički opisuje odnos između sile i brzine. Ona je u obliku pravouglo hiperbole (Slika 2-12).

Pokreti koji se susreću u praksi na različitim su tačkama prikazane pravouglo hiperbole. Kako je sila jednaka proizvodu mase i ubrzanja, ona može da raste bilo na račun velike mase pri malom ubrzanju ili na račun

povećanja ubrzanja pri konstantnoj masi. Odnos između sile i brzine, osim karakteristične hiperbole, opisuje i *osnovna jednačina mišićne dinamike* (Hill, 1938) koja glasi:

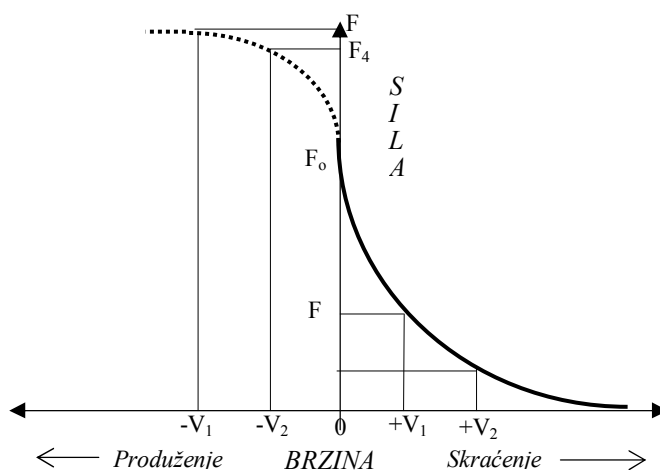
$$(F + a)(V + b) = (F_0 + a) \cdot b = \text{Const.}$$

Simbolom **F** označena je ispoljena sila, sa **F₀** maksimalna izometrijska sila, sa **V** brzina, sa **a** konstanta koja po Hill-u iznosi 25% od maksimalne izometrijske sile (0,25 F₀) i sa **b** konstanta koja se odnosi na brzinu. Konstanta **b** je empirijski određena i najviše zavisi od temperature u kojoj se pokret izvodi. Njena maksimalna vrednost je 10 dužina mišića u sekundi, dok pri temperaturi od 0°C iznosi svega 0,33 dužine u sekundi. Iz osnovne jednačine mišićne dinamike proizilazi ne samo da su sila i brzina obrnuto proporcionalne, već da su pri različitom spoljašnjem opterećenju njihova matematička zavisnost menja. Kao što sa opadanjem sile raste brzina, sa porastom brzine raste energetski utrošak. Kako sa većim utroškom energije rad postaje manje ekonomičan, neophodno je utvrditi pri kojoj brzini pokreta je mišićni rad najekonomičniji. Hill je našao, što je kasnije brojnim istraživanjima i potvrđeno, da se najefikasniji mehanički učinak postiže kada brzina kontrakcije iznosi 30% maksimalne brzine.



Slika 2-12 Odnos sile i brzine prilikom savladavanja spoljašnjeg otpora različitih veličina (Hill, 1970)

Do sada opisane relacije sile i brzine odnosile su se samo na koncentričnu kontrakciju, tj. na mišićno naprezanje tokom kojeg su se pripoji aktuelnog mišića približavali. Nešto drugačiji odnos važi za pliometrijske (amortizujuće) pokrete u kojima se mišićni pripoji tokom kontrakcije udaljavaju (na primer doskok sa visine). Ovaj odnos ilustruje kriva sigmoidnog oblika prikazana na Slici 2-13. U vezi sa njom Koc (1982) navodi da za silu i brzinu važe suprotne relacije od do onih koje opisuje Hilova kriva. To praktično znači da je u amortizujućim pokretima sila direktno proporcionalna brzini kontrakcije. Upravo u pliometrijskim pokretima (ekscentrična kontrakcija) ostvaruje se najveća mišićna sila. Otuda se u savremenom treningu snage dosta koriste pliometrijske vežbe (udarni metod, skokovi „u dubinu“ i sl.).



Slika 2-13 Odnos između sile i brzine kod amortizujućih pokreta. V_1 i V_2 – brzina smanjenja i povećanja dužine mišića; F_1 i F_2 – sile ostvarene u miometrijskom režimu rada; F_3 i F_4 – sile ostvarene u pliometrijskom režimu rada; F_0 – maksimalna izometrijska sila (prema Zaciorskom, 1975)

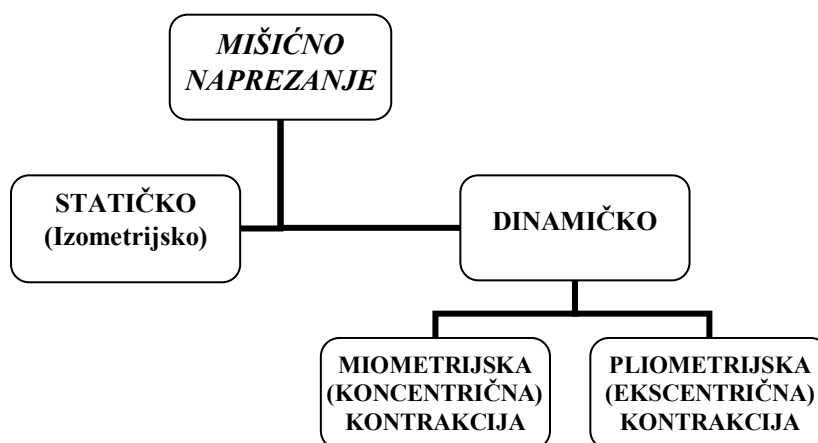
2.4. VRSTE MIŠIĆNOG NAPREZANJA

Mišić je specifičan organ sposoban za promenu dužine. Svojim skraćivanjem (*kontrakcijom*) on pokreće biomehantičke poluge i izaziva pokret. Naprezanje se odvija u različitim režimima: nekada je kontrakcija brža, nekada sporija; nekada se ponavlja u dužem vremenskom periodu

izazivajući ritmično smenjivanje kontrakcije i relaksacije, dok nekada mišićna napetost raste i bez promene dužine, odnosno uz zadržavanje statičnog položaju delova tela. U pojedinim slučajevima mišić se aktivno napreže tokom svog istezanja, što je slučaj kod amortizujućih pokreta (na primer doskoka). Prisustvo različitih režima mišićnog naprezanja nameće potrebu da se izvrši njihova sistematizacija.

Ključni kriterijum za određivanje vrste naprezanja je odnos između mišićnih pripoja u aktuelnom pokretu. Postoje tri osnovne varijante naprezanja od kojih se dva (miometrijsko i pliometrijsko) ispoljavaju u **dinamičkim** (tokom promene dužine mišića, bilo približavanja ili udaljavanja pripoja), a jedno (izometrijsko) u **statičkim** uslovima, odnosno dok pripoji napetog mišića miruju (Slika 2-14):

- *Miometrijski režim (koncentrična kontrakcija)* se ispoljava kada se mišićni pripoji približavaju, odnosno kada se mišić skraćuje uz istovremeni porast napetosti
- *Pliometrijski režim (ekscentrična kontrakcija)* se ispoljava kada se mišićni pripoji udaljavaju, odnosno kada se mišić izdužuje uz istovremeni porast napetosti
- *Izometrijski režim (statička kontrakcija)* koja se ispoljava prilikom mirovanja mišićnih pripoja odnosno, kada mišić zadržava istu dužinu (grč. *Isos* = isto) uz istovremeni porast napetosti



Slika 2-14 Klasifikacija mišićnih naprezanja

Koncentrična kontrakcija ima nekoliko tipičnih manifestacija u odnosu na brzinu i trajanje pokreta. Kada se pojedinačni pokret izvodi maksimalno brzo (na primer: šut u fudbalu, direkt u boksu i sl.) – po sredi je *balistička* kontrakcija. Ukoliko se, pak, jedan pokret neprekidno ponavlja u određenom vremenskom periodu – reč je o *repetitivnom* (ponavljajućem) režimu mišićnog naprežanja.

2.5. TIPOVI MIŠIĆNIH VLAKANA

Vlakna skeletnih mišića nisu homogena ni po sastavu ni po mehaničkim osobinama. Te razlike su odavno uočene i u početku su se odnosile samo na boju, pa su izdvojena dva osnovna tipa – *crvena* i *bela* vlakna. Savremena fiziološka i histološka istraživanja, međutim, konstatovala su postojanje najmanje tri tipa. U pogledu njihove molekularne strukture, značajnijih razlika nema, ali se zato javljaju u mnogim biohemijskim i fiziološkim svojstavima. Osnovni kriterijumi za podelu mišićnih vlakana su: (1) vreme kontrakcije koje najviše zavisi od stepena aktivnosti specifičnog enzima adenzinotrifosfataze (ATP-aza) i (2) preovlađujući mehanizam stvaranja energije tokom aktivnosti (glikolitički ili oksidativni).

Tipovi mišićnih vlakana u dosadašnjoj literaturi su različito označavani, što nekad može dovesti do male zabune. Po Stein-u i Padikula-i (1962) postoje **A**, **B** i **C** vlakna. Prva (**A** **btip**) su brze kontrakcije (kraćeg vremena kontrakcije); svetlije boje (kod nekih životinjskih vrsta), pa ih otuda zovu bela vlakna; sa malo mitohondrija i sa visoko aktivnom ATP-azom; sa veoma razvijenim glikolitičkim potencijalom i malim oksidativnim kapacitetom; i konačno, to su vlakna koja brzo podležu zamoru. Trećem (**C**) tipu pripadaju vlakna sporih kontrakcija (dužeg vremena kontrakcije); sa mnogo mitohondrija; tamnije boje (kod nekih životinjskih vrsta crvena); sa niskom aktivnošću ATP-aze; slabije izraženom glikolizom; velikim oksidativnim potencijalom i otporna prema zamoru, odnosno prilagođena dugotrajnom radu. Preostali **B** tip sačinjavaju tzv. međuvlakna sa osobinama između onih koje imaju **A** i **C** tip.

Češći termini su vlakna **I** i **II** tipa (Engel, 1962), pri čemu su vlakna **I** tipa spora (odgovaraju **C** vlaknima), a vlakna **II** tipa su brza

(odgovaraju A vlaknima). U okviru vlakna drugog izdvajaju se tri podtipa: **IIa** čiji je oksidacioni potencijal visok, a glikolitička moć umerena kao i otpornost prema zamoru; **IIb** koji čine tipična brza vlakna malog aerobnog potencijala i **IIc** koja su relativno malo diferencirana.

Istraživači su kasnije izdvojene tipove mišićnih vlakana obeležavali i nekim drugim imenima. Većina njih (na primer, Brook i Caizer, 1970; Close, 1972; Peter i sar., 1972) za prvi tip vlakana (**I**) koristi naziv *SO*-vlakna (engl. *slow twitch oxidative*; oksidativna vlakna sporog trzaja); za **IIa** podtip vlakana *FOG* (engl. *fast twitch oxidative glycolytic*; oksidativno-glikolitička vlakna brzog trzaja), a za **IIb** podtip oznaku *FG* (eng. *fast twitch glycolytic*; glikolitička vlakna brzog trzaja). Kako navode Astrand i Rodahl (1977) *SO* vlakna su najbogatija mioglobinom i imaju obimniju kapilarizaciju zbog čega kod njih dominira crvena boja.

Prema Burke-u (1981) *FOG* vlakna su relativno otporna na zamor, pa se nazivaju i *FR* vlaknima (skraćeniica engleske sintagme *fast twitch fatigue resistant*; vlakna brzog trzaja otporna na zamor). Po istoj analogiji *FG* vlakna, koja su podložna zamoru, označavaju se i kao *FF* vlakna (engl. *fast twitch fatigable*; zamorljiva vlakna brzog trzaja).

Savremeni istraživači uglavnom se drže sistematizacije koju su predložili Golnick i sar. (1973), Costyll i sar. (1976), Koc (1982) i Enoka (1994), po kojoj se sva mišićna vlakna dele u dve velike grupe: *vlakna brzog trzaja* (fast twitch ili FT-vlakna) i *vlakna sporog trzaja* (slow twitch ili ST-vlakna, kod Enoka-e, 1994 samo S-vlakna). U okviru FT vlakana izdvajaju se dve podgrupe: brza glikolitička ili *FG*-vlakna i brza oksidativno-glikolitička ili *FOG*-vlakna (Tabela 2-1).

Karakteristike		Tip mišićnog Vlakna		
		ST (S)	FOG (FR)	FG (FF)
Biohemijske (aktivnost enzima – mmol/min·kg)	oksidativni fermenti	11,5	9,0	6,5
	glikolitički fermenti	9,4	14,0	20,0
Fiziološke	vreme kontrakcije (ms)	94,3	64,5	69,6
	sila (g)	11,5	13,8	46,3
	indeks zamorljivosti	0,84	0,82	0,63

Tabela 2-1 Biohemijske i fiziološke karakteristike tri tipa mišićnih vlakana kod čoveka. Biohemijske su dobijene ispitivanjem *m. vastus lateralis-a* (prema Saltin, 1977), a fiziološke *m. gastrocnemius medialis-a* (prema Koc, 1982)

Važno je istaći da sva vlakna jedne motorne jedinice pripadaju samo jednom od pomenutih tipova, pa je ispravnije govoriti o brzim i

sporim ili nekim drugim motornim jedinicama. U jednom mišiću se nalaze pomešane motorne jedinice svih tipova. Njihov procentni odnos determiniše sva esencijalna svojstva mišića (silu, snagu, brzinu, masu, zamorljivost...). Neka istraživanja izvršena na mišićima vrhunskih atletičara (Todorović i Brdarić, 1982) pokazala su da je procenat ST vlakana daleko veći kod trkača na duge staze nego li kod prosečnih ljudi. Zapaženo je čak da su ST vlakana u mišićima tih atletičara bila za oko 20% krupnija od FT vlakana istog mišića, što nije uobičajeno.

Pojedini istraživači pokušali su da preciznije utvrde procentualnu zastupljenost brzih i sporih vlakana u različitim mišićima istog čoveka. Saltin i Karlsson (1971a) su došli do prosečnih vrednosti koje dominiraju kod većine ljudi (Tabela 2-2). Lako se uočava da ST vlakana, koja imaju veliki oksidativni kapacitet i otporna su na zamor, dominiraju u posturalnoj muskulaturi i mišićima aktivnim tokom svakodnevnih aktivnosti (hodanje, trčanje i sl.) pa su adaptirani na dugotrajne napore malog i srednjeg intenziteta. Što se tiče procentnog odnosa pojedinih vlakana, u mišićima muškaraca i žena značajne razlike nisu utvrđene.

Mišić	Procentualan zastupljenost
m. biceps brachii	49%
m. triceps brachii	33%
m. deltoideus	47%
m. vastus lateralis	51%
m. erector spinae	56%
m. gastrocnemius – lat. et med.	58%
m. soleus	84%

Tabela 2-2 Zastupljenost sporih (ST) vlakana u pojedinim mišićima prosečnih ljudi (Saltin i Karlsson, 1971a)

Sva fiziološka i biohemijska svojstva mišićnog vlakna, time i tip (ST ili FT) kojem pripada, određuje motorni neuron sa kojim je povezan. Pitanje je samo da li se taj determinizam zasniva na specifičnim trofičnim supstancama koje polaze iz motornih neurona i (ili) na obrascu pražnjenja motornih neurona koji određuju način reagovanja i biohemijske okolnosti inervisanih vlakana. Kako navode istraživači (Burke i Edgerton, 1975; Enoka, 1994) i motorni neuroni koji kontrolišu mišićna vlakna razlikuju se po svojim anatomskim i fiziološkim karakteristikama. Alfa (α) motorni neuroni za brza vlakna su krupniji, brže provode nervne impulse (oko 100 m/s), imaju viši prag razdražljivosti i njihove motorne jedinice sastoje se

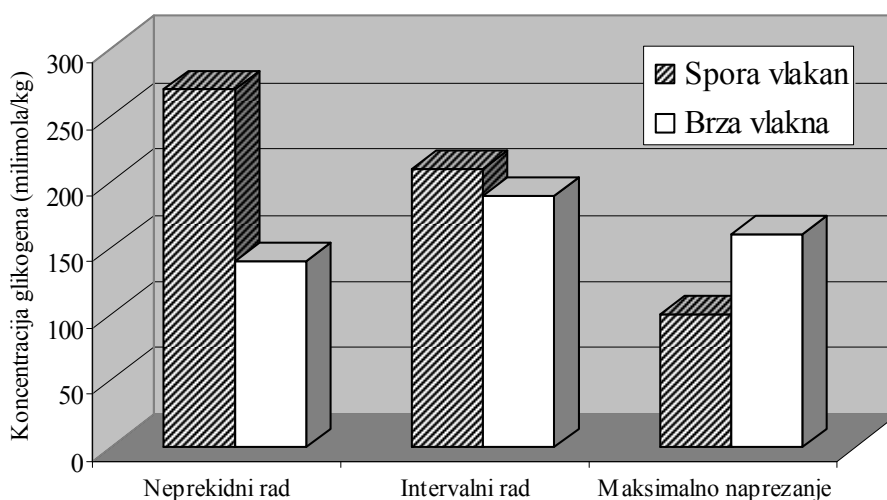
od 400 do 750 mišićnih vlakana. Alfa motorni neuroni za spora vlakna su sitniji, sporije provode impulse (oko 70 m/s), imaju niži prag razdražljivosti, a njihove motorne jedinice sastoje se od oko 150 mišićnih vlakana.

Da bi mišić razvio veće naprezanje njegovi motorni neuroni, kako je ranije objašnjeno, moraju da se podvrgnu većem broju ekscitatornih impulsa. Kao odgovor na te uticaje uvećava se broj pobuđenih (*impulsno aktivnih*) motornih neurona (Koc, 1982). Pored malih motornih neurona sa niskim pragom razdraženja, aktivni postaju i krupniji motorni neuroni sa višim pragom razdraženja. Na taj način se, sa povećanjem intenziteta ekscitirajućih impulsa, u aktivnost uključuju sve krupniji motorni neuroni. Povećanje mišićnih naprezanja, prema tome, obezbeđuje se aktiviranjem motornih neurona, počevši od malih (sporih, niskorazdražljivih), završavajući se velikim (brzim, visokorazdražljivim). Opisani mehanizam uključivanja motornih neurona, prema odgovarajućoj razmeri mišićnog naprezanja, naziva se *pravilom razmere* (Koc, 1982). Saglasno tome, najmanji motorni neuroni aktivni su u svakodnevnim, običnim, lakim poslovima, dok se krupni uključuju samo kod rada većeg intenziteta.

Prilikom duže mišićne aktivnosti umerenog intenziteta (na primer, maratonska trka, skijaško trčanje isl.) najpre se aktiviraju spori motorni neuroni i, shodno tome, ST mišićna vlakna. Postepeno, s produžavanjem rada, kontraktilna sposobnost mišićnih vlakana se smanjuje, tj. dolazi do pojave zamora. Da bi se održala potrebna mišićna sila, povećava se broj ekscitatornih impulsa što prouzrokuje aktiviranje krupnijih, brzih motornih neurona, odnosno u rad se uključuju FR mišićna vlakna. Ovim mehanizmom se objašnjava zašto se glikogen u početku rada niskog i srednjeg intenziteta najpre troši u sporim (ST), a tek kasnije brzim (FR) motornim jedinicama. Kada je u pitanju rad visokog intenziteta, koji iziskuje i veliku mišićnu silu, od samog početka se uporedo uključuju i brze i spore motorne jedinice, pri čemu se glikogenske rezerve daleko brže troše u brzim vlaknima (Slika 2-15).

Veoma često pitanje koje se pred istraživače postavlja je da li je moguće uticati treningom na promenu tipa mišićnog vlakna ili je to genetski utvrđeno svojstvo. Iz studija sa monozigotnim (jednoajčanim) i dizigotnim (dvoajčanim) blizancima Komi i Karlsson (1979) su utvrdili da je procenat SO vlakana isključivo genetski determinisan. Prema Astrandu i Rodalu (1977) i svojstva mišića koja zavise od ATP-aze

(prevashodno vreme kontrakcije) u najvećoj meri su genetski određena. Na osnovu ovih podataka zaključuje se da nije moguć prelazak vlakana iz jednog tipa u drugi. DeVris (1980) međutim, smatra da se određenom vrstom treninga FG (FF) vlakna verovatno mogu pretvarati u FOG (FR) vlakna. Prema mišljenju Salamons-a (1980), na osnovu rezultata njegovih ispitivanja sa dugotrajnom stimulacijom mišića određenom frekvencijom, plastičnost postoji, odnosno, jedan tip vlakana može prelaziti u drugi. Kao i De Vris, on veruje da se ta transformacija odnosi isključivo na brza (FT) vlakna (i to samo na FF podtip) koja donekle povećavaju svoj oksidativni kapacitet i približavaju se FR vlaknima. Uprkos ovim pretpostavkama, može se zaključiti da je tip motornog neurona osnovna determinanta tipa mišićnog vlakna. Kako je on određen rođenjem, genetska osnova je definitivno presudna za tip mišićnog vlakna. Teoretski, jedino bi hirurškom promenom inervacije motornih jedinica bilo moguće promeniti biohemijska i fiziološka svojstva mišićnih vlakana.



Slika 2-15 Smanjenje količine glikogena u sporim (ST) i brzim (FT) mišićnim vlaknima m. quadriceps femoris-a nakon različitih oblika rada na bicikl-ergometru. Prvi slučaj: neprekidni jednočasovni rad submaksimalnog intenziteta (50-60% maksimalnog utroška kiseonika). Drugi slučaj: intervalni rad (15s rada sa 70-80% maksimalnog utroška kiseonika + 15s pauza) u trajanju od jednog sata. Treći slučaj: rad maksimalnog intenziteta, do otkaza (100% maksimalnog utroška kiseonika), u trajanju od 4 do 6 minuta. (modifikovano prema Koc-u, 1982)

Tip vlakna	Procentualna zastupljenost	Površina poprečnog preseka (μm^2)			
		Muškarci		Žene	
		16 god.	20 - 30 god.	16 god.	20 - 30 god.
I (SO)	52	4880	5310	4310	3948
IIa (FOG)	33	5500	6110	4310	3637
IIb (FG)	14	4900	5600	3920	2235
Broj ispitanika		70	10	45	25

Tabela 2-3 Procentni odnos i promer tri tipa vlakana m. quadriceps femoris-a, kod muškaraca i žena različitog uzrasta (prema Saltin-u, 1977)

Istraživanjima je konstatovano da genetska osnova determiniše ne samo tip mišićnih vlakana, već i njihov broj kao i procentni odnos u jednom mišiću. To se, međutim, ne može reći i za promer mišićnog vlakna koji je najviše uslovljen aktivnošću mišića, tj. može se značajno uvećavati treningom. Osim toga, na promer vlakna dosta utiču pol i uzrast (Tabela 2-3). Tako muškarci imaju krupnija vlakna, naročito u zreloom dobu (od 20 do 30 godina). Interesantno je istaći da se većina promena vezane za hipertrofiju i atrofiju vezuju za brza (FT) vlakna.

Svojstvo	Tip vlakna		
	I (SO)	IIa (FR, FOG)	IIb (FF, FG)
Brzina kontrakcije	mala	velika	Velika
Jačina kontrakcije	mala	velika	Velika
Zamorljivost	mala	relativno velika	Velika
Aerobna moć	velik	srednji	Mali
Anaerobni kapacitet	mali	srednji	Velik
Dimenzije (promer)	manja	najkrupnija	Krupna
Kapilarna gustina	velika	relativno velika	Mala

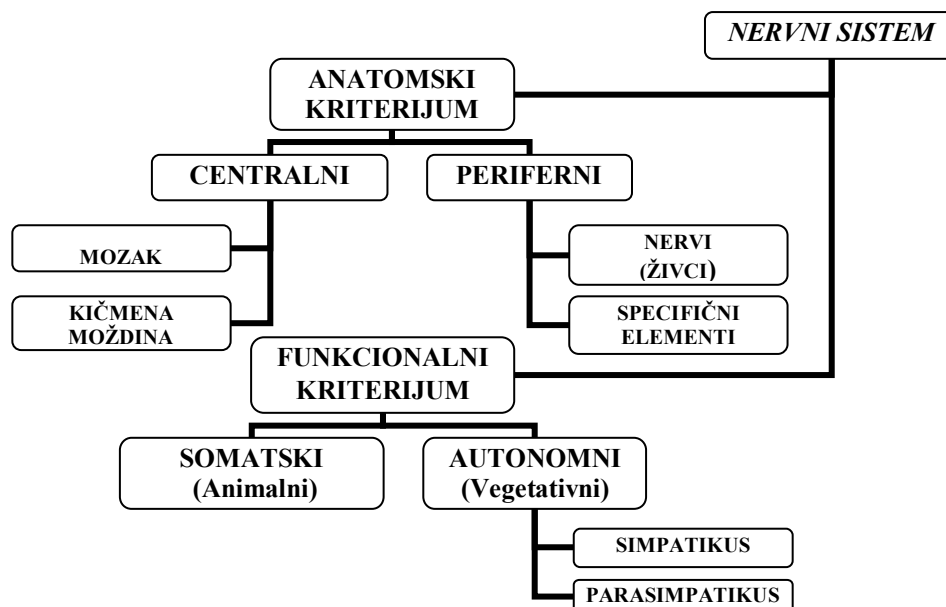
Tabela 2-4 Najvažnija fiziološka svojstva tri osnovna tipa mišićnih vlakana

3 NERVNI SISTEM I MIŠIĆNA AKTIVNOST

Nervni sistem predstavlja fiziološku osnovu kompletnog psihofizičkog života čoveka. On upravlja svim funkcijama organizma i koordinira ih u jedinstven racionalan sistem. Nervni sistem usklađuje i odnos svih funkcija kao celine prema spoljašnjoj sredini. Čisto anatomski posmatran, nervni sistem ima dva osnovna dela: *centralni* i *periferni*. Centralni čine mozak i kičmena moždina, a periferni živci (nervi) koji centralu povezuju sa najudaljenijim segmentima tela. Sa fiziološkog aspekta, međutim, nervni sistem se deli na *somatski (animalni)* i *autonomni (vegetativni, visceralni)*. Dok somatski inervira skeletnu muskulaturu i pod uticajem je čovekove volje, dotle je vegetativni zadužen za rad unutrašnjih organa i van uticaja je volje. Autonomni nervni sistem poseduje dva antagonistička dela: *simpatikus* koji ubrzava vitalne funkcije (time i metabolizam) i *parasimpatikus* koji usporava metabolizam i pomenute funkcije (Slika 3-1). Iako van domašaja volje, autonomni sistem igra važnu ulogu u sportu, jer omogućava automatsku adaptaciju svih organskih sistema (mišićnog, kardiovaskularnog, respiratornog, endokrinog...) na novonastale uslove visokog fizičkog napora i psihičkog stresa.

Nervni sistem sagrađen je od nervnog tkiva, odnosno nervnih ćelija. Svaka nervna ćelija (*neurocit*) ima telo (*soma*) i nastavke različite dužine. Kratki nastavci zovu se *dendriti*, a dugi *neuroni (neuriti ili aksoni)*. Dendriti se završavaju vrlo blizu tela i povezuju ga sa susednim nervnim ćelijama. Sa druge strane, aksoni su daleko duži (neki dostižu čak i jedan metar) i nešto su manjeg promera (debljine). Njihova uloga je da nervne centre povezuju sa periferijom i prenose nervne impulse u oba smera. U odnosu na smer impulsa, razlikuju se *eferentni* neuroni koji signale prenose od nervnih centara ka organima efektorima i *aferentni*

koji signale u vidu različitih draži prenose od periferije ka nervnim centrima.



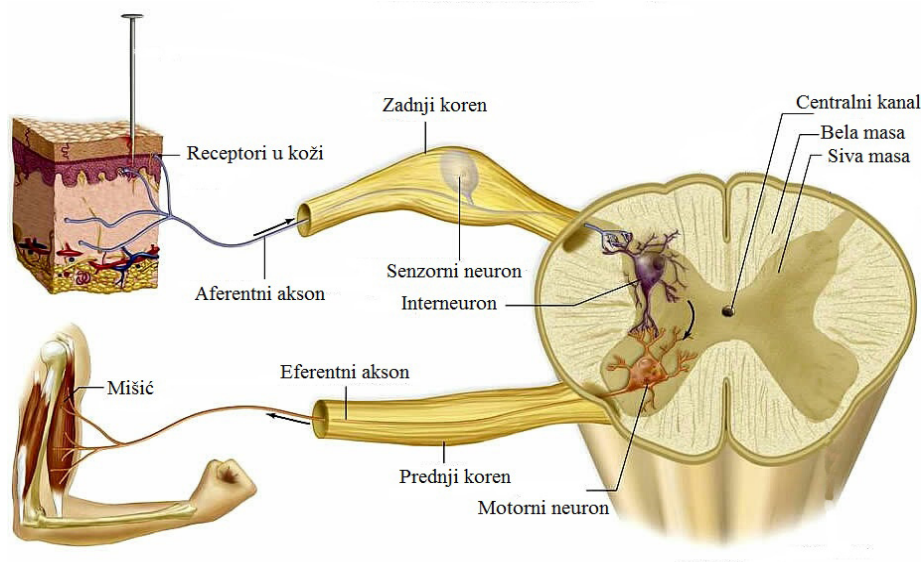
Slika 3-1 Klasifikacija nervnog sistema po anatomskom i funkcionalnom kriterijumu

Osnovna funkcionalna jedinica nervnog sistema je *refleksni luk*. Veliki deo mišićne aktivnosti odvija se uz refleksnu kontrolu. Refleks se može definisati kao odgovor efektor na nadražaj receptora, uz učešće centralnog nervnog sistema. Osnovni elementi refleksnog luka su: (1) receptor, (2) aferentni (ili senzorni) neuron (akson), (3) centar refleksa (u kontroli lokomocije reč je o motornim neuronima), (4) eferentni (ili motorni) neuron i (5) efektor (kod lokomotorne aktivnosti efektori su mišići).

Ovaj jednostavni model refleksnog luka veoma je redak i susreće se samo kod miotatičkog refleksa (refleks na istežanje mišića). Njega formiraju samo jedan aferentni i eferentni neuron gradeći jednostavan nervni spoj, označen kao *sinapsa*. Najjednostavniji model refleksnog luka zove se monosinaptički, budući da se između njegovih elementi formira samo po jedan spoj (sinapsa). Ljudska motorika, međutim, dominantno je zasnovana na složenim refleksima budući da pokrete izazivaju vrlo različiti nadražaji (u sportskim aktivnostima kretanje protivnika, pozicija

saigrača, položaj lopte, sprava i sl.). Osim toga, ni odgovori efektoru nisu jednostavne, pojedinačne kretnje, već često vrlo složene motorne radnje u kojima neke mišićne grupe deluju kao sinergisti, a druge kao antagonisiti. Njihovo dejstvo mora da bude usklađeno, što se postiže funkcionisanjem nervnog sistema. Sve to iziskuje uključivanje većeg broja neurona koji se označavaju kao posrednički, asocijacioni ili *interneuroni*. Takav složeni refleksni luk može imati nekoliko stotina, pa i hiljada sinapsi, zbog čega se zove *polisinaptički* ili *multisinaptički* refleksi.

Motorni neuroni za refleksnu kontrolu skeletnih mišića smešteni su u sivoj masi kičmene moždine. Siva masa zauzima njen središnji deo i ima dva para rogova (prednje i zadnje) od kojih polaze kičmeni (spinalni) živci. Preciznije, od rogova sive mase odvajaju se njihovi korenovi koji se po izlasku iz bele mase kičmene moždine sastaju (Slika 3-2) gradeći 31 par spinalnih živaca (8 vratnih, 12 grudnih, 5 slabinskih i 5 krsnih). Oni su kratki i odmah se, po prolasku kroz međupršljenski otvor, granaju šaljući veći broj nervnih spletova (pleksusa). Prednji korenovi sadrže eferentne motorne neurone, dok su u zadnjim smešteni senzorni neuroni aferentnog karaktera. Od prednjih (motornih) korenova polaze aksoni koji inervišu većinu skeletnih mišića i delove kože koja ih pokriva.



Slika 3-2 Poprečni presek kičmene moždine. Šematski je prikazano i kako se grade kičmeni živci (Prema Enoka, 1994)

3.1. NEURON I MOTORNA JEDINICA

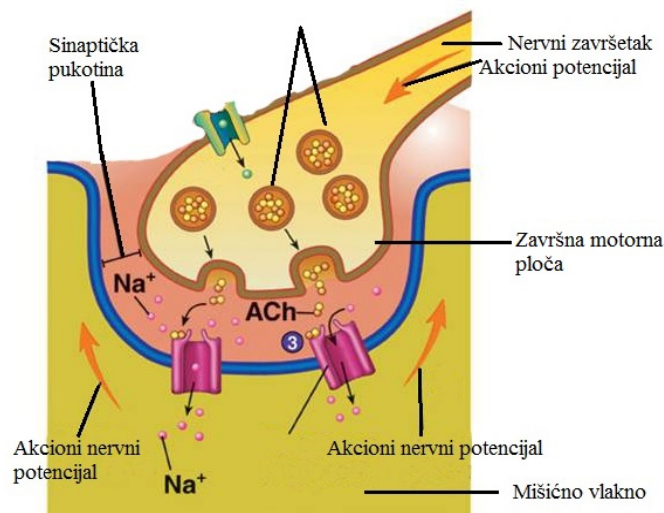
Kako je u odeljku koji se bavio strukturom mišićnog vlakna rečeno, osnovna funkcionalna jedinica mišića je *motorna jedinica*. Nju gradi izvestan broj mišićnih vlakana i neuron (i aksoni) koji ih inerviše. Svaki akson završava se razgranatom mrežom nervnih završetaka, označenih kao *telodendron*. Svaki nervni završetak dolazi do jednog mišićnog vlakna gradeći sa njim neuromuskularnu sinapsu (Slika 3-3).

Broj mišićnih vlakana u jednoj motornoj jedinici varira u zavisnosti od vrste mišića. Tako postoje vrlo male motorne jedinice sa svega 10 do 12 mišićnih vlakana i one izrazito velike sa nekoliko stotina vlakana. Valja naglasiti da jednu motornu jedinicu grade samo mišićna vlakna istog tipa (brza ili spora). Kako je ranije rečeno, sve osobine motorne jedinice, zavisi od karakteristika motornog neurona koji je kontroliše.

Neuromuskularna sinapsa se formira između jednog mišićnog vlakna označenog kao *presinaptički* deo i motorne ploče nervnog završetka koji se zove *postsinaptički* deo. Među njima nema direktnog kontakta, odnosno, između njih postoji prazan prostor (*sinaptička pukotina*) vidljiv samo pod elektronskim mikroskopom (Slika 3-2). U nervnim završecima neurona nalaze se izvesni mehurići ili kesice (lat. *vesicula-e*) u kojima je smešten acetilholin, tečnost koja deluje kao prenosilac (tran-smiter) nervnog impulsa. Kada, naime, nervni impuls dospe do nervnog završetka, iz vezikula izlazi acetil-holin i dospeva na površinu sarkoleme (opna mišićnog vlakna) izazivajući promenu postojećeg naelektrisanja koje svojim rasporedom određuju joni natrijuma i kalijuma. Na površini relaksiranog (nenadraženog) mišićnog vlakna vlada pozitivni električni naboj, a sa unutrašnje strane negativan. Posledica različitih naelektrisanja (razlike potencijala) je mali električni napon koji normalno iznosi oko 80 mV. Kada acetil-holin, pod dejstvom nervnog impulsa, prodre kroz sarkolemu u mišićno vlakno i veže se za specifične receptore, dolazi do pada napona za oko 30 mV što aktivira jone natrijuma i kalijuma koji otpuštaju svoje elektrone. Ta trenutna promena naelektrisanja izaziva depolarizaciju i stvara *akcioni nervni potencijal* koji se T-cevčicama prenosi do sarkoplazmatičnog retikuluma. Akcioni potencijal aktivira jone kalcijuma koji deblokiraju aktinsku nit stvarajući uslove za njen kontakt sa poprečnim mostićima miozina. Sa

kontakto m miofilamenata otpočinje ranije objašnjena mehanička promena mišića.

Nervni impulsi koji struje kroz neuron dospevaju do neuromuskularne sinapse različitom brzinom i različitom frekvencijom. Osim toga, različiti neuroni pokazuju i različitu postojanost pražnjenja koja se odnosi na dužinu trajanja maksimalne frekvencije. Brzina, frekvencija i postojanost pražnjenja nervnih impulsa daju neuronima specifična obeležja. Sva tri svojstva zavise najviše od promera (debljine) aksona. Brzina kojom nervni impuls putuje kroz akson, naime, direktno je proporcionalna promeru. Empirijski je utvrđeno da je brzina provođenja impulsa približno šest puta veća od promera aksona (Tabela 3-1). Frekvencija pražnjenja takođe je proporcionalna promeru aksona. Eksperimentima je utvrđeno da je razlika između početne i maksimalne frekvencije pražnjenja daleko veća kod brzih nego kod sporih neurona. Ova razlika označava se kao *postojanost pražnjenja* i pokazuje sposobnost motorne jedinice da tokom aktivacije što duže, bez većih oscilacija, očuva svoje kontraktilne sposobnosti. Postojanost pražnjenja je jedino svojstvo motornih neurona koje iskazuje obrnutu proporcionalnost u odnosu na promer. Utvrđeno je, naime, da je postojanost pražnjenja daleko veća kod sporih nego kod brzih neurona. Zato spore (ST) motorne jedinice dominiraju kod osoba predisponiranih za sportove tipa izdržljivosti.



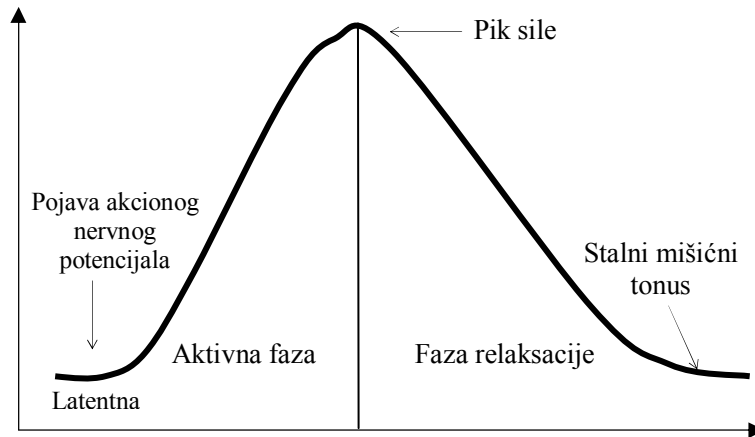
Slika 3-3 Ilustracija neuromuskularne sinapse

Grupa	Tip nervnog vlakna	Promer aksona (μm)	Brzina provodljivosti (m/s)
A	α	12 - 20	70 – 120
	β	5 - 12	30 – 70
	γ	3 - 6	15 – 30
	δ	2 - 5	12 – 30
B		< 3	3 – 15
C		0,4 - 1,2	0,5 – 2

Tabela 3-1 Vrste nervnih vlakana. Do sada je otkriveno nekoliko vrsta neurona. Za motornu kontrolu od značaja su prvenstveno alfa (α) i gama (γ) motorni neuroni, od kojih su prvi povezani sa mišićnim (ekstrafuzalnim), a drugi sa intrafuzalnim vlaknima mišićnog vretena

3.2. PROSTA I SLOŽENA MIŠIĆNA KONTRAKCIJA

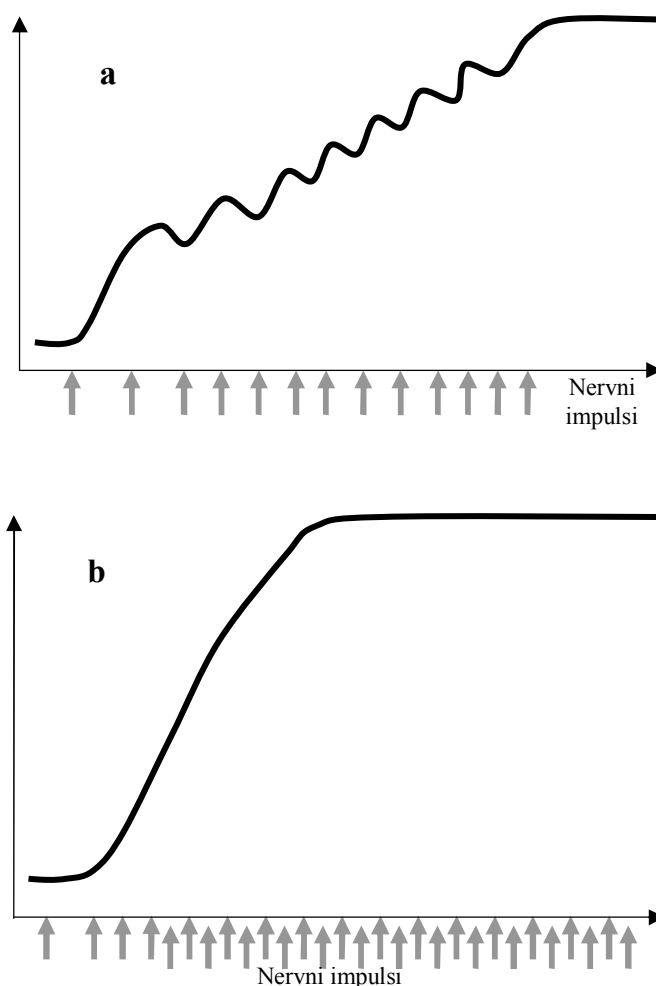
Kompletan ciklus funkcionisanja jedne motorne jedinice može se podeliti u tri faze: (1) latentnu fazu koja se poklapa sa vremenom razdraženja motorne jedinice, (2) aktivnu i (3) fazu relaksacije. Najveći deo ukupnog vremena kontrakcije otpada na fazu relaksacije, a najmanji na latentnu. Elektromiografijom je utvrđeno da je aktivna faza dvostruko kraća od faze relaksacije. Ovaj trofazni mehanizam nastaje pod dejstvom samo jedne salve nervnih impulsa i zove se prosta kontrakcija ili *mišićni trzaj*. Njegov miogram otuda ima paraboličan oblik (Slika 3-4). Ukupna dužina trajanja mišićnog trzaja je različita za pojedine tipove mišićnih vlakana. Za spora vlakna ono iznosi 100 do 200, a za brza oko 50 milisekundi. U svakodnevnom kretanju čoveka, a naročito prilikom sportskih aktivnosti, prosta mišićna kontrakcija gotovo da se ne susreće. Za savladavanje bilo kog otpora, naime, potrebno je ostvariti daleko veću silu od one koja se dobija običnim trzajem.



Slika 3-4 Pojednostavljeni miogram proste mišićne kontrakcije (trzaja)

Većina ljudskih pokreta realizuje se složenom mišićnom kontrakcijom ili *mišićnim tetanusom* koji, zapravo, predstavlja sumaciju više uzastopnih trzaja. Tetanusna kontrakcija nastaje kao posledica veće frekvencije pražnjenja kojom se na neuromuskularnu sinapsu emituje veliki broj nervnih impulsa. Učestalost pristizanja tih impulsa je tolika da se oni emituju i tokom relaksacije mišićnog vlakna. Minimalni broj impulsa za složenu kontrakciju sporih motornih jedinica je između 20 i 30 Hz, a za brze motorne jedinice između 30 i 50 Hz. Za aktivaciju složene mišićne kontrakcije (tetanusa) najkrupnijih motornih jedinica potrebno je frekvencija nervnih impulsa od oko 100 Hz za nepotpuni i čak 200 Hz za potpuni tetanus, što je karakteristično za naprezanja izuzetno visokog intenziteta koja su u stanju da ostvare samo vrhunski sportisti.

Sa porastom frekvencije pražnjenja raste i sila. Na osnovu brzine pristizanja nervnih impulsa do motorne jedinice, moguće je razlikovati dve varijante tetanusa: *nepotpuni* (zupčasti) i *potpuni* (sliveni). Kod nepotpunog, nove salve impulsa pristižu na samom početku faze relaksacije tako da njegov miogram ima stepenast oblik, dok je kod potpunog učestalost impulsa tolika da oni neprekidno stižu još dok je motorna jedinica u aktivnoj fazi (Slika 3-5). Maksimalna mišićna sila ostvaruje se potpunim tetanusom. Međutim, on traje veom kratko budući da izaziva veliki zamor muskulature. Odnos maksimalne sile ostvarene prostom i složenom kontrakcijom ilustruje *tetanusni indeks* koji za spore motorne jedinice iznosi oko 0,4 (1 : 2,5), a za brze čak 0,25 (1 : 4).



Slika 3-5 Pojednostavljeni miogrami složene mišićne kontrakcije (tetanusa). a – nepotpuni (zupčasti tetanus); b - potpuni (sliveni) tetanus.

3.3. VREME REAGOVANJA I VREME POKRETA

Od velikog značaja za uspeh u sportskom nadmetanju je brzina kojom pojedinac reaguje u određenoj situaciji. Tako pravovremeni start u

atletskom sprintu može da odluči pobednika, dok u sportskim igrama duele dobijaju ili osvajaju loptu oni koji brže reaguju. Uopšte uzev, moguće je razlikovati tri osnovna oblika ispoljavanja brzine: (1) vreme reagovanja, u literaturi označavano i kao latentno vreme motorne reakcije, (2) vreme pokreta ili brzinu pojedinačnog pokreta, te (3) frekvenciju pokreta (broj ciklusa u jedinici vremena). U praksi ipak najviše zastupljeno kompleksno ispoljavanje brzine, odnosno kombinacija sva tri oblika.

Vreme reagovanja se definiše kao interval između pojave stimulusa i prvog znaka motornog odgovora. Sa stanovišta refleksnog luka to bi bilo vreme koje protekne od pojave draži do aktiviranja efektora. Najveći deo vremena ove faze, označene kao latentno vreme reakcije (ili psihološko vreme reakcije), troši se na prenos razdraženja kroz nervnu mrežu i stvaranje efektornog signala. Kada je u pitanju vreme reagovanja obično se pojavljuje dilema da li je bolje da sportista svoju pažnju usmeri na pokret ili na nadražaj, kako bi se motorna reakcija ubrzala. Kada se pažnja usredsredi na pokret, reč je o motornoj usmerenosti, a kada se usmeri na nadražaj (na primer pucanj prilikom starta trke na 100 metara) reč je o senzornoj usmerenosti. Veoma rasprostranjeno mišljenje među trenerima i sportistima je da bi prednost trebalo dati motornoj, iako su eksperimenti ukazali na izvesnu prednost senzorne usmerenosti.

Vreme pokreta predstavlja interval između početka i završetka pokreta i vezano je za brzinu izvođenja pojedinačnih pokreta od trenutka aktiviranja motornih efektora (mišića). Vreme pokreta se nastavlja na vreme reagovanja, a zapaženo je da nije isto za sve mišićne grupe jednog čoveka. Neko će veoma brzo pokret izvesti rukom, dok će mu pokreti noge biti sporiji.

Brzinske sposobnosti čoveka su veoma specifične, a transfer brzine prisutna je samo kod koordinacijski sličnih pokreta. Uprkos brojnim empirijskim istraživanjima, još uvek se ne zna pouzdano da li se vreme pokreta može predvideti na osnovu vremena reagovanja. Istraživanja su, međutim, ukazala na značajan uticaj uzrasta i pola, kako na vreme reagovanja tako i na vreme pokreta. Utvrđeno je da bolje rezultate u oba obeležja imaju mlade osobe i da žene imaju sporije vreme reagovanja i vreme pokreta za oko 15% (nekada i 30%).

3.4. PROPRIOCEPCIJA I KINESTEZIJA

Da bi se postigla efikasna kontrola motoričkih obrazaca u centralnom nervnom sistemu (mozgu i kičmenoj moždini) neophodan je stalni dotok senzornih informacija o realizovanim pokretima. Ta senzorna povratna sprega o kretanju i položaju sopstvenog tela u prostoru označen je kao *propriocepcija* (lat. *proprius*, sopstveni). Postoje dve vrste receptora za propriocepciju (*proprioceptora*): prvu predstavlja vestibularni aparat smešten u unutrašnjem uhu, a drugu brojni kinestetski receptori smešteni u delovima aparata za kretanje, prevashodno u mišićima. Vestibularni receptori reaguju prevashodno na promene položaja glave registrujući promene u vezi sa ravnotežom i kretanjem kompletnog tela. Kinestetski receptori registruju promene položaja delova tela stvarajući osećaj pokreta (*kinestezija*). Oni su u stanju da bez vizuelne kontrole informišu više nervne centre o međusobnom odnosu pojedinih biomehaničkih poluga, o veličini ugla koji one zaklapaju i amplitudi realizovanog pokreta. Osim toga, kinestetski receptori utiču na mišićni tonus, regulišu istežanje i stanje relaksacije muskulature, te imaju važnu ulogu u realizaciji funkcionalne sinergije različitih mišićnih grupa (agonista i antagonista).

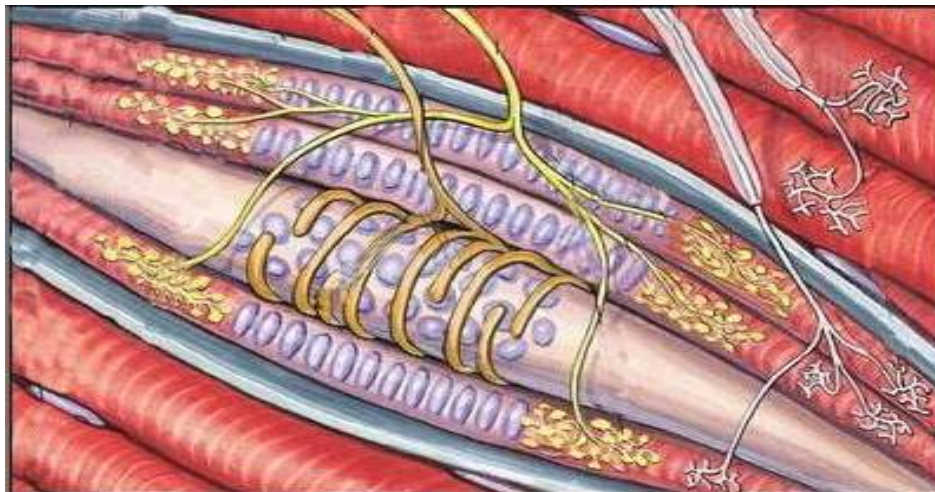
Istraživanjima je registrovano nekoliko vrsta proprioceptora odgovornih za kinesteziju čoveka, a za motornu kontrolu sportista najznačajnijim su se pokazali: (1) mišićno vreteno (*fuzus*), (2) Goldžijev tetivni organ, (3) Pačinijeva telašca (*corpusculi*) i (4) Rufinijevi receptori. Oni su neposredno odgovorna za osećaj pokreta s obzirom na to da registruju mehaničke promene u zglobovima i mišićima i imaju zajedničko ime – *mehanoreceptori*.

Mišićno vreteno (*fuzus*) je dovoljno veliko da bi se videlo i golim okom. Dužine je od 4 do 10 mm i promera od 80 do 200 μm (mereno u središnjem delu gde je najdeblje). Mišićna vretena su široko rasuta u mišićnom tkivu, na šta ukazuje veliki broj eferentnih vlakana koja ih opslužuju. Njihova raspodela je, međutim, veoma različita od mišića do mišića. Broj vretena, naime, daleko je veći u mišićima odgovornim za precizne motorne radnje, kao što su mišići šake i prstiju. Kod njih se u jednom gramu mišićne mase može naći čak 30 vretena, za razliku od mišića aktivnih u grubim pokretima, kakav je na primer latisimus dorzi u kojem se nalazi samo jedno vreteno na gram mišićne mase.

Mišićna vretena sastoje se od pet do devet specifičnih vlakana, označenih kao *intrafuzalna* (IF) vlakna (lat. *fusus*, vreteno; *intra*, unutra). Iako ulaze u sastav mišića, ova vlakna bitno se razlikuju od klasičnih mišićnih vlakana⁶. Sva IF vlakna obavija membrana obezbeđujući im samostalnost u odnosu na okolinu. Intrafuzalna vlakna, označena još i fuzimotorna, postavljena su paralelno sa ektrafuzalnim mišićnim vlaknima, koja se označavaju i kao skeletomotorna. Na taj način intrafuzalna vlakna uvek prate promene dužine mišićnih vlakana što je od posebnog značaja za proprioceptivnu regulaciju mišićne aktivnosti. Do sada su otkrivena dva tipa intrafuzalnih vlakana. Prvi karakteriše oko 12 zgomilanih jedara u središnjem delu vlakna u obliku kese, zbog čega se zovu *nuclear bag* (engl. *nuclear*, jedro; *bag*, kesa, torba). Drugi tip IF vlakana ima manje jedara i to grupisanih u jednom nizu, poput lanca, zbog čega se zovu *nuclear chain* (engl. *chain*, lanac). U jednom mišićnom vretenu obično se nalaze po dva nuclear bag i tri do sedam nuclear chain vlakana. Na krajevima svakog IF vlakna, bez obzira na tip, nalaze se kontraktilni elementi (motorni polovi) sastavljeni od poprečnoprugastih miofibrila. Motorne polove inervišu gama neuroni (γ), za razliku od ektrafuzalnih mišićnih vlakana koji su pod kontrolom alfa neurona (α). Pomenuta gama vlakna su eferentnog karaktera zato što iz odgovarajućeg nervnog centra donose efektorne signale u vreteno izazivajući njihovu, kao i kontrakciju okolnih mišićnih (ektrafuzalnih) vlakana. Od mišićnih vretena polaze i aferentni neuroni koji su od posebnog značaja za propriocepciju. Oni do nervnih centara prenose signale o promeni dužine mišića, prvenstveno o istezanju. Budući da su vretena postavljena paralelno sa običnim mišićnim vlaknima, svako istezanje mišića dovodi i do deformacije intrafuzalnih vlakana (Slika 3-6), što se u vidu senzorne draži prenosi do nervnih centara. Odgovor na ove senzorne informacije je kontrakcija klasičnih mišićnih vlakana i predstavlja *miotatički refleks* ili refleks na istezanje. Prema tome, istezanje mišića registruju aferentni neuroni intrafuzalnih vlakana, a kao odgovor nastupa refleksna kontrakcija mišića. Tipičan primer za to je patelarni refleks koji se javlja kada fizijatar čekićem udari po završnoj tetivi *m. quadriceps*-a izazivajući refleksno podizanje potkolenice. Sličan

⁶ Budući da se nalaze izvan ovojnice (membrane) vretena, klasična mišićna vlakna nazivaju se ektrafuzalna vlakna (lat. *fusus*, vreteno; *externo*, izvan).

motorni odgovor je kada se čovek oklizne. Tada se iznenada istegnuti mišići kontrahuju s ciljem da zadrže ravnotežni položaj.



Slika 3-6 Raspoređivanje mišićnih vretena među ekstrafuzalnim vlaknima

Pomoću miotatičkog refleksa mišić se brani od povreda nastalih prekomernim iznenadnim istežanjem. Biomehanika razlikuje dva tipa istežanja: *statičko* i *dinamičko* (ili *fazno*). Dok se statičko odnosi na očuvanje ravnotežnog položaja, fazno se vezuje za brzinu uspostavljanja istegnutog (ekstendiranog) položaja. Prvi tip istežanja, dakle, susreće se u sporim (laganim), a drugi u brzim (eksplozivnim) pokretima kakvi su mnogo češći u sportskim aktivnostima. Kako je za sportiste nekada veoma značajno da brzo izvedu pokret sa velikom amplitudom, mišićna vretena nekada mogu biti ograničavajući faktor, pa čak dovesti i do povrede. Ukoliko se, naime, desi da miotatički refleks nastupi u fazi brzog istežanja mišića, može doći do pucanja njegovih vlakana. Mišićna vretena, dakle, imaju kontradiktornu ulogu – nekada deluju kao zaštita aparata za kretanje, dok u drugim situacijama limitiraju pokret. Istežanju je zato neophodno pružiti potrebnu pažnju u sportskom treningu. Mišićna vretena svoju proprioceptivnu i kinestetsku ulogu obavezno usklađuju sa aktivnošću Goldžijevih tendinoznih organa (GTO) koji su smešteni u tetivama mišića.

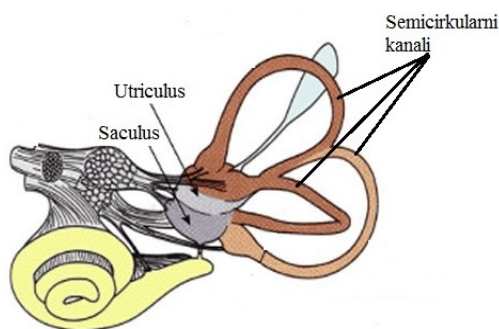
Goldžijev tetivni organ (GTO) je kinestetski receptor u obliku čaure (kapsule), promera oko 200 i dužine oko 700 μm . Postavljeni su u

seriji sa mišićnim vlaknima, pa se deformišu sa promenom napona u tetivama, bilo pasivnim istezanjem ili aktivnom kontrakcijom mišića. Promene u njima registruju i do motornih nervnih centara prenose aferentni (senzorni) neuroni. Odgovor na deformaciju GTO-a je opuštanje mišića, za razliku od vretena koja izazivaju kontrakciju. Goldžijevi tetivni organi, očigledno, imaju inhibitorno (kočeće) dejstvo na mišić. Postoje pouzdani dokazi da oni koče ne samo mišić iz kojih potiču aferentni impulsi, već i čitavu funkcionalnu mišićnu grupu. Na taj način mišić se sam štiti od prejake kontrakcije, pa se mehanizam delovanja GTO često naziva i *autogenetska inhibicija*. Kako su miotatički refleksi (kao posledica delovanja mišićnih vretena) i autogenetska inhibicija (nastala pod dejstvom GTO) antagonističke proprioceptivne radnje, logično je zapitati se kada istezanje mišića aktivira jedan, a kada drugi mehanizam. Odgovor leži u činjenici da aferentni neuroni mišićnih vretena imaju niži prag draži i aktiviraju se pre Goldžijevih tetivnih organa, dakle, već pri malom istezanju mišića. S druge strane, GTO se zbog višeg praga draži aktivira tek sa pojavom većeg istezanja. GTO prouzrokuje autogenetsku inhibiciju tek kada istezanje dosegne kritičnu granicu. Zato se u treningu usmerenom na istezanje prvenstveno primenjuju sporiji i duži pokreti kojima se dostiže prag draži Goldžijevih tetivnih organa.

Pačinijeva telašca (*corpuseuli*) su proprioceptori u obliku kapsule sastavljene od više slojeva vezivnog tkiva u kojem se granaju nervni završeci (njihov poprečni presek podseća na uzduž presečeni crni luk). U najvećem broju su koncentrisana u oblasti zglobova, ovojnica mišića i tetivama, mada ih ima i u koži. Njihovu aktivnost izaziva pritisak nastao kontrakcijom mišića. Oni su, izgleda, značajniji od mišićnih vretena i Goldžijevih tetivnih organa za otkrivanje pasivnog pokreta ili položaja nekog segmenta tela u prostoru.

Rufinijevi receptori raspršeni su između kolagenih vlakana zglobnih čaura i aktivira ih kretanje u zglobu. Verovatno su najvažniji za osećaj pokreta. Usled pražnjenja njihovih aferentnih neurona čovek je u stanju da i bez vizuelne kontrole odredi ugao u nekom zglobu ili da izvrši precizne motorne radnje. Svaki rufinijev receptor ima suptilno izdiferencirane nervne završetke koji registruju pokrete samo u određenim uglovima. Registrovanje pokreta se odvija po segmentima, a kinestetski osećaj nastaje kao posledica integracije aferentnih impulsa.

Značajnu ulogu u proprioceptiji i kinesteziji igra i unutrašnje uho u kojem je smešten *vestibularni aparat* zadužen za registrovanje položaja glave u prostoru. Vestibularni aparat zahvata neauditivni deo unutrašnjeg uha i ima složenu anatomsku strukturu zbog koje ju je još grčki lekar Galen nazvao lavirintom (*labyrinthus*). Smešten je u šupljinama piramide slepoočne kosti (*pars petrosa*). U stukturu koštanog lavirinta smešten je vitalni deo vestibularnog aparata (*labyrinthus membranaceus*) potpuno analogne građe. Odnos koštanog i opnastog (membranoznog) lavirinta podseća na odnos šake i rukavice koje se potpuno uklapaju jedna u drugu. Proprioceptivne funkcije vestibularnog aparata obavlja pet međusobno povezanih anatomskih elemenata: dva kesasta proširenja u središnjem delu označena kao mešinica i kesica (*utrículus et saculus*) i tri polukružna (*semicirkularna*) kanala postavljenih u tri različite ravni (Slika 3-7).



Slika 3-7 Izgled opnastog dela vestibularnog aparata

Unutrašnjost svih pet opnastih elemenata ispunjava endolimfa koja prati ne samo promene položaja glave u miru i kretanju, već i promene pravca i brzine njenih pokreta. Na unutrašnjim zidovima utrikulusa, sakulusa i semicirkularnih kanala nalaze se specifični statički receptori⁷ koji reaguju na pokretanje endolimfe i svoje senzacije,

preko vestibularnog dela osmog moždanog živca (*n. Vestibulocochlearis*), šalju u ekstrapiramidalne centre gde se, kao motorni odgovor, formira kontrakcija odgovarajuće muskulature usmerena na očuvanje ravnoteže. Budući da su semicirkularni kanali postavljeni u tri različite ravni, vestibularni aparat pokriva kompletan trodimenzionalni prostor u kojem se čovek kreće. Prema tome, svaki pokret tela (prvenstveno glave), bilo pravolinijski, isprekidani ili rotacioni, prati endolimfa stvarajući adekvatne draži za vestibularne proprioceptore.

⁷ Epitel unutrašnjih zidova elemenata vestibularnog aparata formira treplje (*ciliae*) koje se pokreću pod uticajem endolimfe. Na vrhovima treplji utrikulusa i sakulusa nalaze se kristali kalcijuma (*statoconiae*) od kojih se formira otolitno telo. Vrhovi treplji semicirkularnih kanala formiraju *kinocilijum*. Dok glava miruje ne kreću se ni otolitno telo ni kinocilijum. Proprioceptivna draž nastaje tek sa promenom brzine.

Kvalitet vestibularnog aparata presudan je u sportovima sa brzim promenama kretanja i raznovrsnim rotacijama.

3.5. VIŠI NERVNI CENTRI I MOTORNA KONTROLA

Prethodne informacije o mišićnoj kontroli odnose se na nevoljne (refleksne) nervne mehanizme. Kako je skeletna muskulatura označena kao voljna, dalja pažnja usmerena je na nervnu kontrolu voljnih pokreta. Ona se obavlja preko viših motornih centara, prvenstveno piramidalnog sistema smeštenog u kori velikog mozga (*cortex-u*) i subkortikalnih sistema – ekstrapiramidalnog i proprioceptivnog cerebelarnog.⁸ Ova tri sistema (*piramidalni, ekstrapiramidalni i cerebelarni*) povezana su u kompleksnu funkcionalnu celinu koja upravlja svom humanom lokomocijom.

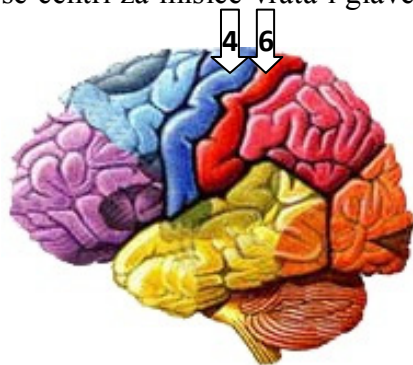
3.5.1. PIRAMIDALNI MOTORNI SISTEM

Piramidalni sistem za motornu kontrolu je najviši oblik nervnog regulisanja najsloženijih voljnih pokreta. Njegovi glavni strukturalni elementi su primarni motorni centar u kori velikog mozga i direktni motorni putevi. Kora velikog mozga (*cortex*) filogenetski je najmlađi deo nervnog sistema i sastoji se od oko 14 milijardi nervnih ćelija. Na poprečnom preseku korteksa uočava se šest slojeva neurona različitog oblika i veličine, sa posebnom funkcionalnom ulogom. U šestoslojnoj strukturi izdvaja se nekoliko citoarhitektonskih polja u kojima su smešteni najviši nervni centri značajni za kontrolu svih životnih funkcija. Postoji nekoliko mapa tih polja, a u literaturi je najčešće korišćena Brodmanova prema kojoj su sva polja podeljena u tri grupe: (1) motornu, (2) senzornu i (3) senzori-jalnu. Za materiju iznetu u ovoj knjizi od značaja su samo motorni centri (slika 3-8).

Primarni motorni centar nalazi se u prednjoj centralnoj vijuzi čeonog režnja kore velikog mozga i po Brodmanovoj mapi označen je

⁸ *Cerebelum* je latinski naziv za mali mozak.

kao zona 4. Grade ga izvesne Becove ćelije piramidalnog oblika po kojima je primarni motorni centar dobio naziv. Tu su smešteni najviši nervni centri za kontrolu ljudskog kretanja. Interesantno je da površina piramidalne regije nije podeljena proporcionalno veličini mišićne mase koju inerviše. U njoj su, naime, otkrivena tri dela: u donjoj trećini nalaze se centri za mišiće vrata i glave, u srednjoj za šaku, a u gornjoj su centri



Slika 3-8 Mapa pojedinih zona kore velikog mozga. Piramidalni centar se nalazi u zoni 4, a ekstrapiramidalni u zoni 6

za regulaciju kompletne preostale telesne muskulature.

Šema svih ljudskih pokreta, kako jednostavnih tako i koordinacijski najsloženijih, formira se u piramidalnoj zoni korteksa. Značajno je naglasiti da je nervna aktivnost ove zone orjentisana ka pokretu, a ne ka mišiću, što znači da njena stimulacija dovodi do sinergijskog delovanja više mišićnih grupa, a ne do pojedinačne aktivacije mišića. U ovoj zoni se stvaraju samo kretni obrasci, dok se ideja o pokretu

formira u drugim centrima, najčešće premotornim i somatosenzornim. Premotorni nervni centri naročito su aktivni prilikom učenja novih pokreta, dok su somatosenzorni uglavnom zaduženi za obradu povratnih informacija.

Piramidalni putevi su direktni budući da impulse iz motornih centara, bez ikakvih posrednika, prenose do jedara moždanih i kičmenih živaca, odakle se razvija mreža za inervaciju svakog pojedinačnog mišića. Iz piramidalne zone korteksa polazi veliki broj aksona (neurona) od kojih se većina (oko 85%) ukršta na granici između produžene i kičmene moždine gradeći piramidalnu raskrslu. Preostalih 15% motornih neurona ulazi u kičmeni kanal i pred svoj kraj se takođe ukrštaju. Ovo ukrštanje dovodi do suprotne inervacije leve i desne strane ljudskog aparata za kretanje. Dok leva moždana hemisfera reguliše rad desne, dotle desna hemisfera upravlja radom leve strane tela. Ukrštanje piramidanih puteva dovodi do pojave ukrštenog i dinamogenog efekta vežbanja kojima je posvećen poslednji odeljak ove knjige.

3.5.2. EKSTRAPIRAMIDALNI SISTEM

Pored piramidalnog, za regulaciju humane lokomocije odgovoran je i ekstrapiramidalni motorni sistem (lat. *extra*, izvan, spolja) koji je povezan sa nižim (subkortikalnim) nervnim centrima. Za razliku od piramidalnog, koji upravlja preciznim (specifičnim) pokretima, ekstrapiramidalni sistem reguliše grublje, krupnije, svakodneve lokomotorne radnje. Ekstrapiramidalni motorni centri odgovorni su za obrasce velikih globalnih pokreta koji se često nazivaju automatizovanim lokomotornim radnjama. Osim toga, delovanje ovog sistema važno je za posturalne funkcije i regulaciju mišićnog tonusa. Prema pomenutoj Brodmanovoj šemi citoarhitektonskih polja, ekstrapiramidalnom sistemu pripada **zona 6** kore velikog mozga koja se nalazi ispred piramidalne zone. U ekstrapiramidalnu regiju aferentni impulsi stižu ne samo iz neposredno nadređene primarne motorne (piramidalne), već i iz somatosenzorne zone.

U funkcionalnom smislu, u sastav ekstrapiramidalnog sistema, pored zone 6 korteksa, ulaze još i subkortikalni motorni centri:

Prugasto telo (*corpus striatum*) – Najveća subkortikalna siva masa. Uz mali mozak, ono ima najvišu ulogu u ekstrapiramidalnom sistemu. Sa višim nervnim centrima korteksa (sa zonom 6) povezano je dvosmernim putevima koji tokom života omogućavaju postepenu automatizaciju složenih pokreta. Preko eferentnih puteva ekstrapiramidalna zona 6 šalje informacije u prugasto telo dajući na taj način ljudskim pokretima preciznost i individualne odlike.

Crveno jedro (*nucleus ruber*) – Nalazi se u centralnoj sivoj masi srednjeg mozga i u sebi sadrži jedinjenja gvožđa koja mu daju crvenu boju. U raznovrsnim pokretima, stavovima i položajima tela, usklađuje kontrakcije aktuelne muskulature. Njegove funkcije pobuđuju se kao odgovori na razdraženja malog mozga, vestibularnog aparata i receptora dubokog senzibiliteta (proprioceptora).

Soemeringova crna masa (*substantia nigra*) – Ulazi u sastav srednjeg mozga. Iako nije dovoljno ispitana, izgleda da ima značajnu ulogu za struktuiranje kretanja u stresnim situacijama i reguliše odnos između emotivnog stanja i psihofizičkih naprezanja čoveka.

Maslinasto jedro (*nucleus olivaris*) – Nalazi se u maslinastom ispupčenju produžene moždine. Sekundarno je formirano i dovodi se u vezu sa čovekovim uspravnim stavom, odnosno, posturalnim refleksima.

Mali mozak (*cerebellum*) – Prema mnogim istraživačima, to je najvažniji subkortikalni centar odgovoran za refleksnu motoriku čoveka. U malom mozgu susreću se i delimično obrađuju informacije iz gotovo svih eferentnih i aferentnih ekstrapiramidalnih puteva, pa je zato često označen kao glavna ganglija nervnog sistema. Mali mozak dobija stalne senzorne informacije od receptora u mišićima, tetivama, zglobovima i koži, kao i od vizuelnih, auditivnih i vestibularnih receptornih organa. On je blisko povezan sa svim motornim centrima, od piramidalne zone korteksa do kičmene moždine. Uprkos ovako bogatom senzornom prijemu, u malom mozgu ne dolazi do svesne, već refleksne obrade prispelih senzacija. Otuda *cerebellum* ima glavnu ulogu u automatskom regulisanju lokomotornih radnji, budući da modifikuje mišićnu aktivnost od početka do kraja šeme pokreta. Iako o funkcijama malog mozga ima još dosta nepoznanica, sigurno je da on ima presudni značaj za struktuiranje voljnih pokreta, održavanje ravnoteže i uspravnog stava, kao i za regulaciju mišićnog tonusa.

Na osnovu prethodnih informacija zaključuje se da su ekstrapiramidalni putevi dosta složeniji od piramidalnih i da su uglavnom indirektnog karaktera. Svi eferentni impulsi iz ekstrapiramidalne zone korteksa dospevaju do malog mozga gde bivaju delimično obrađeni i usmereni ka motornim jedrima subkortikalnih centara, a zatim i do prednjih rogova sive mase kičmene moždine. Aferentni impulsi u ekstrapiramidalnu zonu kore velikog mozga dospevaju preko talamusa. Blagodareći ovim povratnim informacijama, pokreti čoveka su skladni, precizni i automatizovani. Automatizaciji pokreta, međutim, uvek predstoji njihovo svesno struktuiranje za šta presudnu ulogu ima piramidalni sistem. Sa motornim učenjem i utvrđivanjem kretnog iskustva, izvor pokreta se iz piramidalne prebacuje u ekstrapiramidalnu zonu kore velikog mozga, što ne znači da se piramidalni centri potpuno isključuju iz motorne kontrole. Naprotiv, oni postaju veoma aktivna sa pojavom grešaka u izvođenju pokreta.

Na osnovu funkcija piramidalnih i ekstrapiramidalnih elemenata, definisane su četiri osnovne faze u formiranju motornih veština. Najveći doprinos njihovom teorijskom objašnjenju dao je ruski fiziolog Bernštajn koji je definisao sledeće faze:

1. **Iradijacija** – Početak formiranja grubih motornih šema koje se odlikuju obiljem neizdiferenciranih nervnih impulsa. Zbog velikog broja i potrebnih i nepotrebnih impulsa u ovoj fazi se

tokom izvođenja motorne veštine koristi dosta nepotrebne muskulature, pa su pokreti grubi i neprecizni.

2. **Koncentracija** – Nervni impulsi se koncentrišu formirajući efikasne motorne puteve. Njihov broj se svodi na optimalnu meru zbog čega pokreti postaju precizniji.
3. **Stabilizacija** – Formirani motorni putevi se stabilizuju što vodi ka potpunoj eliminaciji suvišnih pokreta i angažovanju samo potrebnih mišićnih vlakana. Početna ideacija pokreta još uvek polazi iz piramidalnih centara korteksa.
4. **Automatizacija** – Pokreti su precizni i dobro uvežbani. Moguće ih je bez greške izvoditi simultano sa drugim kognitivnim aktivnostima. Početna ideacija pokreta spušta se u ekstrapiramidalne centre. Piramidalna zona aktivira se samo pri pojavi grešaka.

3.6. MIŠIĆNI TONUS I NJEGOVE KOMPONENTE

Preciznom elektromiografijom je utvrđeno da i potpuno relaksiran mišić pokazuje izvesnu električnu aktivnost. Dobijeni elektromiogrami ukazivali su na prisustvo stalne napetosti čak i u potpuno pasivnim mišićima. Ova stalna mišićna napetost označena je kao *tonus*. Istina, u pojedinim istraživanjima (Kelton i Wright, 1949; Ralston i Libet, 1953) su utvrđeni kratki periodi apsolutne električne tišine u pojedinim mišićima. To pokazuje da je moguće samo kratkotrajno odsustvo tonusa i to u mišićima relaksiranim u laboratorijskim uslovima, ali samo onima koji nisu vezani za održavanje uspravnog stava. Kod posturalne muskulature, međutim, apsolutna tišina nikada nije registrovana.

Objašnjenje mišićnog tonusa zasniva se na prisustvu dve komponente: jedna je pasivna, a druga aktivna. *Pasivna komponenta* mišićnog tonusa posledica je elastičnih svojstava mišića i tkivnog turgora nastalog usled pritiska kojim telesne tečnosti rastežu okolna tkiva. Ona je prisutna uvek, bez obzira na nervne uticaje. *Aktivna komponenta* mišićnog tonusa je još uvek nedovoljno objašnjena, ali po svemu sudeći, nastaje kao posledica refleksnih reakcija kinestetskih i proprioceptivnih organa, te usled impulsa koji potiču iz vestibularnog aparata i viših

nervnih centara. Opšti mišićni tonus, dakle, određen je pasivnom elastičnošću (ili jedrinom) mišićnog tkiva i aktivnim odgovorom motornih jedinica na stimuluse nervnog sistema.

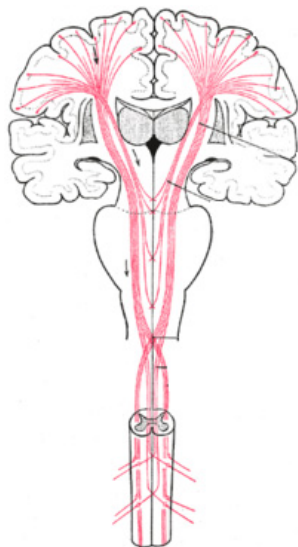
Rezimirajući većinu rezultata do kojih se došlo eksperimentalnim istraživanjima (Basmajian, 1962; DeVris, 1984; Enoka, 1994; Forbes, 1922; Jacobson, 1943, Kelton i Wright, 1949; Koc, 1982; Ralston i Libet, 1953; Sharington, 1923) o mišićnom tonusu može se reći sledeće:

- Mišićni tonus počiva na refleksnoj osnovi.
- Konstantni ekscitirajući uticaj postiže se impulsima iz subkortikalnih motornih jedara, vestibularnog aparata i malog mozga.
- Eferentni krak refleksa počinje u receptoru mišićnog vretena i ulazi u kičmenu moždinu gde gradi direktne sinapse sa alfa neuronima prednjeg roga sive mase.
- Pražnjenje alfa neurona iz kičmene moždine aktivira mali broj motornih jedinica svih posturalnih mišića. Ta aktivnost se odvija na rotirajući način, što znači da se u održavanju mišićnog tonusa motorne jedinice se stalno smenjuju.
- U mišićima koji nisu vezani za održanje uspravnog stava, moguće je kratkotrajno odsustvo bilo kakve električne aktivnosti, naravno pod uslovom da je mišić odmoran i maksimalno relaksiran. Za uspostavljanje te električne tišine daleko su sposobnije trenirane osobe. Istovremeno je konstatovano da visoko trenirane osobe imaju veći standardni tonus muskulature od prosečnih ljudi.

3.7. UKRŠTENI I DINAMOGENI EFEKAT KONTRAKCIJE

Još pred kraj prošlog veka psiholozi su dokazali da obučavanje u korišćenju jednog ekstremiteta dovodi do značajnog poboljšanja i kod drugog (netreniranog) ekstremiteta. Nađeno je da se ova pojava, označena kao *unakrsni efekat vežbanja*, odnosi na poboljšanje gotovo svih fizičkih svojstava (snage, izdržljivosti spretnosti...). Da bi se proizveo jasan efekat unakrsnog vežbanja potrebno je ispuniti princip nadopterećenja. Tako je fiziolog Walters (1955) našao da nedominantna ruka može indirektno biti dobro obučena vežbanjem dominantne ruke sa nadopterećenjem, gotovo

isto kao i direktnim vežbanjem nedominantne ruke, ali sa podopterećenjem. Osim toga, nedominantna ruka nekad dobija istu spretnost unakrsnim kao i direktnim vežbanjem, što se, naravno, ne odnosi i na dominantnu ruku. Iako je unakrsni efekat vežbanja još uvek nedovoljno objašnjen, izgleda da se javlja kao posledica ukrštanja direktnih piramidalnih puteva u kičmenoj moždini (Slika 3-9). Energija eferentnih nervnih impulsa, koji potiču iz primarnih motornih centara, preliva se i u neurone suprotne strane. Dovoljno veliko prelivanje dešava se samo kada se izvode voljni pokreti sa nadopterećenjem. Osim toga, nedominantna ruka nekada dobija istu spretnost unakrsnim kao i direktnim vežbanjem, što se na dominantnu ruku ne odnosi.



Slika 3-9 Pojednostavljeni prikaz ukrštanja motornih puteva u produženoj i kičmenoj moždini.

U toku eksperimenata sa unakrsnim vežbanjem otkrivene su i nesvesne izometrijske kontrakcije netreniranog mišića u vreme tretmana njegovog simetričnog parnjaka. Za objašnjenje ovog detalja, pored prelivanje nervne energije između ukrštenih piramidalnih neurona, navodi se i uticaj spojnice (komisura) velikog mozga. Leva i desna hemisfera su, naime, povezane svojim komisurama od kojih je za motorne aktivnosti najznačajnije žuljevito telo (*corpus calosum*). Pretpostavlja se da se kroz njega jedan broj nervnih impulsa sprovodi i u motorne neurone koji inervišu neaktivne homologne mišiće suprotne strane izazivajući njihovu izometrijsku kontrakciju. Efekti unakrsnog vežbanja od velikog su značaja za rehabilitaciju sportista koji su zbog povrede bili dugo pasivni, jer se omogućava stalni protok nervnih impulsa kroz muskulaturu koja

je inaktivirana imobilizacijom. Time se usporava proces atrofije pasivnih mišića i ubrzava kasnija rehabilitacija. Otuda se sportistima, u fazi mirovanja prouzrokovanom imobilizacijom, preporučuje redovna aktivnost zdravog ekstremiteta.

Proveravajući efekte unakrsnog vežbanja, Hellebrandt i sar. (1947, 1950 i 1951) su došli do pretpostavke da se istovremenom

kontrakcijom homolognih mišića (na primer istovremenom aktivnošću leve i desne ruke) može povećati radni učinak zamorene ili oslabljene muskulature dominantnog ekstremiteta. U nekoliko uzastopnih eksperimenata ova pretpostavka je i potvrđena. Tokom rada praćenog ergografom, ispitanici su u trenutku opadanja radnog učinka zamorenog ekstremiteta u rad uključivali i do tada neaktivni ekstremitet koji je „u prazno“ izvodio simetrične pokrete istovremeno sa opterećenim ekstremitetom. Sinhrono delovanje homologne muskulature dovelo je do povećanja radnog učinka zamorenog dominantnog ekstremiteta. Ovaj fenomen nazvan je *dinamogeni efekat kontrakcije* i ima veliki praktični značaj u poboljšanju efikasnosti sportske tehnike.

4 HEMIZAM I ENERGETIKA MIŠIĆNE AKTIVNOSTI

Za funkcionisanje bilo kog živog organizma neophodna je energija. Otuda se ona često i definiše kao sposobnost nekog sistema da vrši rad. Osnovni energetske izvori za rad ljudskog organizma, prevashodno za mišićne funkcije, su tri hranljive materije: ugljeni hidrati (glucidi), masti (lipidi) i belančevine (proteini). Potencijalna hemijska energija koju poseduju ove materije, međutim, ne može se direktno iskoristiti za mehanički rad, već je neophodno da one u procesu metabolizma pretrpe izvesne transformacije. Energija stvorena razgradnjom hranljivih materija, naime, služi prevashodno za resintezu (obnavljanje) specifičnog energetskog jedinjenja koje se nalazi u organizmu i jedino je sposobno da hemijsku energiju svojih veza direktno pretvori u mehanički rad. Reč je, naravno, o *adenozintrifosfatu*, koji se obeležava skraćenicom ATP. Kako ga u organizmu ima veoma malo, a uz to se i brzo troši, neophodna je stalna energetska podrška za njegovu resintezu.

Kompletan hemizam i energetika mišićne aktivnosti, dakle, zasniva se na razgradnji i obnavljanju adenzintrifosfata. Samo uz njegovo prisustvo u sarkoplazmi moguć je kontakt i kliženje miofilamenata opisanih u prethodnom poglavlju. U odnosu na brzinu stvaranja energije i energetske bilans metaboličkih procesa usmerenih ka obnavljanju ATP-a, u mišićima egzistiraju tri energetske mehanizma: (1) fosfageni, (2) anaerobni (laktacidni) i (3) aerobni (oksidativni). Svaki od njih dominira u pojedinoj fazi mišićne aktivnosti, u zavisnosti od **intenziteta, trajanja i karaktera rada**.

Tri navedena sistema zasnivaju se na energetske produkciji različitih materija (supstrata). Oni se razlikuju po energetske

kapacitetu, tj. ukupnoj količini energije koju sadrže i po *energetskoj moći*, odnosno, količini energije koja se oslobađa u jedinici vremena (tabela 4-1). Prva dva sistema odvijaju se u anaerobnim uslovima (bez prisustva kiseonika), a treći u aerobnim (uz prisustvo kiseonika).

Energetski izvor		Maksimalna moć (mol ATP/min)	Maksimalni kapacitet (mol ATP)
F o s f a g e n i		3,6	0,5
Anaerobna glikoliza		1,2	1,2
Oksidativni	Glikogenoliza	0,8	80
izvori	Lipoliza	0,4	6000

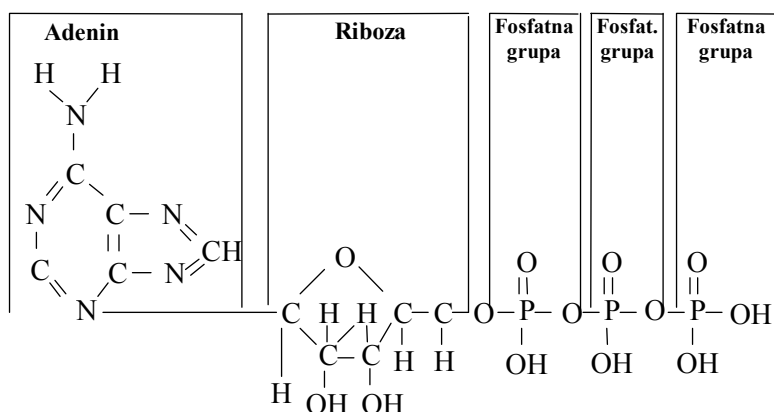
Tabela 4-1 Maksimalna energetska moć i kapacitet energetskih sistema. Navedene vrednosti određene su za aktivnost 20 kilograma mišićne mase (Koc, 1982)

U realnim uslovima sportskog takmičenja, retko se sureću čiste aerobne ili anaerobne forme stvaranja energije. Najčešće se radi o kombinovanju pomenutih procesa u zavisnosti od intenziteta mišićnog naprezanja. Rad visokog intenziteta anagažuje prevashodno brze anaerobne mehanizme, dok u radu srednjeg i niskog intenziteta dominiraju aerobni procesi. Iz Tabele 4-1 lako se uočava da anaerobni izvori poseduju daleko veću energetska moć, zbog čega i dominiraju u radu koji zahteva ispoljavanje velike sile i brzine. S druge strane, njihov ukupni energetski kapacitet je znatno manji od aerobnih mehanizama koji se sporije uključuju u energetska produkciju, ali zato duže traju i obezbeđuju bogatu energetska podršku aktivnostima tipa izdržljivosti.

4.1. FOSFAGENSKI ENERGETSKI IZVORI

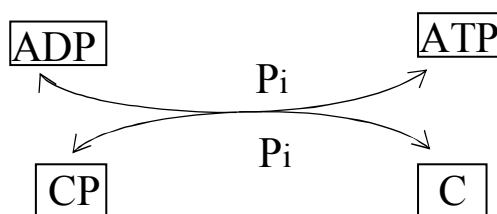
Adenozintrifosfat (ATP) je složeno jedinjenje sastavljeno od baze *adenina*, ugljenog hidrata *riboze* i tri fosfatne grupe (slika 4-1). Odvajanjem jedne fosfatne grupe, nastaje novo jedinjenje – *adenozindifosfat* (ADP) uz oslobađanje izvesne količine energije. Razgradnjom jednog mola ATP-a dobija se oko 8 do 10 kcal (ili 38 do 40

kJ). Ovaj, kao i sve ostale hemijske procese u mišićima, reguliše neki specifičan enzim (ferment).⁹



Slika 4-1 Hemijska struktura adenozintrifosfata (C – ugljenik; N – azot; H – vodonik; O – kiseonik; P – fosfor)

Dobijeni adenoindifosfat se ne zadržava dugo u mišićnoj ćeliji, već biva fosforilisan i ponovo pretvoren u ATP. Energija za fosforilizaciju ADP-a obezbeđuje se iz drugih energetskih izvora mišića. Najbrži (najurgentniji) izvor je *kreatinfosfat* (CP) koji se takođe nalazi u mišićnom vlaknu. Razgradnjom jednog molekula kreatinfosfata oslobađa se jedna fosfatna grupa (Pi). Od jednog mola CP-a dobija se oko 10,3 kcal energije (oko 45 kJ) koja se koristi za resintezu ATP-a, odnosno za fosforilizaciju ADP-a (Slika 4-2).



Slika 4-2 Šematski prikaz funkcionisanja fosfagenskog energetskog izvora

⁹ Enzimi (fermenti) su proteinska jedinjenja koja usmeravaju i ubrzavaju (katalizuju) hemijske reakcije pri čemu ostaju nerazgradjeni. Sve metaboličke procese u mišiću reguliše određeni enzim. Smatra se da je suštinska posledica sistematskog vežbanja promena broja i mase specifičnih enzima u mitohondrijama mišićne ćelije.

Adenozintrifosfat i adenozindifosfat se jednim imenom označavaju kao *fosfageni*, a njihova međusobne oksido-redukционе hemijske reakcije predstavljaju fosfagenski izvor energije za mišićni rad. Taj proces odvija se neprekidno u svakoj živoj ćeliji. Za njegovu realizaciju neophodno je prisustvo enzima *kreatinfosfokinaze* koji se u literaturi još obeležava i kao *kreatintransferaza*.

Veoma je značajno naglasiti da se razgradnja oba fosfagenska jedinjenja odvija u anaerobnim uslovima, tj. bez prisustva kiseonika. To je najbrži mehanizam stvaranja energije za mišićni rad i otuda dominira u brzinskim i brzinsko-snažnim aktivnostima (tipičnim za većinu sportova). Fosfagenski izvori, međutim, pružaju veoma kratku energetska podršku, budući da im je koncentracija u mišićima izuzetno mala. Koncentracija ATP-a iznosi svega pet milimola na jedan kilogram mišićne mase (5-6 mmol/kg), što znači da čovek prosečne visine i mase, koji ima oko 30 kilograma mišića (Tabela 4-4), ukupno raspolaže sa približno 0,2 mola ATP-a. Razgradnjom 0,1 mola dobija se oko jedna kilokalorija energije. Kada bi se, dakle, razgradio sav ATP u mišićima, stvorio bi se energetska bilans od oko dve kilokalorije. To je, naravno, samo teoretski bilans s obzirom na to da je u najtežem radu angažovano maksimalno dve trećine mišića. Prema tome, maksimalna količina energije koja bi se dobila trenutnom razgradnjom raspoloživog ATP-a u aktivnim mišićima iznosi oko 1,2-1,5 kcal. Ta količina energije dovoljna je da omogući rad visokog intenziteta u trajanju od svega nekoliko sekundi. Tako, na primer, u atletskoj trci na 100 m, koja predstavlja tipično naprezanje maksimalnog intenziteta, potencijalna energija deponovana u hemijskim vezama ATP-a bila bi dovoljna za svega dve do tri sekunde rada. Kada trkač ne bi obezbedio energetska podršku iz drugih izvora, vrlo brzo bi prekinuo trku usled iscrpljenosti energetskih izvora. Otuda se u metabolizam mišićnog rada moraju veoma brzo uključivati i druga energetska goriva. Najbrži u obezbeđivanju energije za resintezu ATP-a je kreatinfosfat.

Koncentracija CP-a u skeletnim mišićima je oko tri puta veća od ATP-a. (iznosi 17-18 mmol na kilogram mišićne mase). Njegova ukupna količina u mišićima prosečno iznosi oko 0,6 mol. Kako je u složenom radu veoma visokog intenziteta moguće angažovanje maksimalno dve trećine mišića, u realnim okolnostima raspoloživo je oko 0,4 mol CP-a. To praktično znači da bi rad maksimalnog intenziteta mogao da bude produžen najviše za 4-5 s na račun energije CP-a iskorišćene za resintezu ATP-a. Prema tome, maksimalni kapacitet fosfagena u mišićima čoveka,

iznosi oko 0,5 mol. U odnosu na prethodni primer sa atletskim sprintom, fosfageni mogu da obezbede energiju za samo polovinu trke na 100 metara. Drugim rečima, fosfagenski energetski izvori dovoljni su samo za 5 do 6 s rada maksimalnog intenziteta.

4.2. ANAEROBNI (LAKTACIDNI) ENERGETSKI IZVORI

U okviru analize fosfagenskih energetskih izvora saopšteno je da njima podržan rad maksimalnog intenziteta može da potraje najviše šest sekundi, nakon čega bi se razgradio sav ATP i CP. U većini sportova, međutim, aktivnosti traju daleko duže, pa je za njih neophodno angažovanje drugih, energetski bogatijih, izvora koji će obezbediti dužu resintezu ATP-a. Nakon fosfagena, energetski najbrži izvor je groždani šećer, *glukoza*¹⁰, koji je u mišićnom vlaknu deponovan u vidu glikogenskih stubića. Glikogen je osnovno energetsko gorivo u velikoj većini sportova. On se razlaže prolazeći kroz niz hemijskih reakcija označenih jednim imenom kao *glikoliza*. Fiziologija mišićne aktivnosti razlikuje dva oblika glikolize: *anaerobnu* koja predstavlja prvu fazu ovog procesa, a odvija se bez dovoljnog prisustva kiseonika i *aerobnu* koja podrazumeva potpunu razgradnju glikogena do ugljen dioksida i vode uz oslobađanje velike količine energije. Glikoliza, prema tome, bez obzira da li se odvija u oksidativnim uslovima ili uz kiseonički deficit, počinje anaerobnom fazom. Ukoliko je rad visokog intenziteta, razgradnja glikogena završava se na anaerobnom nivou, uz brzo stvaranje male količine energije i velike količine laktata (mlečne kiseline i njenih soli), zbog čega se anaerobna glikoliza često označava i kao *laktacidni* energetski sistem. Ukoliko je intenzitet rada takav da omogućava brzo dopremanje kiseonika do mitohondrija mišićnih vlakana, razgradnja glikogena se nastavlja u aerobnim uslovima stvarajući daleko veću količinu energije.

¹⁰ Glukoza je tipični monosaharid, odnosno šećer sastavljen od jedne heksokinazne jedinice. Heksokinaze su jedinjenja sastavljena od šest molekula ugljenika sa opštom formulom C₆H₁₂O₆.

Intenzitet mišićnog naprezanja je odlučujući činitelj za angažovanje specifičnog energetskog sistema za resintezu ATP-a. U radu submaksimalnog intenziteta dominira anaerobna glikoliza, često označena i kao *Embden-Majerhofov ciklus*. Kako je objašnjeno, njegov energetski supstrat je mišićni glikogen. Molekul glikogena predstavlja lanac molekula glukoze. Odvajanjem od glikogenskog polimera nastaje glukozna jedinica ($C_6H_{12}O_6$). U mišićima se, međutim, nalazi i glukoza koja dospeva iz krvi. Anaerobna razgradnja glukoze iz mišića (*glikogenoliza*) je energetski bogatija od razgradnje glukoze koja potiče iz krvi, s obzirom na to da jedan molekul mišićne glukoze stvara energiju za resintezu tri, a molekul glukoze iz krvi energiju za dva molekula ATP-a¹¹. Glukoza koja potiče iz mišićnog glikogena koristi se u radu visokog i submaksimalnog intenziteta, dok glukoza iz krvi postaje aktualna samo pri radu čiji intenzitet ne prelazi 60% maksimalnog naprezanja.

Kao krajnji rezultat anaerobne glikolize, iz svake glukozne jedinice obrazuju se dva molekula mlečne kiseline. Sve hemijske reakcije odvijaju se u sarkoplazmi u kojoj se nalaze specifični glikolitički enzimi. Anaerobna glikoliza je prisutna od samog početka mišićne aktivnosti, ali

¹¹ Glukoza postaje raspoloživa kao energetski materijal ili glikogenolizom glikogena deponovanog u mišićima ili kao glukoza prenetu krvlju u mišićno vlakno. Bez obzira na poreklo, molekul glukoze pre uključivanja u metabolizam mišićne ćelije mora biti fosforilisan, odnosno, za šesti atom ugljenika vezuje se jedan fosfatni radikal čime nastaje *glukoza 6-fosfat*. Glukoza sa poreklom iz krvi biva fosforilisana fosfatnom grupom koja se dobija razgradnjom ATP-a, uz prisustvo enzima *heksokinaze*. Glukoza iz sarkoplazme takodje dobija jedan fosfatni radikal, koji ne potiče od ATP-a, već se nalazi slobodan u sarkoplazmi. Otkidanje molekula glukoze od polimera glikogena i njegova fosforilizacija zahtevaju samo prisustvo enzima *fosforilaze*. Opisana razlika fosforilizacije molekula glukoze iz krvi i mišića uzrok je većeg energetskog bilansa razgradnje mišićne glukoze. U nastavku glikolize novonastali glukoza 6-fosfat podleže istim zakonitostima razlaganja, bez obzira na poreklo. U narednom koraku razgradnje glukoze troši se još jedan molekul ATP-a budući da se za prvi ugljenikov atom vezuje još jedan fosfatni radikal čime se glukoza 6-fosfat transformiše u *fruktozo 1-6-difosfat* uz prisustvo enzima *fosfofruktokinaze*. Tek od ovog stupnja glikolize počinje da se stvara energija za resintezu ATP-a. Fruktozo 1-6-difosfat, naime, uz prisustvo enzima aldehydaze, daje dva molekula *gliceraldehydrifosfata* uz oslobađanje energije dovoljne za resintezu dva molekula ATP-a. U nastavku ovog hemijskog procesa dešava se još niz transformacija (difosfoglicerinska kiselina – fosfoglicerinska kiselina – enolfosfopiruvična kiselina ...) koje stvaraju energiju za resintezu još dva molekula ATP-a. Na taj način, krajnji produkt anaerobne razgradnje glukoze koja potiče iz mišićnog glikogena je energija za resintezu tri, a glukoze iz krvi dva molekula ATP-a.

maksimalnu moć dostiže tek nakon 30-40 s od početka rada. Otuda se najveća koncentracija laktata (mlečne kiseline i njenih soli) u mišićima može izmeriti tek pri radu koji traje duže od 30 s. U kraćem radu, energetska uloga laktacidnog sistema je srazmerno manja.

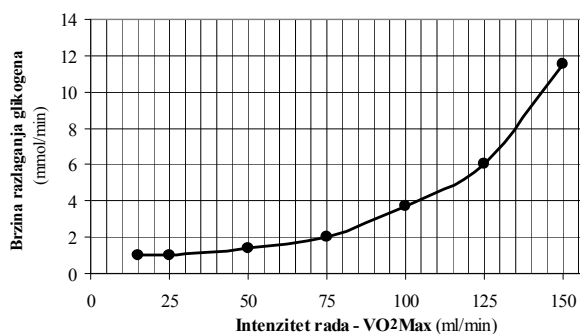
Laktacidni sistem karakteriše velika moć, odnosno, velika brzina stvaranja energije. Tokom rada visokog intenziteta, koji traje nekoliko desetina sekundi, brzina razlaganja glikogena u mišićima dostiže 10 milimola glukoznih jedinica na kilogram mišićne mase u minutu, ili oko dva grama u minutu (Slike 4-3 i 4-4). Na taj način, brzina razgradnje glikogena u 20 kilograma aktivne mišićne mase iznosi oko 200 mmol glukoznih jedinica u minutu. Ukoliko se rad sve vreme odvija u anaerobnim uslovima, za jedan minut se stvori oko 400 mmol mlečne kiseline. Jedan molekul stvorene mlečne kiseline ekvivalentan je energiji dovoljnoj za resintezu tri molekula ATP-a. Prema tome, prilikom stvaranja 400 mmol mlečne kiseline resintetiše se oko 1,2 mol ATP-a za jedan minut, koliko i iznosi maksimalna moć laktacidnog sistema (Tabela 4-1).

Laktacidni sistem igra odlučujuću ulogu u stvaranju energije za rad vrlo visokog intenziteta koji traje od 20 s do 5 min i vezan je za snažne mišićne kontrakcije sa velikom brzinom razlaganja i obnavljanja ATP-a. Takav oblik mišićnog rada susreće se u produženom atletskom sprintu (300-400 m) i prilikom trčanja na srednjim stazama (od 800 do 1500 m); zatim u plivanju na distancama od 50 do 200 m i sl. Srazmerno povećanju obima rada i smanjenju njegovog intenziteta, energetska uloga laktacidnog sistema biva sve manja.

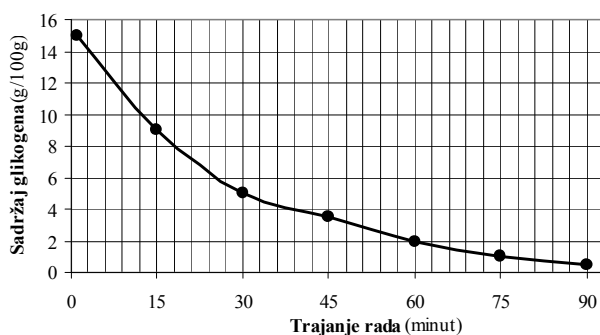
Laktacidni sistem, međutim, igra važnu ulogu na početku svakog rada, bez obzira na njegov intenzitet, tako da je početak svake aktivnosti praćen kiseoničkim deficitom u mišićnim vlaknima. To se objašnjava inertnošću kardiorespiratornog sistema koji nije u stanju da tako brzo dopremi dovoljne količine kiseonika do aktivnih mišića. Ukoliko je rad niskog intenziteta, kiseonička potreba mišićnih vlakana veoma brzo biva zadovoljena i energija se obezbeđuje iz aerobnih izvora. Kiseonički deficit i visoka produkcija laktata vezuju se još i za izometrijske kontrakcije kada je mišićno vlakno, usled lokalne ishemije izazvane pritiskom mišića na krvne sudove, lišeno normalnog snabdevanja kiseonikom.

Mlečna kiselina nastala u procesu anaerobne glikolize sporo difunduje iz mišićnog vlakna u krv. Zbog toga se ona nagomilava u

aktivnim mišićima, što dovodi do pojave acidoze u njihovoj hemijskoj sredini. Nagomilavanjem mlečne kiseline usporava se aktivnost glikolitičkih enzima, pre svega fosforilaze i fosfofruktokinaze. Kao posledica inhibitornog dejstva mlečne kiseline na glikolitičke enzime, dolazi do usporavanja glikolize i smanjenja energetskog prinosa ostvarenog na račun laktacidnog sistema. Na taj način, brzina stvaranja mlečne kiseline u aktivnim mišićima se reguliše mehanizmom negativne povratne sprege – što je veća brzina stvaranja mlečne kiseline, odnosno što je veći intenzitet rada, veće je i usporenje anaerobne glikolize. Otuda energetski kapacitet laktacidnog sistema nije u osnovi limitiran rezervama energetskih supstrata (glikogena), već koncentracijom krajnjeg produkta procesa anaerobne razgradnje glukoze – mlečnom kiselinom. S tim u vezi, prilikom vršenja mišićnog rada baziranog na laktacidnom sistemu kao dominantnom, nikada se ne naglo ne iscrpljuje sav glikogen u aktivnim mišićima, pogotovo u jetri.



Slika 4-3 Brzina razlaganja glikogena pri različitom intenzitetu rada (modifikovano prema Koc-u, 1982)



Slika 4-4 Zavisnost koncentracije glikogena u *m. quadriceps femoris*-u od vremena tokom rada na bicikl-ergometru intenziteta 150 W (Modifikovano prema Koc-u, 1982)

U jednom kilogramu mišićne mase prosečno se nalazi oko 15 grama glikogena, ili oko 80 mmol glukoznih jedinica (molekulska masa glukoze iznosi 180). Pri radu visokog i submaksimalnog intenziteta, kada laktacidni sistem dostiže svoj maksimum, u aktivnim mišićima se ne troši više od 20 mmola glukoznih jedinica po kilogramu mišićne mase. Na taj način se u celokupnoj aktivnoj mišićnoj masi (koja prosečno iznosi 20 kg) troši ukupno oko 400 mmol ili 0,4 mol glukoznih jedinica. Tokom anaerobne glikolize jedan mol glukoznih jedinica daje energiju dovoljnu za resintezu 3 mol ATP-a, što znači da se anaerobnim razlaganjem 0,4 mol glukoze može obnoviti 1,2 mol ATP-a. Ta količina ekvivalentna je celokupnoj energetskej produkciji, na račun anaerobne razgradnje mišićnog glikogena, od 12 kcal.

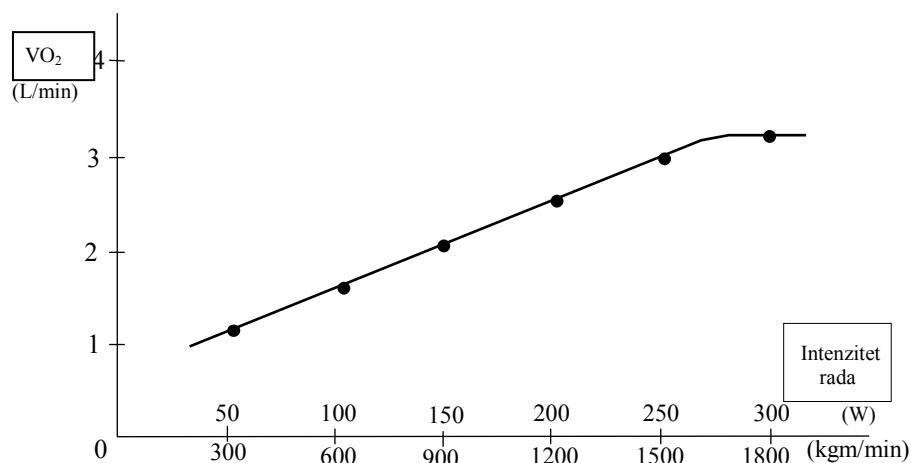
Drugi način vrednovanja energetskog kapaciteta laktacidnog sistema je preko koncentracije mlečne kiseline u mišićima. Ove vrednosti se u savremenoj funkcionalnoj dijagnostici uzimaju i kao relevantni pokazatelji anaerobnih sposobnosti sportista. Maksimalna koncentracija mlečne kiseline iskazana na 100 g mišićne mase, kod netreniranih ljudi dostiže prosečno 250 mg (2,5 g na kilogram mišićne mase), a kod dobro treniranih sportista daleko više. Ukupna količina mlečne kiseline za 20 kg aktivnih mišića prosečanog čoveka iznosi oko 50 g, odnosno oko 0,6 mol (ili 600 mmol)¹². Kada se ta teorijska vrednost mlečne kiseline (600 mmol) iskaže na 100 g mišićne mase, kako se to čini u istraživanjima novijeg datuma, dobija se orjentaciona vrednost od oko 3 mmol. Zbog veoma velikog raspona telesne, a time i ukupne mišićne mase odraslih osoba, u literaturi se za prosečnog (netreniranog) čoveka kao maksimalna koncentracija mlečne kiseline navode vrednosti između 2 i 4 mmol, dok su kod vrhunskih sportista one daleko veće (kod nekih atletičara nakon trke na 1500 m su nađene vrednosti i preko 10 milimola mlečne kiseline).

Tokom sportskih aktivnosti visokog intenziteta, koncentracija mlečne kiseline prevazilazi navedene teoretski maksimalne vrednosti, budući da neprekidno difunduje iz mišićnog vlakna u krv čime se ukupni kapacitet za nagomilavanje laktata u organizmu znatno povećava. Povećano prisustvo laktata u mišićima i krvi narušava acidobaznu ravnotežu organizma izazivajući acidozu („zakiseljavanje“) praćenu smanjenjem pH vrednosti krvi i padom kontraktilnih sposobnosti mišića.

¹² Molekulska masa mlečne kiseline iznosi 90.

4.3. AEROBNI (OKSIDATIVNI) ENERGETSKI IZVORI

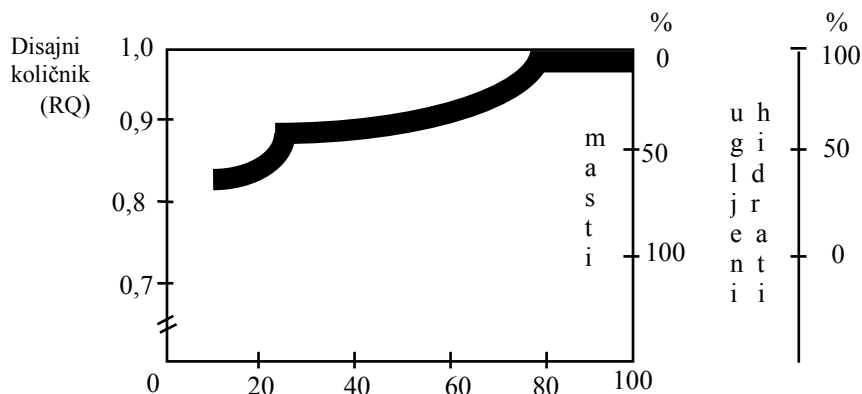
Prilikom neprekidnog dolaska kiseonika u mitohondrije mišićnih vlakana, stvaraju se uslovi za delovanje oksidativnog (aerobnog) sistema produkcije energije. Kako se rada u aerobnim uslovima realizuje uz velike (i uglavnom dovoljne) količine kiseonika, energetska kapacitet i moć ovih (oksidativnih) mehanizama se iskazuje preko utroška kiseonika. Njegova potrošnja u aktivnim mišićima proporcionalna je intenzitetu aerobnog rada (Slika 4-5 i Tabela 4-2). Pri određenom, za svakog čoveka individualnom, opterećenju dostiže se maksimalna vrednost utroška kiseonika (VO_2Max) koji se koristi za ocenu aerobne moći čoveka.



Slika 4-5 Odnos utroška kiseonika i intenziteta rada dobijen testiranjem sportista na bicikl-ergometru (prema Koc-u, 1982)

Za energetska podršku mišićnoj aktivnosti oksidativni sistem, kao gorivo, može da koristi sve hranljive materije (ugljene hidrate, masti, proteine). Uloga proteina u energetska produkciji međutim, gotovo je zanemarljiva i susreće se samo u slučajevima ekstremnog gladovanja. S druge pak strane, masti (lipidi) i ugljeni hidrati (glucidi) su osnovni hemijski supstrati za aerobnu produkciju energije. Odnos između energetska udela masti i ugljenih hidrata, tokom iste aktivnosti, determinisan je relativnim intenzitetom aerobnog rada koji se iskazuje

procentualnom vrednošću maksimalnog utroška kiseonika (%VO₂Max). Što je veći relativni intenzitet izvršenog rada, proporcionalno je veći udeo ugljenih hidrata, a srazmerno manji udeo masti u celokupnoj energetskoj produkciji aktivnih mišića (Slika 4-6).



Slika 4-6 Procenatni odnos oksidacije masti i ugljenih hidrata u aerobnom procesu stvaranja energije, zavisno od intenziteta rada (Astrand i Rodahl, 1977)

VO ₂ (L/min)	E (Kcal/min)	(W)	Takmičarske aktivnosti
6,0	20		
4,2	17		Kros, veslanje, trčanje (16 km/h), plivanje
3,6	14		Trčanje (13 km/h), Penjanje uz stepenice
2,8	11		Trčanje (11 km/h), kraul (50 m/min)
2,1	8		Hodanje (8 km/h), Trčanje (9 km/h)
1,6	6		Hodanje (7 km/h), Lakši rad rukama
0,9	4		Hodanje (6 km/h), Kućni poslovi

Tabela 4-2 Zavisnost energetske potrošnje od intenziteta rada

Tokom obavljanja lakog rada, pri utrošku kiseonika manjem od 50% od maksimuma, sa približnim trajanjem od nekoliko sati, veći deo energije za mišićni rad stvara se na račun oksidacije masti. Tokom težeg

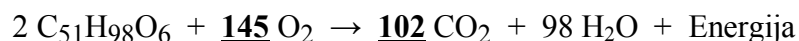
(intenzivnijeg) rada, pri utrošku kiseonika većem od 60% od maksimalne vrednosti, značajniju energetska ulogu imaju ugljeni hidrati. Pri radu bliskom maksimalnom utrošku kiseonika, koji traje nekoliko desetina minuta, gotovo kompletna energetska produkcija ostvaruje se oksidacijom ugljenih hidrata. Procena relativnog učešća glikolize i lipolize tokom aktivnosti različitog intenziteta, vrši se na osnovu zapreminskog odnosa utrošenog kiseonika i stvorenog ugljendioksida za isto vreme. Ovaj odnos označen je kao disajni količnik, ili *respiratorni kvocijent* (RQ). Njegove vrednosti determinisane su vrstom hemijskog izvora iz kojeg se stvara energija za mišićni rad. Poznato je da ni jedan rad nije „čist“ u pogledu angažovanja energetskih izvora, jer gotovo uvek su u produkciju energije uključeni i anaerobni i aerobni izvori. Prema tome, u svakom radu aktuelne su i glikoliza i lipoliza. Na uključivanje i udeo pojedinih hranljivih materija u energetske produkcije utiče nekoliko faktora: intenzitet rada, nivo treniranosti, aktuelni (trenutno raspoloživi) energetske potencijali organizma i td. Vrednosti respiratornog kvocijenta kreću se između 0,7 (kada se energija za resintezu ATP-a stvara isključivo razgradnjom masti) i 1,00 (kada su isključivo gorivo ugljeni hidrati).

Ukoliko se glukoza ($C_6H_{12}O_6$) kao osnovna energetska materija deponovana u mišićima izloži potpunoj oksidaciji dobija se:



iz čega sledi:
$$RQ = \frac{6CO_2}{6O_2} = 1$$

Kada se kao isključivi izvor energije za resintezu ATP-a koriste masti, na primer tri palmitinska kiselina ($C_{51}H_{98}O_6$), procesom oksidacije se dobija:



iz čega sledi:
$$RQ = \frac{102CO_2}{145O_2} = \mathbf{0,707}$$

Na osnovu vrednosti respiratornog kvocijenta određuje se još jedan specifični biohemijski parametar označena kao *kalorijski ekvivalent*

kiseonika (KEO₂). On predstavlja količinu energije koja se dobija utroškom jednog litra kiseonika za potpunu oksidaciju hranljivih materija. Vrednosti kalorijskog ekvivalenta kiseonika nalaze se u tablicama sastavljenim na osnovu niza uzastopnih empirijskih proveravanja (Tabela 4-3). Prema tome, poznavanjem utroška kiseonika u aktuelnom radu i određivanjem odgovarajućeg kalorijskog ekvivalenta kiseonika, jednostavnom matematičkom operacijom se izračunava količina utrošene energije:

$$\text{Energija} = \text{VO}_2\text{Max} \times \text{KEO}_2$$

RQ	Ugljeni hidrati (%)	Masti (%)	KEO ₂ (Kcal/LO ₂)
0,70	0	100	4,686
0,76	19,2	80,8	4,751
0,78	26,3	73,7	4,776
0,81	36,9	63,1	4,813
0,85	50,7	49,3	4,862
0,87	57,5	42,5	4,887
0,93	77,4	22,6	4,961
0,99	96,8	3,2	5,035
1,00	100	0	5,047

Tabela 4-3 Vrednosti respiratornog kvocijenta i kalorijskog ekvivalenta kiseonika

4.3.1. UGLJENI HIDRATI KAO GORIVO OKSIDATIVNOG SISTEMA

Početa faza razgradnje glukoze, bila ona čisto anaerobna ili prerasla u aerobnu, sastoji se od istog lanca hemijskih reakcija čija je poslednja karika formiranje *piruvične* (pirogroždane) kiseline. U slučajevima kada je rad toliko visokog intenziteta da onemogućava dopremanje dovoljne količine kiseonika do aktivnih mišića, piruvična kiselina pretvara se u mlečnu čime se ciklus anaerobne glikolize završava. U aerobnim uslovima, međutim, kada rad nije maksimalnog intenziteta i kada traje dugo, obezbeđeno je prisustvo dovoljne količine kiseonika koji omogućava nastavak procesa razgradnje energetskih supstrata. Tačnije, u aerobnim uslovima piruvična kiselina se ne pretvara

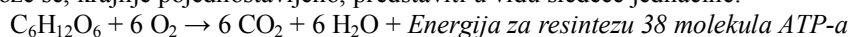
u mlečnu, već se oksidiše otpočinjući lanac oksidativnih hemijskih reakcija koje stvaraju velike količine energije za resintezu ATP-a.

U nastavku aerobne glikolize piruvična kiselina se najpre dekarbonizuje, odnosno iz nje se izdvaja ugljendioksid (CO₂). Kao rezultat ovog kataboličkog procesa dobijaju se: slobodni joni vodonika (H⁺), acetilni ostatak i energije dovoljne za resintezu novih šest¹³ molekula ATP-a. Nas-tali acetilni ostatak se, uz prisustvo specifičnog enzima *nikotinamidinu-kleotida*, vezuje za *koenzim A* koji se nalazi u mitohondrijama mišićne ćelije stvarajući *acetil-koenzim A*. Ovo jedinjenje kombinuje se sa oksal-sirćetnom kiselinom gradeći *limunsku kiselinu* koja zatim ulazi u tzv. *Krebsov ciklus* prolazeći kroz niz hemijskih transformacija. Razgradnja limunske kiseline, naime, prolazi kroz nekoliko trikarbonskih kiselina, uz produkciju velike količine energije i stvaranje izvesnog broja vodonikovih jona.

Krebsov cilus (*ciklus limunske kiseline*) je najbogatiji energetski mehanizam mišićnih vlakana. Odvija se u mitohondrijama uz prisustvo brojnih enzima, koji se zovu oksidativni enzimi. Pored njih u ciklusu limunske kiseline deluju i enzimi *dehidrogenaze* čija je uloga da iz trikarbonskih kiselina izdvajaju jone vodonika. Izdvojeni vodonik takođe biva oksidisan čime se stvara voda i izvesna količina energije. Krebsov ciklus se završava potpunom razgradnjom glukoze do ugljen dioksida i vode,¹⁴ uz oslobađanje dodatne energije dovoljne za resintezu čak 30 molekula ATP-a.¹⁵

¹³ Dekarbonovanjem jednog molekula piruvične kiseline stvara se energija dovoljna za resintezu tri molekula ATP-a. Kako od jednog molekula glukoze nastaju dva molekula piruvične kiseline, ukupni bilans je šest molekula ATP-a.

¹⁴ Potpuna razgradnja jedne glukozne jedinice do ugljendioksida (CO₂) i vode (H₂O) može se, krajnje pojednostavljeno, predstaviti u vidu sledeće jednačine:

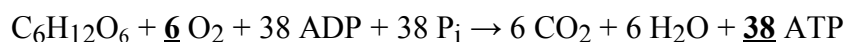


Ovako direktna reakcija može da se dogodi samo pri veoma visokoj temperaturi, praktično pri sagorevanju ugljenih hidrata na otvorenom plamenou, što je svakako nespojivo sa živim tkivom. Potpuna razgradnja glukoze se u aktivnim mišićima ipak dešava i na telesnoj temperaturi, ali uz prisustvo brojnih bioloških katalizatora (enzima) koji usmeravaju i ubrzavaju sve hemijske reakcije aktuelne tokom aerobne glikolize.

¹⁵ Razgradnjom trikarbonskih kiselina u Krebsovom ciklusu ostvaruje se energija dovoljna za resintezu 24 molekula ATP-a. Oksidacijom izdvojenog vodonika, međutim, ostvaruje se energija za resintezu dodatnih 6 molekula ATP-a, tako da ukupni energetski bilans oksidacije piruvične kiseline u mitohondrijama aktivnih mišićnih vlakana omogućava obnavljanje (resintezu) 30 molekula ATP-a.

Aerobna glikoliza, dakle, ostvaruje izuzetno bogat energetski bilans koji je čak 19 puta veći od bilansa anaerobne. Oksidativnom razgradnjom glukoze, naime, dobija se energija dovoljna za resintezu 38 molekula ATP-a, dok se na račun laktacidnog energetskog sistema obnavljaju samo 2 molekula glukoze. Kako kiseonika ima u neograničenim količinama u okolnoj sredini, aerobna glikoliza je ograničena samo zalihama glikogena deponovanog u aktivnim mišićima.

Kada bi se sumiralo učešće svih energetskih supstrata kao i produkti hemijskih reakcija tokom aerobne glikolize, bilo bi moguće prikazati ih, krajnje pojednostavljenom, ranije datom jednačinom:



Uporede li se leva i desna strana jednačine, uočava se da je za resintezu 38 molekula ATP-a potrebno utrošiti 6 molekula kiseonika. Iz tog numeričkog odnosa (6/38) izračunava se *kiseonički ekvivalent* ATP-a koji u aerobnoj glikolizi iznosi 0,158. To praktično znači da je za resintezu jednog mola ATP-a potrebno obezbediti 0,158 mol kiseonika. Iskazano zapreminskim veličinama, ta količina kiseonika ekvivalentna je vrednosti od 3,54 L (jedan mol gasa zauzima zapreminu od 22,4 L). Koristeći se istim parametrima, zapreminski odnos stvorenog ATP-a i utrošenog kiseonika može se interpretirati i obrnutim smerom, odnosno može se izračunati koliko se mola ATP- resintetiše utroškom jednog mola kiseonika. Tada se, zapravo, govori o energetskom ekvivalentu kiseonika koji u aerobnoj glikolizi iznosi 6,3 (38 : 6 = 6,3).

Mišićni glikogen je osnovni supstrat oksidacije za vreme intenzivnog mišićnog rada. Brzina njegove razgradnje direktno je proporcionalna relativnom intenzitetu rada, ali je obrnuto proporcionalna njegovim rezervama u mišićima. Sa smanjenjem sadržaja mišićnog glikogena, naime, brzina njegovog utroška se smanjuje, a kao energetski izvor se sve više koristi glukoza iz krvi. Sa povećanjem intenziteta rada, dotok glukoze iz krvi takođe raste kao energetska dopuna. Na taj način je i odnos potrošnje mišićnog glikogena i slobodnih glukoznih jedinica determinisan intenzitetom rada. Primera radi, na početku rada čiji intenzitet dostiže 70% maksimalnog utroška kiseonika i koji traje jedan i po do dva sata, u energetskom bilansu mišića glukoza iz krvi učestvuje sa 10 do 15%, dok na kraju rada njen udeo nekada premašuje i 50%.

Za izračunavanje energetskog kapaciteta oksidativnog sistema prilikom korišćenja ugljenih hidrata, neophodno je, osim rezervi mišićnog

glikogena, u obzir uzeti i rezerve glukoze u jetri. Glukoza se, naime, u jetri ne stvara samo glikogenolizom, već se dobija i hemijskim transformisanjem drugih jedinjenja (laktata, piruvata, amino kiselina, glicerola...). Taj proces stvaranja glukoze u jetri označen je kao *glukoneogeneza*.

Prosečna koncentracija glikogena u mišićima iznosi oko 15 g na jedan kilogram mišićne mase, što znači da se u 20 kg aktivnih mišića nalazi 300 g ili 1,7 mol glukoznih jedinica. Stepenn potrošnje glikogena u različitim mišićima nije isti, s obzirom na njihovo različito angažovanje u pojedinim aktivnostima. Može se smatrati da je u komplekksnim, snažnim pokretima koji traju nekoliko desetina minuta, moguće angažovanje maksimalno 80% svog raspoloživog glikogena, tj. oko 250 g (1,5 mol glukoznih jedinica). Potpunom oksidacijom te količine glikogena stvara se energija dovoljna za resintezu oko 60 mol ATP-a.

Što se tiče rezervi glikogena u jetri, kod odraslih muškaraca telesne mase 75 kg, one se kreću između 70 i 80 g, od čega se za mišićni rad može upotrebiti maksimalno 60 g. Ta količina dovoljna je za resintezu približno 15 mol ATP-a. Tome se obično priključuje i energija dobijena na osnovu glukoze nastale procesom glukoneogeneze koja pri kratkom intenzivnom radu iznosi 10-20%, a pri dužem i do 45% ukupne glikogenske produkcije jetre. Dodatne količine glikogena iz jetre dovoljne su za resintezu još pet mola ATP-a, što na kraju daje energetski bilans dovoljan za resintezu 20 mol ATP-a.

Sumacijom maksimalnog energetskog bilansa glikogena mišića (resinteza 60 mol ATP-a) i jetre (20 mol ATP-a) dolazi se do ukupnog potencijalnog energetskog kapaciteta aerobne glikolize. Iskazan zapreminskim jedinicama, on iznosi 80 mol ATP-a, što je ekvivalentno količini energije od 800 kcal. Plastičnije ilustrovana, ta količina energije prosečnom čoveku bi bila dovoljna da pretrči oko 15 km.

4.3.2. MASTI KAO GORIVO OKSIDATIVNOG SISTEMA

Drugi značajan energetski supstrat oksidativnog sistema su masti (lipidi). Kod prosečnog muškarca na adipozno (masno) tkivo otpada 12-15% ukupne telesne mase, a kod žena nešto više 15-18%. U različitim sportovima, naravno, te vrednosti značajno variraju (Tabela 4-4). Bez

obzira na ove varijacije, masti su u svim energetskim procesima (svakodnevnim ili sportskim) zastupljene u velikim količinama. Glavne zalihe masti uskladištene su u masnim depoima čovekovog tela. One se, međutim, nalaze i u mišićima, prevashodno u mišićnim ovojnicama. U jednom kilogramu mišićne mase nalazi se od 5 do 15 g nerazgrađenih lipida. To je, naravno, veoma mali deo ukupnih zaliha masti čoveka, tačnije svega 5% kompletne adipozne mase. Najveći deo masnog tkiva čoveka je u obliku triglicerida. Molekul triglicerida sastoji se od *glicerola* i tri *masne kiseline*. Za stvaranje energije značajne su samo masne kiseline¹⁶ koje se u slobodnom obliku nalaze samo u krvi. Masti deponovane u mišićima isključivo su u obliku triglicerida.

Vrsta sporta	Muškarci (%)			Žene (%)		
	Mišići	Masti	Kosti	Mišići	Masti	Kosti
Prosečan čovek	40 - 42	12 - 15	17 - 21	38 - 41	15 - 18	16 - 19
Fudbal	50 - 53	8 - 10	18 - 20			
Košarka	50 - 53	8 - 10	19 - 22	49 - 52	10 - 14	17 - 20
Odbojka	50 - 52	8 - 10	19 - 22	48 - 50	10 - 12	16 - 19
Rukomet	50 - 53	8 - 10	18 - 20	48 - 51	10 - 13	16 - 18
Waterpolo	50 - 54	10 - 13	18 - 21			
Plivanje	50 - 53	10 - 13	18 - 20	48 - 52	10 - 16	16 - 19
Gimnastika	50 - 52	5 - 8	16 - 18	47 - 51	6 - 9	15 - 17
Tenis	50 - 53	8 - 10	18 - 20	48 - 51	10 - 13	16 - 19
Body builiding	55 - 60	5 - 6	19 - 22	54 - 58	6 - 8	18 - 21
Biciklizam	51 - 54	5 - 7	17 - 19			
Atl. trčanje	52 - 54	5 - 8	17 - 20	51 - 53	7 - 10	16 - 19
Atl. skakanje	51 - 53	5 - 8	16 - 19	50 - 52	7 - 9	16 - 18
Atl. bacanje	54 - 56	15 - 18	19 - 22	53 - 55	15 - 19	18 - 21

Tabela 4-4 Telesni sastav pripadnika različitih sportova (Ugarković, 1996)

¹⁶ Najrasprostranjenije masne kiseline su *palmitinska*, *stearinska* i *oleinska*. Osnovu njihove molekulske strukture čine lanci ugljenikovih atoma kojih najčešće ima 16 do 18.

Razgradnja masti (lipida) u oksidativnim uslovima označena je kao *lipoliza*. Njen početni korak je hidroliza triglicerida kojom se masne kiseline odvajaju od glicerola. Glicerol se uz pomoć specifičnih enzima transformiše u gliceraldehid od kojeg se, uz pomoć fosfoglukonata, može dobiti izvesna količina energije, ali raspoloživa samo u jetri. Za energetske produkciju namenjenju resintezi ATP-a u aktivnim mišićima, relevantne su samo masne kiseline i to isključivo u radu čiji intenzitet ne prelazi 70% maksimalnog utroška kiseonika. Masne kiseline se u mitohondrijama mišićnih vlakana podvrgavaju procesu *beta oksidacije* koja podrazumeva postepeno razlaganje njihovog dugog lanca, sve do stadijuma acetilnog ostatka. Lipoliza se zatim odvija po istoj analogiji kao i aerobna glikoliza. Acetilni ostatak se, naime, vezuje za koenzim A stvarajući acetil-koenzim A, koji u hemijskoj reakciji sa oksalsirćetnom gradi limunsku kiselinu. Na taj način stvaraju se uslovi za ranije opisani Krebsov ciklus.

Od jednog mola smeše masnih kiselina, karakterističnih za čoveka, može se dobiti energija dovoljan za resintezu čak 138 mol ATP-a što je čak tri i po puta veća energetska produkcija od jednog mola glukoze. Potpunom oksidacijom jednog mola glukoze, naime, stvara se energija za resintezu 38 mol ATP-a, odnosno, oksidacijom jednog grama glukoze može se obnoviti 0,21 mol ATP-a, što je ekvivalentno energiji od 2,1 kcal. Pri potpunoj oksidaciji palmitinske kiseline, na primer, čija molekulska masa iznosi 256, stvara se energija za resintezu 128 mol ATP-a, odnosno svaki gram ove masne kiseline omogućava resintezu 0,5 mol ATP-a, što je ekvivalentno vrednosti od 5 kcal.

Očigledno je da lipoliza, u odnosu na ostale energetske izvore, ima najveći kapacitet (Tabela 4-5). Tako se razgradnjom jednog mola ATP-a dobija 8-10 kcal energije, razgradnjom jednog mola CP-a oko 10,5, aerobnom razgradnjom jednog mola glukoze 700, a razgradnjom jednog mola masti čak 2400 kcal. Uprkos tako velikom energetskom kapacitetu, masti nisu dominantno gorivo tokom mišićnog naprezanja sportista. Većina sportskih aktivnosti, naime, karakteriše se visokim intenzitetom rada, brzim i kratkotrajnim kretanjama u kojima, usled visoke energetske moći, dominiraju glikolitički procesi. Prednost ugljenih hidrata najbolje se ilustruje upoređivanjem tzv. energetskog ekvivalenta kiseonika, tj. količinom energije koja se dobija od masti i ugljenih hidrata utroškom iste količine kiseonika. Po tom kriterijumu, ugljeni hidrati su za 10-13% efikasnije gorivo od masti.

Pokazatelji	Mišićni glikogen	Glukoza iz krvi	Masne kiseline
Specifični energetske kapacitet			
mol ATP / mol supstrata	39	38	138
mol ATP / gram supstrata	0,22	0,22	0,5
Ukupni energetske kapacitet određen na 20 kg mišićne mase (mol ATP)	60	10	600
Energetske ekvivalent kiseonika (mol ATP / mol O ₂)	6,5	6,34	5,61
Kiseonički ekvivalent ATP-a (Litara O ₂ / mol ATP)	3,45	3,54	4,05
Maksimalna energetske moć određena za 20 kg mišićne mase (mol ATP / mol supstrata / s)	0,8	0,5	0,4

Tabela 4-5 Energetske karakteristike oksidativnog korišćenja masti i ugljenih hidrata (prema Koc-u, 1982)

Masti su značajan izvor samo u dugotrajnim aktivnostima malog i srednjeg intenziteta. Pri radu maksimalnog i submaksimalnog intenziteta njihova razgradnja je čak neostvariva. Da bi lipoliza dostigla svoju maksimalnu energetske moć, rad mora da traje najmanje 20-30 min. Otuda su masti značajno gorivo prevashodno u sportovima tipa izdržljivosti (atletsko trčanje na 5 i 10 km, maraton, skijaško trčanje i sl.), zatim u rekreativnim aktivnostima, kao i prilikom redukcije telesne mase¹⁷. U toku rada čiji intenzitet ne prelazi 70% od maksimuma, uz angažovanje 20 kg mišićne mase, oksidacijom masti može stvoriti energija za resintezu nekoliko hiljada mola ATP-a. Rezerve masti su

¹⁷ Redukcija telesne mase svodi se prevashodno na smanjenje masnog tkiva u organizmu. Da bi masti bile angažovane kao gorivo i na taj način odstranjene suvišne adipozne naslage, najpreporučljivije je da primenjena aktivnost bude srednjeg intenziteta i da traje najmanje 45 min (poželjno je i duže). To bi, na primer bilo istrajno trčanje, vožnja bicikla, intenzivna duga šetnja, plivanje u toploj vodi i sl. Igranje malog fudbala, rad u teretani ili bilo koja aktivnost visokog intenziteta, ne doprinosi značajnije smanjenju masnih naslaga.

teoretski dovoljne za energetska snabdevanje neprekidnog hoda (ili laganog trčanja) u trajanju od 7 do 10 dana.

5 SPOSOBNOSTI SA MIOGENIM IZLAZOM

Za objašnjavanje motoričkih sposobnosti sa miogenim izlazom presudne su karakteristike mišićnih vlakana posmatranih izolovano od energetskih izvora i uticaja spoljašnjih faktora (prostora, vremena, vrste rekvizita, motivacije, protivnika i sl.). To su, pre svega, kontraktilne osobine uslovljene anatomskim i fiziološkim parametrima (promerom, arhitekturom, vrstom inervacije...). Najznačajnijim miogenim svojstvima se smatraju **sila** i **snaga**. Kineziologija, međutim, poznaje još nekoliko takvih svojstava: apsolutnu, brzinsku i eksplozivnu snagu, te izdržljivost u snazi. One se, ipak, mogu smatrati samo manifestacijama dva osnovna (esencijalna) miogena svojstva – sile i snage.

5.1. DEFINICIJA SILE I SNAGE

Brojne situacije sportskog nadmetanja zahtevaju od sportista suprotstavljanje spoljašnjem otporu ili savladavanje spoljašnjih sila. U tim slučajevima obično se kaže da je neophodno posedovanje snage kao determinante takmičarskog uspeha. Dizanje tegova je tipičan primer kada se mišićnim naprežanjem savladava spoljašnji otpor i kada rezultat zavisi prevashodno od snage dizača (naravno, ne i isključivo od toga). U sportskim igrama (fudbal, košarka, rukomet...) takmičari se susreću sa potrebom da savladaju fizički otpor protivnika bilo klasičnim duelom, većim skokom ili bržom kontrakcijom. Otuda se snaga, na dnevno logički način, definiše kao sposobnost čoveka da savlada spoljašnji otpor ili da

mu se suprotstavi mišićnim naprezanjem (što nije pogrešno, ali traži dopunu).

Savladavanje (ili suprostavljanje) nekada se izvdi veoma sporo, nekada čak bez prelaska bilo kakvog puta (na primer, prilikom izdržaja u gimnastičkim vežbama, poput „aviona“ na krugovima ili prednosa na tlu), dok je u pojedinim sportovima neophodno veliki otpor savladati za što kraće vreme. Nekada ljudi sa daleko masivnijom muskulaturom, koji ujedno podižu daleko veće maksimalne težine, nisu u stanju da skoče više, da bace dalje ili da jače šutnu loptu. Razlog tome je što u motoričkom prostoru čoveka egzistiraju dva gotovo samostalna fizička svojstva koja se u literaturi starijeg datuma, a pogotovo u svakodnevnom govoru poistovećuju. Reč je o *sili (jačini)* i *snazi (moći)*. Činjenica da jak čovek ne mora biti i snažan (i obrnuto) navodi na potrebu da se sila i snaga zasebno i definišu, te da se ukaže na njihove specifičnosti.

Za razumevanje razlike koja postoji između sile i snage najbolje je poći od klasične mehaničke definicije ovih pojmova. **Sila**¹⁸ se u mehanici definiše kao mera interakcije dvaju tela, pri čemu te relacije definišu Njutnovi zakoni. Tako drugi Njutnov zakon silu (**F**) definiše kao proizvod mase tela (**m**) i ubrzanja (**a**) koje mu ta sila saopštava ($F = m \cdot a$). Osnovna jedinica internacionalnog sistema mera kojom se iskazuje ova veličina je Njutn (*N*).¹⁹

Iz navedene Njutnove jednačine sledi da se sila može indirektno odrediti iz mase tela i ubrzanja koje mu je saopšteno. U statičkim (izometrijskim) uslovima, međutim, nema kretanja, a time ni ubrzanja, pa se tada mišićna sila iskazuje kao ekvivalent spoljašnje sile koja se naprezanjem mišića poništava. To praktično znači da se sila u laboratorijskim uslovima merenja može iskazati veličinom spoljašnjeg otpora koji se savladava, na primer: veličinom podignutog tega, ili na osnovu izmerene sile istežanja dinamometra (Slike 5-1 i 5-2).

¹⁸ Sila se često zamenjuje i sinonimima *jačina* i *jakost*. Zaciorski (1975) je označava kao *sama snaga*. U engleskom jeziku upotrebljavaju se termini *strength* i *force*, zbog čega se sila u literaturi najčešće obeležava sa – **F**.

¹⁹ Jedan njutn se definiše kao sila dovoljna da masi od jednog kilograma (kg) saopšti ubrzanje od jednog metra u sekundi na kvadrat (m/s^2). U literaturi, naročito starijeg datuma, sila se iskazuje i kilopondima (kp), pri čemu se jedan kilopond definiše kao sila dovoljna da masi od jednog kilograma saopšti ubrzanje od $9,81 m/s^2$. Prema tome, jedan Njutn je 9,81 puta manji od jednog kiloponda. U praksi se, radi bržeg pretvaranja ekvivalentnih vrednosti, njutni množe, odnosno kilopondi dele sa 10.

Snaga²⁰ se u mehanici definiše kao količnik izvršenog rada (A) i proteklog vremena (t).. Matematički zapisano snaga (P) je:

$$P = \frac{A}{t}$$

Snaga se meri *vatima* (W), pri čemu važe sledeće relacije:

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$$

Snaga se uvek vezuje za savladavanje izvesnog puta (S) i to u funkciji vremena (t). Ova zakonitost postaje jasnija kada se rad (A) definiše kao proizvod sile i puta na kojem ona deluje:

$$A = F \cdot S$$

Kada se ovaj izraz uvrsti u obrazac za izračunavanje snage, dobija se formula po kojoj je snaga proizvod sile i brzine:²¹

$$P = \frac{F \cdot S}{t} = F \cdot V$$



Slika 5-1 Mehanički dinamometar



Slika 5-2 Savremeni dinamometrijski uređaji

²⁰ Za snagu se u srpskom jeziku nekad koristi i izraz *moć*, a u engleskom jeziku, koji dominira u stručnoj literaturi, izraz *Power*. Zbog toga je najčešći simbol za obeležavanje snage – P.

²¹ Brzina (V) se dobija iz odnosa predjenog puta u jedinici vremena ($V = S / t$).

5.2. SILA I SNAGA IZOLOVANOG MIŠIĆA

Objašnjavanje relacija sile i brzine, koje je započeo Hill još 1938. godine, predstavlja ključ za definisanje i pravilno tumačenje sile i snage. Karakteristična Hilova kriva u obliku hiperbole (Slika 2-12), o kojoj je ranije već bilo reči, jasno ukazuje na obrnutu proporcionalnost ova dva mehanička parametra. Osim što pokazuje da se sa povećanjem manifestovane sile (tj. spoljašnjeg otpora) smanjuje brzina pokreta, iz nje je izvedena i ranije objašnjena osnovna jednačina mišićne mehanike koja pokazuje da veličina maksimalne izometrijske sile (F_0) značajno utiče na ispoljenu (izmerenu) silu mišića (F) prilikom izvođenja konkretnog pokreta određenom brzinom (V). Tom prilikom, objašnjeno je i značenje karakterističnih konstanti (a i b). Osnovna Hilova jednačina može se transformisati u formulu za izračunavanje realizovane (F) sile u konkretnom pokretu:

$$F = \frac{F_0 \cdot b - a \cdot V}{V + b}$$

Ova jednačina jasno pokazuje da je sa povećanjem brzine kontrakcije ispoljena sila (F) sve manja od maksimalne vrednosti (F_0) izmerene u izometrijskim uslovima. To znači da za maksimalno brze pokrete (na primer zamah praznim ekstremitetom ili teniskim reketom) nije presudna maksimalna izometrijska sila. Sa druge strane, prilikom suprotstavljanja maksimalnom spoljašnjem otporu (prenošenje kamenih gromada na primer ili vučenje teških kamiona u takmičenju svetskih „snagatora“), bitnijih promena dužine mišića gotovo da nema (brzina kontrakcije je jednaka nuli, $V=0$), a maksimalna izometrijska sila je presudna. Brzina kontrakcije koja se pominje, iskazuje se (meri se) brojem dužina mišića (L) u sekundi (L/s). Istraživanja (Gans i deVree, 1987; Jarić i sar., 1989; Spector i sar., 1980; Wollitez i saradnici, 1984) su pokazala da maksimalna brzina kontrakcije najviše zavisi od dužine mišića. Iako su ispitivanjem različitih mišića dobijene vrednosti velikog opsega (od 1,5 do 5 L/s), smatra se da maksimalna brzina skraćenja mišića, u proseku, iznosi oko tri dužine u sekundi (Asmussen i Marechal, 1989; Hill, 1970; Komi, 1992).

Novija istraživanja (Baker i sar., 1994; Braith i sar., 1993; Enoka, 1994; Kanehisa i sar., 1994; Kanehisa i Myashita, 1983; Komi, 1992;

Jarić i Kukulj, 1996) definitivno su potvrdila da veličina sile, koju mišić ostvaruje u laboratorijskim (pa i situacionim) uslovima, prvenstveno zavisi od veličine njegovog fiziološkog preseka.²² Zanimljivo je da nisu dobijene značajne razlike u sili po jedinici fiziološkog preseka mišića muškaraca i žena, kao ni između sportista različitih specijalnosti i netreniranih osoba. Umerene razlike u maksimalnoj izometrijskoj sili po jedinici površine fiziološkog preseka, dobijene u nekim istraživanjima (Alway i sar., 1990; Hakkinen i Keskinen, 1989), uglavnom su pripisane uticaju sportske selekcije i specifičnim efektima treninga. Tako je definisano teorijsko stanovište po kojem jedan kvadratni centimetar fiziološkog preseka mišića svakog čoveka (treniranog ili netreniranog) ostvaruje približno jednaku maksimalnu silu²³, što se ne može reći i za snagu.

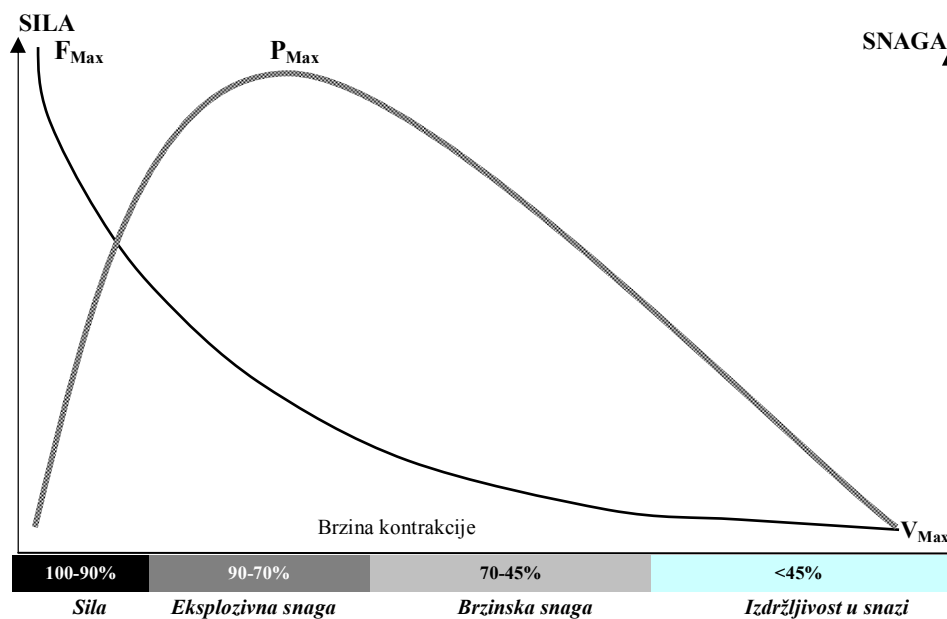
Na osnovu Hilove krive moguće je definisati precizan grafički odnos između sile i snage. Svaka tačka na toj krivoj, naime, determinisana je odgovarajućom silom i brzinom skraćanja kojom je ostvarena. Polazeći od mehaničke definicije snage kojom je ona određena kao proizvod sile i brzine ($P = F \cdot V$), za svaku tačku Hilove krive može se izračunati odgovarajuća vrednost snage. Tako se dobija niz uzastopnih tačaka čijim spajanjem se formira nova karakteristična kriva paraboličnog oblika, koja opisuje odnos snage i brzine (Slika 5-3).

Analizom krive *snaga-brzina* dolazi se do nekoliko zakonitosti: (1) snaga mišića u izometrijskim uslovima je jednaka nuli; (2) sa povećanjem brzine skraćanja mišića njegova snaga raste uprkos smanjenju sile; (3) postoji optimalna brzina skraćanja mišića pri kojoj on

²² Za razliku od anatomske koji je upravan na uzdužnu osu mišića, fiziološki presek je upravan na pravac pružanja mišićnih vlakana. Anatomski i fiziološki presek se poklapaju samo kod vretenastih mišića u kojima su vlakna paralelna sa uzdužnom osom mišića.

²³ Direktno merenje maksimalne sile po jedinici fiziološkog preseka do sada je izvodjeno isključivo na izolovanim mišićnim vlaknima eksperimentalnih životinja, pri čemu je kontrakcija izazivana elektrostimulacijom. Za istraživanje su korišćena mišićna vlakna različitih životinja, a eksperimenti su izvođeni pri različitim temperaturama. Zbog toga vrednosti ostvarene sile iskazuju veliku varijabilnost i kreću se od 10 do 100 N/cm². Vrednosti maksimalne sile koju ostvaruje kvadratni centimetar fiziološkog preseka skeletnog mišića čoveka dobijene su isključivo indirektnim merenjima, pa otuda nema egzaktnih, apsolutno pouzdanih podataka. Na osnovu do sada obavljenih merenja može se smatrati da ljudski mišić može da ostvari maksimalnu silu od 30 do 50 N/cm².

razvija maksimalnu snagu. Za većinu izolovanih mišića, testiranih u laboratorijskim uslovima, optimalna brzina iznosi 1/3 (oko 30%) maksimalne brzine skraćenja, što je ekvivalentno približno jednoj dužini u sekundi (1 L/s).



Slika 5-3 Zavisnost sile (F) i snage (P) mišića od brzine (V) njegovog skraćenja. Kombinacijom različitih vrednosti sile i brzine kojom se realizuje definisane su četiri karakteristične zone: 1. Sila ili apsolutna snaga ($F=90-100\%$; $V \approx 0$); 2. Eksplozivna snaga ($F=70-90\%$; $V \approx 1L/s$); 3. Brzinska snaga ($F=50-70\%$; $V \approx 2L/s$) i 4. Izdržljivost u snazi ($F < 50\%$; $V > 3L/s$).

Istraživanja navedenih mehaničkih osobina izolovanog mišića, dala su dosta ujednačene rezultate, bez obzira na vrstu testiranog mišića i primenjenog mernog postupka. Njima je pokazano da su sila (jačina) i snaga izolovanog mišića antropomotorička svojstva koja se ne razlikuju samo po svojoj fizičkoj prirodi, već i po svom ponašanju prilikom promene režima mišićne kontrakcije (tipa mišićnog naprežanja). Kada mišić, naime, deluje protiv velike spoljašnje sile u izometrijskom režimu, njegova sila je velika, ali je snaga jednaka nuli. Kada mišić, međutim, savlada spoljašnji otpor (teg, silu gravitacije, otpor protivnika...) i počne da povećava brzinu skraćenja (režim koncentrične kontrakcije) – njegova sila opada, a snaga raste. Na osnovu uočenih zakonitosti definisane su

dve teorijske zone prikazane na Slici 5-3. Prvoj pripadaju naprezanja tokom kojih se ispoljena sila približava maksimalnoj izometrijskoj sili (F_0), a brzina kontrakcije je jednaka ili se sasvim približava nuli.²⁴ Ova zona je zato označena kao područje **sile**. Sa smanjenjem sile i povećanjem brzine ulazi se u prostor snage. Za teorijsku granicu koja deli zonu sile od zone snage uzima se vrednost od 90% maksimalne izometrijske sile (po nekim autorima 85%). Kada realizovana sila padne ispod te vrednosti, sportista ulazi u zonu **snage**. Gradacijom ostvarene sile u zoni snage mogu se izdvojiti još najmanje tri teorijske subzone (tri vida miogenih sposobnosti):

1. **Eksplozivna snaga** – ostvaruje se kombinacijom 70-90% (po nekim autorima 70-85%) maksimalne izometrijske sile i brzine kontrakcije od oko jedne dužine u sekundi (1 L/s)
2. **Brzinska snaga** – ostvaruje se kombinacijom 45-70% maksimalne izometrijske sile i brzine kontrakcije od oko dve dužine u sekundi (2 L/s)
3. **Izdržljivost u snazi** – ostvaruje se kombinacijom sile manje od 45% maksimalne izometrijske sile i brzine kontrakcije veće od tri dužine u sekundi (3-5 L/s).

5.3. SILA I SNAGA U REALNIM POKRETIMA

Do sada iznete informacije odnose se na funkcionisanje izolovanog mišića testiranog u laboratorijskim uslovima. U realnim

²⁴ Polazeći od definicije rada (proizvod sile i predjenog puta), jasno je da se najveće vrednosti sile dostižu kada je brzina jednaka nuli, odnosno kada kretanja uopšte nema. Analogno tome, snaga se, poistovećena sa intenzitetom rada, može identifikovati samo onda kada postoji bar minimalno kretanje. Takva situacija susreće se jedino tokom izometrijskog (statičkog) naprezanja. U sportu su, međutim, veoma retke situacije klasične izometrije. Najveće vrednosti sile u sportskoj praksi se dobijaju sa-vladavanjem veoma velikog spoljašnjeg otpora poput podizanja maksimalnih težina u teretani. U takvim slučajevima pokreti su toliko spori da je bezpredmetno govoriti o realnoj brzini kontrakcije. Mišići dizača se, naime, sve vreme dok potiskuje teg nala-ze u izometriji, a opružanje se ostvaruje zanemarljivo malom brzinom. Kako kretanja ipak ima, ovakav režim naprezanja se označava kao *kvaziizometrija*. Pomoću nje se ispoljava gotovo maksimalna sila koja se u praksi često zove i *apsolutna snaga*.

okolnostima sportskih aktivnosti važe analogne zakonitosti ispoljavanja sile i snage, ali ih je, usled specifičnog delovanja mišića u konkretnim pokretima, neop-hodno dopuniti i korigovati. Biomehantička istraživanja su pokazala da se ljudski lokomotorni aparat ponaša kao da u svakoj ravni kretanja deluje jedan mišić sa konstantnim krakom sile. Ti hipotetički mišići se nazivaju *ekvivalentnim mišićima* i zahvaljujući njima se, u znatnoj meri, mehaničke osobnine mišića, konstatovane u laboratorijskim uslovima, mogu aplicirati na jednostavne (osnovne), a zatim i složene ljudske pokrete (Jarić i Kukolj, 1996). Najpre su te zakonitosti potvrđene tokom voljne fleksije u zglobu lakta, a zatim i tokom ekstenzije u zglobu kolena. U brojnim radovima (Danoff, 1978; Griffin i sar., 1993; Harries i Bassej, 1990; Hortobagyi i Katch, 1990; Jarić i sar., 1981; Jarić i sar., 1985; Seger i Thorstensson, 1994; Thorstensson, i sar., 1976; Tihanyi i sar., 1982; Westingi sar., 1990), naime, pokazano je da pri voljnoj kontrakciji izmerena sila opada sa povećanjem brzine pokreta, po principu koji odgovara Hilovoj krivoj utvrđenoj na izolovanim mišićima.

Na osnovu toga se zaključci prethodnog odeljka mogu generalizovati i na složene pokrete čoveka izvedene u realnim uslovima. To praktično znači da čovek najveću silu, zanemarujući pliometrijsku kontrakciju, ostvaruje u izometrijskom režimu rada mišića i da sa povećanjem brzine pokreta sila opada, dok snaga raste. Ovo potkrepljuju rezultati nekih istraživanja. Primera radi, Taylor i sar. (1991) su pokazali da sa povećanjem brzine opružanja u zglobu kolena sila četvoroglavog mišića buta (m. quadriceps femoris) opada, dok snaga raste i dostiže maksimum pri brzini promene ugla u zglobu kolena od 300-400 stepeni u sekundi.²⁵ Na sličan način je Danoff (1978) utvrdio da je snaga fleksora u zglobu lakta veća ukoliko deluju protiv 50% maksimalnog opterećenja, nego protiv 25% ili 75% od maksimuma. Ove pojave mogu se objasniti

²⁵ Sva pravolinijska kretanja čoveka u realnim uslovima su posledica krivolinijskog kretanja biomehantičkih poluga (kostiju) izazvanog mišićnom kontrakcijom. Prema tome, u realnim okolnostima nemoguće je ostvariti pravolinijsko kretanje pojedinih segmenata tela. Ta činjenica umnogome otežava precizno merenje snage koju aktuelni mišić realizuje. Osim toga, istraživači su lišeni i mogućnosti da brzinu kontrakcije iskažu preko dužine mišića. Zato se u praksi brzina pokreta tokom kojeg se sila meri, iskazuje promenom ugla između odgovarajućih segmenata tela u jedinici vremena, odnosno *stepenima u sekundi*. Na taj način je omogućeno i ravnoopravno tumačenje brzine pokreta kod sportista sa različitim anatomskom dužinom mišića i kostiju.

upravo relacijama snage i brzine izolovanih mišića (Slika 5-3) budući da 50% maksimalne sile odgovara upravo jednoj trećini maksimalne brzine kontrakcije. Sva manja opterećenja omogućavaju brže, a sva veća sporije pokrete čime se značajno gubi na snazi.

Sve do sada rečeno sugerise na zaključak da se sila i snaga mogu interpretirati kao dva relativno nezavisna antropomotorička svojstva mišića. Dok **sila** (jačina) predstavlja sposobnost mišića da realizuje veliku napetost u izometrijskim uslovima ili protiv velikog spoljašnjeg otpora pri vrlo malim brzinama skraćanja, dotle je **snaga** sposobnost mišića da deluje relativno velikim silama protiv manjeg spoljašnjeg otpora, ali pri velikim brzinama kontrakcije. Iz toga proističe da jaka osoba ne mora istovremeno biti i snažna, kao i obrnuto. Dok jedan mišić razvija veliku silu u izometrijskim i kvaziizometrijskim uslovima, dotle je drugi sposobniji da razvije veliku snagu.

Polazeći od objašnjenja o dva različita miogena prostora, području sile i području snage (Slika 5-3), mogu se razlikovati sportovi u kojima je važnija sila i oni u kojima dominira snaga. Time se objašnjava kako takmičari u bodi-bildingu ne mogu da ostvare visoke rezultate u sportovima u kojima se zahteva sposobnost brzog generisanja mišićne sile (na primer, atletske skokovi ili bacanja). Dobra ilustracija je i primer dizača tegova koji u disciplini trzaja, uprkos manjem teretu, razvija veću snagu nego pri tzv. mrtvom vučenju znatno većeg tereta. U prvom slučaju se razvija velika snaga (oko 1800 W) i mala sila (oko 1200 N), dok se u drugom deluje velikom silom (oko 3600 N) uz razvijanje male snage (oko 900 W).

Interesantno je analizirati ispoljavanje snage u tipičnim brzinskim motornim radnjama, na primer atletske sprintu. Prilikom trčanja maksimalnom brzinom čovek pokreće čitavo telo i prema procenama Fenn-a (1930) razvija oko tri konjske snage (preko 2000 W). Radovi novijeg datuma su pokazali da srednja snaga mišića prilikom trčanja maksimalnom brzinom iznosi 30 W/kg, što znači da sprinter mase 80 kilograma ostvaruje snagu od 2400 W. Još veće vrednosti zabeležene su u završnoj fazi maksimalnog sunožnog odskoka, čak 3000 W (prema Herman i sar., 1990). Ovako visoke vrednosti snage su dobijene ne samo zahvaljujući pogodnom režimu mišićnog rada (umereno opterećenje i velika brzina kontrakcije), već i simultanom dejstvu velikog broja mišića u dinamičkom režimu. Biomehanička analiza kretanja pojedinih kinetičkih lanaca pokazuje da mišići najveću snagu, u realnim uslovima,

razvijaju u maksimalno brzim pokretima, ali sa umerenim opterećenjem (na primer: šut u fudbalu, šut u rukometu, smeč u odbojci, bacanje atletskih sprava, udarci u borilačkim sportovima, teniski servis i sl.).

5.4. RELATIVNA NEZAVISNOST SILE I SNAGE

Primeri navedeni u prethodnom odeljku potkrepljuju ideju o izvesnoj nezavisnosti sile i snage. S druge strane, osnovna jednačina mišićne mehanike (Hill-ova jednačina) pokazuje da je sila (F), ostvarena u brzim pokretima (koja se može poistovetiti sa snagom), direktno proporcionalna maksimalnoj sili ostvarenoj u izometrijskim uslovima (F_0). Te činjenice otvaraju dilemu o mogućnosti sportiste da istovremeno ostvari veliku silu i snagu. Drugim rečima, za teoriju i praksu sporta značajno je dati odgovor na pitanje da li je jak sportista istovremeno i snažan, odnosno da li sportista koji je u stanju da savlada ili pokrene veliki teret, istovremeno može brzo da trči, visoko ili daleko skoči, daleko baci loptu ili disk?

Svaki sport iziskuje specifične sposobnosti takmičara, odnosno, zasniva se na ispoljavanju sile ili snage kao dominantnom miogenom fizičkom svojstvu. Veliki broj istraživanja pokazuje da se selekcija u vrhunskom sportu zasniva upravo na sposobnostima pojedinca da razvije veliku silu ili snagu. Mišići većine sportista ne pokazuju razlike u veličini relativne sile, izračunate po jedinici fiziološkog preseka, dok se u pogledu snage veoma razlikuju. Tako su Taylor i sar., (1991) utvrdili da se relativna jačina opružaća u zglobu kolena ne razlikuju kod sportista tipa snage (odbojkaši, fudbaleri, dizači tegova..) i sportista tipa izdržljivosti (maratonci, biciklisti...). Sa povećanjem brzine opružanja, međutim, razlika u izmerenoj sili postaje sve veća u korist sportista prve grupe, što praktično znači da oni razvijaju i veću snagu.

Iako postoji realan razlog da se sila i snaga tretiraju kao nezavisna svojstva lokomotornog aparata, teško je striktno odrediti područje njihovog razgraničenja. Područja jačine i snage data na Slici 5-3 trebalo bi prihvatiti uslovno, jer je logično pretpostaviti da će pri malim razlikama u brzini izvođenja dva slična pokreta izazvana promenom opterećenja, ispoljena sila i snaga pokazati veću saglasnost. U prilog tome

idu i rezultati Kanus-ovog (1992) istraživanja koji su pokazali da maksimalna izometrijska sila aktuelne mišićne grupe nisko korelira sa njenom maksimalnom snagom. Stepenn njihove povezanosti, međutim, znatno se povećao kada je sila merena pri umereno brzim pokretima (60-240°/s.). U vezi sa tim zanimljivi su i podaci koji govore o relaciji rezultata tipičnih testova snage (skok u dalj iz mesta i vertikalni odskok) i dinamometrijskih testova sile. Tako su Jarić i sar., (1989) kao i Birch i sar., (1994) utvrdili numeričku povezanost srednje jačine (prosečnog koeficijenta korelacije) između pomenutih pokazatelja snage i sile pružača nogu.

Imajući na umu sve do sada rečeno, silu i snagu ne bi trebalo tretirati kao o apsolutno nezavisna, već kao relativno nezavisna miogena svojstva lokomotornog aparata. Premda velika mišićna sila ne garantuje sposobnost mišića za generisanjem i velike snage, logično je da će jači sportisti imati prednost prilikom savladavanja većeg spoljašnjeg otpora. Može se reći da su snažni sportisti, na neki način, uvežbani da brzo razvijaju veću ili manju mišićnu silu. Pored utneranosti, na ispoljavanje mišićne sile i snage utiče još izvestan broj faktora, od kojih su neki detaljnije objašnjenih u narednom odeljku.

5.5. FAKTORI ZNAČAJNI ZA ISPOLJAVANJE SILE I SNAGE

5.5.1. UTICAJ TIPA MIŠIĆNOG VLAKNA

U odeljku 2.5. detaljno su objašnjeni različiti tipovi mišićnih vlakana. Za ovu priliku dovoljno je podsetiti se samo opšte podela na spora (sporo-kontrahujuća, ST) i brza (brzokontrahujuća, FT) vlakna.

U jednom mišiću nalaze se izmešana i brza i spora vlakna (ili preciznije, brze i spore motorne jedinice), a dominacija jednih ili drugih određuje njegovu fiziološku strukturu. U posturalnim mišićima (m. soleus, m. erector spinae...) izrazito dominiraju spore motorne jedinice, dok je kod gotovo svih ostalih skeletni mišići odnos brzih i sporih jedinica prilično ujednačen.

Struktura istih mišića kod različitih osoba varira u širokom opsegu. Tako na primer, udeo brzih vlakana u m. vastus lateralis-u, kod

različitih osoba, varira od 35% do 60% (prema Bosco-u i Komi-u, 1979), a slično važi i za većinu ostalih skeletnih mišića. Od značaja je navesti da su istraživanja strukture skeletnih mišića čoveka pokazala da ako neka osoba ima veći procenat brzih (ili sporih) vlakana u jednom mišiću, vrlo je verovatno da bi se slična struktura dobila i kod ostalih mišića. Zbog toga se, prilikom određivanja strukture mišića, uzorak tkiva obično uzima samo iz jednog mišića, pa se podaci generalizuju na celokupnu muskulaturu. To znači da je uslovno, prema strukturi mišića, ljude moguće podeliti na brze i spore.

Istraživanja na izolovanim mišićima eksperimentalnih životinja (pacov, zamorac, zec i sl.) pokazala su da se brza i spora vlakna ne razlikuju mnogo u pogledu ispoljavanja maksimalne sile, iskazane po jedinici fiziološkog preseka, pri čemu su brza vlakna u stanju da tu silu ostvare daleko brže, zahvaljujući sposobnosti bržeg skraćivanja (Cabri, 1991; Glenmark i sar., 1994; Yates i Kamon, 1983). To praktično znači da je sila (jačina) brzih i sporih vlakana slična, dok brza vlakna mogu da ostvare veću snagu. Na osnovu toga sledi da su ljudi kod kojih dominiraju brza vlakna (uslovno brzi ljudi²⁶) predisponirani za razvijanje velike snage. Istraživanja su pokazala da su takve osobe u stanju da postignu veću brzinu trčanja i veći sunožni odskok od osoba sa prosečnom strukturom mišića (Bosco i Komi, 1979; Glenmark i sar., 1994; Mero i sar., 1992). Prema tome, brze i spore osobe razlikuju se po snazi, ali ne i po sili, te se na osnovu toga zaključuje da je struktura mišića jedan od uzroka razmatranja sile i snage kao relativno nezavisnih antropomotoričkih miogenih svojstava.

5.5.2. UTICAJ ARHITEKTURE MIŠIĆA

Pod arhitekturom mišića podrazumeva se odnos između dužine mišićnih vlakana i površine njihovog fiziološkog preseka. Kako je ranije naznačeno, ukupan broj vlakana u mišiću se ne menja, dok se njihova dužina može povećati, bilo izduženjem vlakana, bilo smanjenjem ugla njihovog pripajanja (kod perastih mišića). Površina fiziološkog preseka se

²⁶ Spore osobe, tj. one kod kojih dominiraju sporokontrahejuća mišićna vlakna, nikako se ne mogu smatrati inferiornim u sportu, s obzirom na to da im mišićna struktura omogućava veću ekonomičnost u radu, a time i veću predisponiranost za sportove tipa izdržljivosti (trčanje na duge staze, smučarsko trčanje, biciklizam i td.).

takođe može povećati, bilo na račun povećanja pomenutog ugla, ili hipertrofijom vlakana. Za ispoljavanje maksimalne sile od presudnog značaja je površina fiziološkog preseka, a za maksimalnu brzinu kontrakcije duži-na mišića.

U skeletnoj muskulaturi čoveka dominiraju vretenasti i perasti mišići. Prvi se odlikuju većom dužinom i manjom površinom fiziološkog preseka, dok su drugi, naprotiv, širi i kraći. Takva arhitektura vretenastim mišićima (kakvi su m. biceps brachi, m. triceps brachi, m. brachioradialis, m. quadriceps femoris) daje veću mogućnost za izvođenje brzih pokreta, a time i sposobnost ispoljavanja velike snage. Za razliku od njih, perasti mišići (kakvi su m. pectoralis major, m. erector spinae, m. soleus) sporije se kontrahuju i imaju bolje predispozicije za razvoj velike sile. Otuda se može reći da su dugi vretenasti mišići – snažni, a kratki i široki perasti mišići (bilo jednoperasti ili dvoperasti) – jaki.

Arhitektura mišića se bitno razlikuje kod različitih mišića iste osobe, kao i kod istih mišića različitih osoba. Osim toga, utvrđeno je da se mišići, promenom ugla pripajanja svojih vlakana za tetive, prilagođavaju ili velikoj sili ili velikoj brzini kontrakcije, implicitno i velikoj snazi (prema Gans-u i de Vree-u, 1987). Iz toga sledi da se sa promenom arhitekture mišića konstantne mase, ne mogu istovremeno povećati i jačina i snaga, već se na račun jedne povećava druga sposobnost mišića. Ovaj zaključak ide u prilog tezi o relativnoj nezavisnosti sile i snage sportista. Naravno, iskazana tvrdnja važi samo za uslove istog nivoa nervne ekscitacije mišića, budući da novija istraživanja ukazuju na značaj nervne komponente treninga. Prema Enoka-i (1994), naime, adaptacija nervnog sistema je ključna posledica treninga koja se ispoljava povećanjem razdraženja mišića, što nužno rezultira porastom i sile i snage.

5.5.3. UTICAJ ZAMORA I TEMPERATURE

Sva velika mišićna naprezanja praćena su pojavom zamora kao posledicom nagomilavanja metabolita i iscrpljenja energetske rezerve. U radu visokog intenziteta troše se i velike količine energije koja se sva ne iskoristi za mehanički rad, već se njen veliki deo transformiše u toplotu. Zbog toga je mišićno naprezanje praćeno i osetnim porastom temperature. Kako su, dakle, zamor i porast temperature stalni pratioci mišićnog napre-

zanja, izvestan broj radova bavio se njihovim uticajem na ispoljavanje sile i snage. Rezultati do kojih se u njima došlo još jednom su ukazali na relativnu nezavisnost ova dva mehanička svojstva mišića. Nađeno je, naime, da promene temperature i stepena zamora mišića manje utiču na opadanje sile nego snage. Ioffe i sar., (1990) su utvrdili da postkontraktilana hiperemija, izazvana porastom temperature mišića, povećava njegovu snagu. S druge strane, Binkhorst i sar., (1977) navode da pad temperature mišića i povećanje stepena zamora značajno utiču na promene relacije *sila-brzina* tako što veoma malo smanjuju maksimalnu izometrijsku silu, ali zato u velikoj meri ograničavaju maksimalnu brzinu skraćanja. Ta zakonitost se, kako saopštava Enoka (1994), direktno prenosi i na složene pokrete čoveka u kojima se, po istoj analogiji, značajno gubi na snazi, ali ne i jačini. Navedene promene sile i snage, pod uticajem zamora i temperature, odnose se prevashodno na umerena odstupanja, budući da pri znatnom padu temperature mišića, ili pri velikom zamoru, mišići gube i na sili i na snazi u svim režimima kontrakcije.

5.5.4. UTICAJ BIOLOŠKE STAROSTI

Još jedan faktor značajan za ispoljavanje sile i snage potkrepljuje tezu o njihovoj relativnoj nezavisnosti. Reč je o biološkoj starosti koja značajno utiče na jačinu i snagu mišića tokom života. Već nakon dvadesete godine, naime, čovek postepeno počinje da gubi snagu, premda se, prema rezultatima istraživanja (Fiatarone i sar., 1990; Roman i sar., 1993), taj proces može bitno usporiti fizičkim vežbanjem. Kako navode Grassi i sar., (1991), a zatim i Laforest i sar., (1990), opadanje mišićne snage čoveka neprekidno prati po ulasku u treću deceniju, pa do kraja života.

Ova pojava se prvenstveno objašnjava promenom mišićne strukture. Usled odumiranja alfa motornih neurona brzih motornih jedinica, njihovu inervaciju preuzimaju susedni neuroni sporih motornih jedinica transformišući brza mišićna vlakna u spora. Na taj način u strukturi mišića sve više dominiraju spore motorne jedinice (prema Larson 1979 i 1983). Shodno tome, selektivno se menjaju i mehaničke osobine mišića. Jačina (sila) se značajno ne menja, dok se snaga osetno smanjuje. Veće opadanje jačine mišića, na šta između ostalih ukazuju Narici i sar., (1991), beleži se tek u pedesetim godinama života.

Interesantno je da Frontera i sar., (1991), kao i Grassi i sar., (1991), opadanje jačine mišića u tim godinama ne vezuju toliko za smanjenje sile po jedinici fiziološkog preseka, koliko za opšti gubitak mišićne mase. Istina, prema nekim istraživanjima (Fiatarone i saradnici, 1990; Laforest i sar., 1990; Roman i sar., 1993) i opadanje mišićne sile može se značajno usporiti fizičkim vežbanjem.

Navedene promene sile i snage vezane za biološko starenje mišićnog tkiva, direktno se projektuju na efikasnost humane lokomocije u pojedinim periodima života. Tako su testovi fizičkih sposobnosti koje su sprovedli Gužalovskij (1987), zatim Vilijaneni sar., (1991) pokazali da se osetnije opadanje jačine dešava tek u poznim četrdesetim godinama, dok snaga počinje da opada već nakon 26. godine kod žena, odnosno nakon 36. godine kod muškaraca.

5.5.5. UTICAJ HORMONALNIH MEHANIZAMA

Funkcije organizma, time i mišićnu aktivnost, regulišu dva glavna kontrolna sistema: nervni (opisan u trećem poglavlju) i hormonalni (ili endokrini). Hormonalni mehanizmi deluju uglavnom na različite metaboličke funkcije mišićnog sistema kontrolišući bilo brzinu hemijskih reakcija u ćelijama, bilo transport materija kroz ćelijske membrane, ili pak, neke druge aspekte metabolizma ćelije, kao što su rast i sekrecija. Neki efekti delovanja hormona ispoljavaju se veoma brzo (za nekoliko sekundi), dok je za neke potrebno da prođe nekoliko dana da bi počeli, a zatim traju više sedmica, meseci, pa i godina. Između hormonskog i nervnog sistema postoje brojne međusobne veze. Srž nadbubrežne žlezde i neurohipofiza, na primer, luče hormone samo kad ih pobude odgovarajući nervni impulsi; adenohipofiza luči hormone u znatnijim količinama samo kad se poveća aktivnost nervnih ćelija u hipotalamusu, dok sama po sebi izlučuje tek mali broj hormona.

Veliki broj hormonskih mehanizama igra veoma važnu ulogu u struktuiranju mišićnog vlakna, čime direktno utiče i na ispoljavanje sile i snage. Ti mehanizmi integrisani su u kompleksni sistem značajan za adaptivne promene mišića izazvane treningom u kojem se savladava veliki spoljašnji otpor. Hormonalni mehanizmi utiču na poboljšanje sposobnosti mišića za razvoj velike sile kao i povećanje dimenzija mišićne ćelije.

Hormoni mogu direktno da deluju na mišićne ćelije, ali je u većini slučajeva precizan mehanizam tih efekata nepoznat. Tako na primer, insulin povećava propustljivost ćelijskih membrana za glukozu, a hormon rasta pospešuje transport aminokiselina u ćelije (Kraemer, 1992). Hormon rasta, stimuliše sintezu proteina na još nekoliko načina, ne samo povećanjem nivoa aminokiselina u ćeliji. Neki hormoni, na primer kateholamin i acetilholin, direktno utiču na ćelijsku membranu tako što je čine propustljivijom za jone, te na taj način pobuđuju mišićnu kontrakciju.

Vodeći endokrini mehanizam čine hipotalamus i hipofiza (pituitarna žlezda) koji, u anatomskom i fiziološkom smislu, čine celinu hipotalamičko-pituitarnu osovinu). Hipofiza ima dve funkcionalne celine: (1) *adenohipofizu* (prednji režanj) i (2) *neurohipofizu* (zadnji režanj). Za mišićnu aktivnost značajan je samo prednji režanj koji luči šest važnih hormona, od kojih samo tri utiču na strukuiranje mišića i metabolizam mišićne ćelije. To su: hormon rasta koji utiče na rast tkiva delujući pre svega na metabolizam proteina, adenokortikotropin (ACTH) koji kontoliše sekreciju nekih hormona kore nadbubrežne žlezde i tiro-tropin (TH) koji kontroliše sekreciju hormona iz štitne žlezde (Kraemer, 1992).

Lučenje pomenutih hormona pod direktnom je kontrolom hipotalamusa koji prima informacije iz gotovo svih delova nervnog sistema. Draži koje hipotalamus registruje su vrlo raznolike: bol, hladnoća, nervni stres, uzbuđenost, depresivna stanja, poremećaj hemijske ravnoteže u tkivima, konzumacija alkohola, narkotika i td. Uslovi treninga i sportskog takmičenja, koji zahtevaju visoku aktivaciju organizma, takođe su značajan stimulan za aktivnost hipotalamusa (Buckler, 1971; Chang i saradnici, 1985; Okayama, 1972; Sonntag i sar., 1982). Prema tome, hipotalamus je centar za prikupljanje informacija značajnih za očuvanje normalnog stanja organizma što se postiže lučenjem odgovarajućih hormona. U hipotalamusu se sintetizuju i izlučuju posebni (hipotalamički) hormoni, označeni i kao *hipotalamički faktori*. Njihovo dejstvo može biti stimulišuće i inhibirajuće. Pomoću hipotalamičkih faktora hipotalamus reguliše aktivnost pituitarne žlezde.

Pored hipofize, u organizmu čoveka funkcioniše još nekoliko endokrinih žlezda (žlezda sa unutrašnjim lučenjem) od kojih su za regulaciju mišićne aktivnosti posebno važne: tireoidna (štitna), nadbubrežna (adrenalna) i polne žlezde (gonade). Njihovu sekreciju regulišu hormoni hipofize po principu negativne povratne veze (negativni

feed back). To praktično znači da poremećaj neke funkcije registrovan od strane hipotalamusa izaziva lučenje hormona adenohipofize koji pobuđuju i aktivnost podređenih endokrinih žlezda, te lučenje odgovarajućih hormona. Pojava veće koncentracije hormona automatski izaziva inhibiciju hipofize. Zbog toga se za hipofizu kaže da diriguje orkestrom u kojem i sama svira.

Posmatrano sa hemijskog aspekta, postoje dve osnovne vrste hormona: (1) proteini ili derivati proteina (derivati aminokiselina) i (2) steroidni hormoni. Steroidne hormone luče kora nadbubrežne žlezde (to su kortikosteroidi) i polne žlezde (na primer testosteron), dok preostali endokrini elementi luče proteine i proteinske derivate. Za ulazak bilo kog hormona u ćeliju ciljnog tkiva, neophodno je postojanje specifičnih receptora. Po prolasku kroz ćelijsku membranu, prva grupa hormona svoje dejstvo realizuje preko sistema cikličkog adenzin-mono-fosfata (AMP), a druga (steroidni hormoni) deluje preko ćelijskih gena (tačnije, aktivnošću ribonukleinskih kiselina). Steroidni hormoni u svim ćelijama imaju anaboličko dejstvo, s obzirom na to da pospešuju sintezu proteina. Priroda tih proteina je, verovatno, enzimski tako da oni dalje aktiviraju druge procese u ćelijama. Pretpostavlja se da se ovim mehanizmom povećava masa i broj enzima značajnih za energetiku mišićne kontrakcije.

Kako navode Florini (1987) i Kraemer (1992), glavni anabolički hormoni značajni za funkcije i remodelovanje mišićnog tkiva sportista, usmerenog ka poboljšanju sile i snage su: hormon rasta, tireoidni hormoni, insulin, glukokortikosteroidi (pre svega kortizol), testosteron i kateholamini (adrenalin i noradrenalin). Osim toga, Adem i sar., (1989), Alen i sar., (1979), Florini (1985 i 1987), Han i sar., (1987), Horikawa i sar., (1989) objasnili su i značajnu ulogu izvesnog proteinskog jedinjenja koje se nalazi u mišićima i posreduje u delovanju hormona rasta. Reč je o *insulin-like growth* faktoru (IGF), jednom od brojnih somatomedina.²⁷

Hormon rasta (engl. *growth hormon* – GH) ili *somatotropin* (STH), protein malih molekula, izaziva rast svih telesnih tkiva koja su u stanju da rastu. On izaziva povećanje dimenzija ćelije, a s obzirom na to da podstiče mitozu, prouzrokuje i povećanje broja ćelija. Sve te promene dešavaju se prvenstveno na račun ubrzane sinteze (anabolizma) proteina.

²⁷ Somatomedini su mali proteini koje u kostima, jetri, bubrezima, mišićima, a verovatno i ostalim organima, formira hormon rasta i preko njih indirektno ostvaruje svoje dejstvo na rast tkiva. Svako ciljno tkivo ima specifični somatomedin koji usmerava odgovarajući hormon.

Pod uticajem hormona rasta, njegov somatomedin IGF povećava propustljivost ćelijskih membrana za aminokiseline koje su presudne za sintezu proteina. Zahvaljujući ovom mehanizmu može dolazi do značajnog povećanja dimenzija mišića: mišićne mase, promera vlakna i fiziološkog preseka. Na taj način se značajno može uticati na povećanje jačine mišića, tj. njegove sposobnosti da, pre svega, razvija veliku silu. Otuda poslednjih godina preparate ovog hormona često upotrebljavaju sportisti tokom treninga usmerenog na povećanje sile i snage, kombinujući ih naročito sa anaboličkim steroidima. Pored značajnog uticaja na sintezu proteina, somatotropin usporava razgradnju glukoze i povećava iskorišćavanje masti kao energetskog goriva. Dugo se verovalo da se hormon rasta luči prvenstveno u periodu rastenja, te da ga nakon puberteta više nema u krvi. Dokazano je međutim, da je to zabluda, jer se GH luči i kod odraslih osoba i to u količinama koje su gotovo jednake onima iz period detinjstva. Istraživanjima (Florini, 1987; Kraemer, 1992) je dokazano da se hormon rasta intenzivnije luči kod sportista, naročito onih koji savlađuju velik otpor.

Tireoidni hormon, prvenstveno *trijodtironin* i *tiroksin*, odgovorni su za regulaciju bazalnog metabolizma u organizmu. Drugim rečima, oni određuju osnovni energetski nivo pri kojem ćelija kvalitetno funkcioniše. Pored bazalnog metabolizma, regulišu i nivo emotivnih reakcija centralnog nervnog sistema. Jedan od najvažnijih metaboličkih efekata tiroksina je da njegovo prisustvo povećava koncentraciju glukoze u krvi što je značajan preduslov za povećanje energetskog nivoa na kome organizam radi. To je presudno za rad u uslovima velikih fizičkih opterećenja, jer bez povećanja nivoa šećera u krvi nije moguće ni povećanje energetske produkcije u mišićnim ćelijama i postizanje jakih i snažnih kontrakcija. Zbog povoljnog dejstva na ispoljavanje sile i snage, preparati ovog hormon se često nalaze na listi dopinga, naročito u sportovima gde dominira eksplozivna snaga.

Insulin (zajedno sa *glukagonom*) luče Langer-Hansova ostrvca gušterače (pankreas), a njegova uloga je da reguliše relativno konstantan nivo šećera u krvi. Insulin to postiže konstantnim smanjenjem količine šećera koga u toku napornog fizičkog rada mobilise adrenalin ili se pak unosi hranom. Pored ovog dejstva, značajnog za energetiku ćelijskog metabolizma i sprečavanje dijabetesa, Florini (1987), Kraemer (1992) i Pruett (1985) navode da insulin igra veoma važnu ulogu i u proteinskom metabolizmu; preciznije, značajan je za uvećanje kontraktilnih

miofilamenata na osnovu sinteze proteina. Insulin, naime, u sadejstvu sa IGF-ov, zaustavlja razgradnju proteina, neutrališući kataboličke (razgrađujuće) efekte ostalih hormona, prevashodno kortizola. Na taj način insulin indriktno pospešuje anaboličke procese utičući na ugradnju amino kiselina u mišićne ćelije. Budući da dovodi do uvećanja mišićne mase, on pozitivno deluje na ispoljavanje i sile i snage.

Glukokortikosteroidi su hormoni kore nadbubrežne žlezde. Čak 95% svih aktivnosti glukokortikosteroida pripada *kortizolu*, pa se njemu u većini istraživanja poklanja najveća pažnja. Sekretiju kortizola kontroliše adenokortikotropin (ACTH) koji hipofiza luči u svim stresnim situacijama, pri čemu se i fizički napor smatra izuzetno visokim stresom za organizam čoveka. Zbog toga se koncentracija kortizola u krvi tokom velikih fizičkih naprezanja može povećati čak 20 puta. Njegova osnovna uloga u takvim situacijama je da očuva normalan odnos anaboličkih i kataboličkih procesa, prevashodno u metabolizmu proteina. U klasičnom smislu, kortizol u skeletnim mišićima deluje kao katabolički hormon (Kuoppasalmi i Adlercreutz, 1985; Florini, 1987). U slučaju bolesti, imobilizacije usled preloma kostiju ili iščašenja zglobova, ili prilikom povreda, zapaža se efekat smanjenja azota u mišićnoj ćeliji praćen gubitkom kontraktilnih proteina i atrofijom mišića što smanjuje sposobnost za ispoljavanje sile (MacDougal, 1986; Florini, 1987). Tada se narušava balans anaboličkih i kataboličkih aktivnosti u mišiću što prouzrokuje opadanje snage proteinskih kontraktilnih elemenata (Komi, 1994). Kortizol, dakle, ima negativne efekte na ispoljavanje sile i snage, ali je od izuzetnog značaja za očuvanje normalnih biohemijskih procesa u mišićnom tkivu. Osim toga, za kortizol se navodi da ima važnu ulogu u glukoneogenezi (pretvaranju masti i proteina, čaki i laktata u glukozu).

Testosteron je tipičan steroidni hormon anaboličkog dejstva koji muškarcu daje tipična polna obeležja. Prevashodno ga luče testisi, ali za njegovu produkciju, naravno daleko manju, sposobna je i kora nadbubrežne žlezde. Otuda se testosteron, u izvesnim količinama, nalazi i u krvnoj plazmi žena. Testosteron ima širok spektar dejstva, ali je za ovu priliku najvažnije istaći njegov uticaj na ubrzavanje metabolizma i, što je još značajnije, povećanje produkcije proteina. Anabolički efekti testosterona naročito su vidljivi prilikom sinteze kontraktilnih proteina mišićnih vlakana što dovodi do povećanja poprečnog preseka mišićnog vlakna. Otuda su mišići muškaraca veći od mišića žena, a samim tim i sposobniji za ispoljavanje veće sile i snage. Kod muskuloznih žena, naime,

nađena je veća koncentracija testosterona što se dovodi u vezu sa njihovim povećanim mogućnostima za ispoljavanje sile i snage. Ovde je važno naglasiti da do sada nije egzaktno potvrđeno da fizička aktivnost značajno povećava koncentraciju testosterona, što praktično znači da žene koje se bave sportom neće poprimiti maskuline osobine. Otuda kao preovladavajuće valja prihvatiti mišljenje da je produkcija testosterona značajna za izbor odgovarajućeg sporta, odnosno za selekciju. Praksa pokazuje da prilikom prirodne selekcije u sportu ostaju osobe sa većom koncentracijom ovog hormona. Pogrešno je, dakle, zaključivati u suprotnom smeru. Istina, postoje i istraživanja koja sugerišu na povećanje koncentracije testosterona kao posledicu vežbanja. Tako su Griggs i sar., (1989), Florini (1987), Linzbach (prema Medvedu, 1980), Young i sar., (1989) ukazali na hipertrofiju kore nadbubrežne žlezde kod eksperimentalnih životinja koje su bile izložene sistematskom treningu, kao i prilikom autopsije fizičkih radnika i nekih sportista. Da li su ove promene prisutne i kod svih sportista i ako jesu da li su posledica povećane produkcije testosterona, ostaje da provere naredna istraživanja. U svakom slučaju, očigledno je da testosteron ima veliki uticaj na ispoljavanje mišićne sile i snage, zbog čega je dosta korišćen kao stimulatívno sredstvo (naravno nedozvoljeno) u treningu za razvoj miogenih svojstava.

Kateholamini (adrenalin i noradrenalin) su hormoni srži nadbubrežne žlezde. Njihovo lučenje determinisano je aktivnošću hipofize, naravno preko ACTH. U situacijama koje iziskuju visoku aktivaciju lokomotornog aparata (borba za život, strah, ili visoka sportska motivacija), srž nadbubrežne žlezde izlučuje velike količine adrenalina koji izaziva različite efekte, pre svega ubrzavanje metabolizma, povećanje krvnog pritiska, sekreciju drugih hormona (prvenstveno testosterona) i povećanje kontraktilne sposobnosti mišića. Poslednja dva efekta od posebnog su značaja za aktuelnu muskulaturu s obzirom na to da direktno utiču na povećanje sile i snage. Poznati su primeri kada su ljudi boreći se za život uspevali da preskoče daljine i visine ravne svetskim rekordima, ili pak, da podignu teret koji daleko prevazilazi njihove mogućnosti u normalnom stanju.

5.5.6. UTICAJ TRENINGA NA SILU I SNAGU

Sportski trening oduvek ima terminoloških problema koji se iskazuju kroz nepreciznu upotrebu pojmova sila (jačina) i snaga. Najjčešće se nepravilnosti javljaju prilikom upotrebe izraza snaga u vežbama sa maksimalnim i submaksimalnim teretom i shodno tome malom brzinom. Polazeći od elementarne definicije snage, jasno je da se u takvim slučajevima može operisati jedino izrazima sila i jačina, dok je pojam snaga upotrebljiv tokom vežbanja protiv umerenog otpora, uz izvođenje pokreta srednjom i velikom brzinom. Od ovih, čisto terminoloških problema, daleko su značajniji oni koji se odnose na transformaciju sile i snage pod uticajem različitih režima treninga.

Sposobnost selektivnog povećanja sile u pojedinim režimima kontrakcije, u literaturi se označava kao *specifični trenažni efekat* (Baker i sar., 1994; Enoka, 1994). Rezultati istraživanja pokazuju da mišić silu najviše povećava u onom režimu u kojem je treniran (Johnes i Rutherford, 1987). Ukoliko se, na primer, kontrakcija izvodi u miometrijskom režimu, u njemu se povećava i ispoljena sila, pri čemu maksimalna izometrijska sila ostaje nepromenjena (Sale i sar., 1992). Isto važi i u obrnutom slučaju: izometrijski trening utiče na povećanje maksimalne sile, dok sila izmerena u miometrijskom (koncentričnom) režimu rada ostaje nepromenjena (Agaard i sar., 1994; Braith i sar., 1993). S tim u vezi, ubedljivi su rezultati istraživanja Kanehisa-e i Myashita-e (1983) koji su pokazali kako su efekti treninga vidljivi čak i kod umerenih promena spoljašnjeg opterećenja.

S obzirom na činjenicu da izometrijski trening odgovara području jačine, a dinamički području snage, jasno je da se sila i snaga lokomotornog aparata ne usavršavaju istim trenažnim postupcima, već da zahtevaju primenu specifičnih kinezioloških operatora. To delimično objašnjava međusobnu nepovezanost sile i snage, pri čemu ne treba gubiti iz vida i činjenicu da povećanje mišićne mase, u izvesnoj meri, istovremeno razvija i silu i snagu. To je posebno prisutno kod prethodno netreniranih ili slabo treniranih osoba. Osim toga, rezultati pojedinih istraživanja (Agaard i sar., 1994) pokazuju da efekti izometrijskog treninga imaju veći transfer na ostale vidove ispoljavanja sile i snage, nego što je to slučaj sa treningom u kojem se primenjuju brze koncentrične kontrakcije sa malim opterećenjem. Praksa takođe pokazuje da je podizanje velikog tereta (prevashodno submaksimalnog) izdašnije u

pogledu hipertrofije miškulature i da brže dovodi do priraštaja i sile i snage. Ovde je korisno napomenuti da je rad sa velikim težinama nepohodno upotpuniti kalsičnim koncentričnim vežbama čime se razbijaju stereotipi i sprečava stabilizovanje miogenih svojstava na jednom nivou.

Specifični efekti pojedinih trenažnih stimulusa objašnjava se promenama nastalim u strukturi i arhitekturi mišića. Trening sile (maksimalna opterećenja pri malim brzinama) najčešće dovodi do povećanja fiziološkog preseka mišića, ali ga istovremeno skraćuje. Tako mišić menja svoju arhitekturu, odnosno gubi na snazi, a dobija na sili što je naročito izraženo u brzim pokretima (Hather i sar., 1991; Salmons, 1994; Spector i sar., 1980). Uprkos brojnim istraživanjima i pokušajima da se utvrde najefikasniji modeli vežbanja, teško je izvesti konačan zaključak, a još manje (što se od prakse najčešće očekuje) dati neki recept za uvećanje sile i snage. Za sada se sa sigurnošću jedino može tvrditi da je trening najznačajniji faktor za transformaciju sile i snage.

5.6. APSOLUTNA I RELATIVNA SILA

Da se sila i snaga ne mogu potpuno odvojiti, govore i informacije o uticaju telesne mase na njih. Kako je već rečeno, pouzdano se zna da sila mišića najviše zavisi od površine fiziološkog preseka, a brzina skraćivanja od njegove dužine. Na osnovu toga logično je pretpostaviti da će osobe veće telesne mase, dakle sa dužim i širim mišićima, razvijati veću silu i snagu od osoba manje telesne mase čiji mišići imaju manje dimenzije. To se, međutim obistinilo samo u pogledu ispoljavanja sile, dok su testovima snage, kao i u većini svakodnevnih pokreta u kojima spoljašnje opterećenje predstavlja jedino masa sopstvenog tela (skok udalj, skok uvis, sprint i sl.), nije dobijena značajna povezanost sile i snage preko mase tela. Postoje, naime, sportovi u kojima ostvareni rezultat zavisi direktno od ispoljene sile, velikim delom nastale kao posledica i telesne mase. To je slučaj sa borilačkim sportovima ili dizanjem tegova u kojima su uvedene težinske kategorije. Osim toga, prilikom doziranja treninga usmerenog na razvoj sile (rad sa maksimalnim i submaksimalnim teretom), telesna masa sportista je veoma bitna za izbor adekvatnih opterećenja.

Uvažavajući značaj telesne mase, teoretičari su definisali dva vida sile: *apsolutnu* i *relativnu*. Dok se prva poistovećuje sa maksimalnom

izometrijskom silom, dotle se druga iskazuje u odnosu na jedinicu telesne mase (N/kg). Relativna sila se matematički određuje kao količnik maksimalne izometrijske sile (F_0) iskazane u njutnima i telesne mase (TM) merene u kilogramima (kg):

$$\text{Relativna sila} = \frac{F_0}{TM}$$

Kod ljudi približno jednakog nivoa treniranosti, ali različite telesne mase, apsolutna sila raste sa povećanjem mase, dok relativna opada. Smanjivanje relativne sile objašnjava se time što je masa sportiste srazmerna obimu tela i menja se sa kubom njegovih dužinskih mera. S druge strane, sila je srazmerna fiziološkom prečniku i menja se sa kvadratom dužinskih mera. Što su ljudi prirodno krupniji i voluminozniji, telesna masa će se brže povećavati u odnosu na mišićnu silu. Zbog toga je, prilikom izračunavanja relativne sile, preporučljivo apsolutnu silu deliti sa trećim korenom kvadrata telesne mase (odnosno, $TM^{2/3}$):

$$(\text{Relativna sila}) \mathbf{a} = \frac{F_0}{\sqrt[3]{TM^2}}$$

Relativna sila često se zamenjuje i sintagmom *index sile*. Analizom datih formula lako se zaključuje da je relativna sila za različite mišićne grupe i u različitim uglovima kontrakcije – različita. Ima pokreta u kojima indeks sile (\mathbf{a}) daleko prevazilazi jedinicu (kod vrhunskih dizača tegova ili bacača atletskih sprava u testu duboki čučanj dobijene su vrednosti između 2 i 3), dok kod nekih nikada ne prelazi jedinicu. Na osnovu prethodne formule izvođen je obrazac za izračunavanje maksimalne sile koju je sportista u stanju da ostvari:

$$F = a \cdot TM^{2/3}$$

Njenom primenom dobijeni su podaci iz Tabele 5-1 iz koje se, na primer, vidi da je rezultatu od 150 kg u dizanju tegova za sportistu telesne mase 75 kg, ekvivalentan rezultat od 170 kg koji je ostvario sportista

mase 90 kilograma. U treningu sportista kod kojih je apsolutna sila odlučujuće mioge-no svojstvo, važno je da se paralelno sa usavršavanjem neuromuskularnih parametara (najvažnijih za ispoljavanje sile i snage) istovremeno radi i na povećanju mišićne mase.

Težinske kategorije (sve vrednosti iskazane su u kilogramima)

52,5	56	60	67,5	75	82,5	90	110	120
42	44	46	50	54	57	61	69	73
47	49	51	55	59	63	67	76	81
51	53	55	60	64	69	73	83	88
55	57	60	65	70	74	79	90	95
60	62	65	70	75	80	85	96	103
63	66	69	75	80	86	91	103	110
68	71	76	80	86	91	97	111	117
72	75	79	85	91	97	103	118	125
76	79	83	90	97	103	109	125	132
80	84	88	95	102	109	115	132	139
85	88	92	100	107	114	121	139	147
93	97	102	110	118	126	133	152	161
102	106	111	120	129	137	145	166	176
110	115	120	130	139	149	157	180	191
118	124	129	140	150	160	170	194	205
127	132	139	150	161	171	182	208	220
135	141	148	160	172	183	194	222	235
144	150	157	170	182	194	206	235	249
152	159	166	180	193	206	218	249	264
161	168	176	190	204	218	236	263	279
169	177	185	200	215	229	242	277	293
178	186	194	210	225	240	254	291	308

Tabela 5-1 *Ekvivalentne težine tereta za sportiste različitih težinskih kategorija*

Povećanje relativne sile može na različite načine da bude u vezi sa promenom telesne mase. Tako se odgovarajućim režimom rada i ishrane, uz održavanje istog nivoa treniranosti, relativna sila može povećati na račun redukcije telesne mase. Ovaj način povećanja relativne sile nije uvek moguć. On je efikasan samo kod osoba koje imaju višak masnih naslaga, dok se kod sportista sa adekvatnim procentualnim odnosom

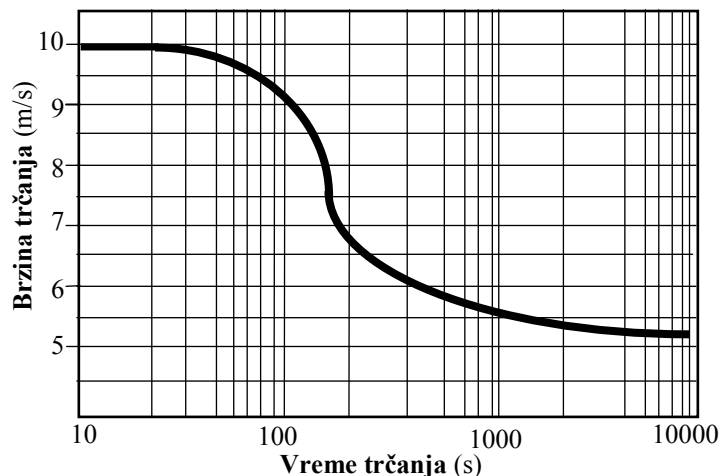
mišićnog i masnog tkiva (sa optimalnim MFR-indeksom)²⁸ ovaj metod ne preporučuje budući da svaki gubitak mase može da dovede do pada fizičke efikasnosti i do pogršanja subjektivnog stanja. Sportisti otuda ne smeju da se pribojavaju uvećanja mišićne mase, jer se pri funkcionalnoj hipertrofiji uvek više uveća sila nego masa tela.

²⁸ MFR indeks (*Muscle-Fat-Relation*) predstavlja količnik procentualnog udela mišićnog (*Muscle*) i masnog tkiva (*Fat*) – $MFR = \%M / \%F$. Kod prosečnog čoveka njegova vrednost se kreće oko trojke. Većina aktivnih sportista ima veće vrednosti MFR indeksa što je posledica povećanja količine mišićnog i smanjenja masnog tkiva. Kod fudbalera, košarkaša, rukometaša i odbojkaša vrednosti se kreću oko petice, dok kod vrhunskih bodi bildera rastu i do deset.

6 SPOSOBNOSTI SA ENERGOGENIM IZLAZOM

Tokom atletske trke na 100 metara uočavaju se tri karakteristične faze: (1) faza startnog ubrzanja, (2) maksimalne brzine i (3) završne brzine. Maksimalnu brzinu većina vrhunskih sprintera dostiže između 30-og i 40-og metra i u stanju je da je održi najduže do 90-og metra. Tokom poslednjih nekoliko metara brzina trčanja neznatno opada, tako da bez obzira na nivo fizičke pripremljenosti svi takmičari pokazuju izvesno usporenje, neprimetno običnom posmatraču, ali egzaktno registrovano preciznim ki-nematičkim merenjima. Ukoliko bi se sprint produžio, kao prilikom trke na 200 m, usporenje bi bilo sve izraženije (Slika 6-1) što ukazuje na činjenicu da u radu maksimalnog intenziteta efikasnost brzo počinje da opada. Takmičar iz faze maksimalne brzine postepeno ulazi u brzinsku izdržljivost koja mu omogućava da trku ipak završi velikom brzinom. Sa svakim produžavanjem distance, brzina trčanja postaje sve manja, intenzitet rada postepeno opada i sve više se približava tipičnim oksidativnim zonama opterećenja (najpre glikolitičkoj, a zatim lipolitičkoj). Što se rad više produžava, sve su manje izraženi brzinsko-snažni kvaliteti, a sve aktuelnija postaje sposobnost da se rad *izdrži* što duže. Time se stvara potreba za definisanjem specifične antropomotoričke dimenzije, u praksi označene kao *izdržljivost*. Ona počiva na različitim energetske procesima (aerobnim ili anaerobnim) i prisutna je u svim režimima mišićnog naprezanja, zbog čega se može govoriti o nekoliko tipova izdržljivosti. Budući da je svaka od njih zasnovana na nekom specifičnom tipu energetske izvora koji kroz biohemijske procese obezbeđuje *energiju* za mišićni rad, sve vrste izdržljivosti mogu se zajednički nazvati energogenim svojstvima ili fizičkim sposobnostima sa *energogenim izlazom*. U odnosu na vrstu energetske goriva i specifičnost biohemijske procesa u kojem se

razgrađuje, postoje najmanje dve osnovne vrste izdržljivosti – aerobna i anaerobna – sa još nekoliko posebnih podvrsta.



Slika 6-1 Odnos brzine i trajanja trčanja (modifikovano prema Zaciorskom, 1975)

6.1. VRSTE IZDRŽLJIVOSTI

Kao tipični primeri sportova izdržljivosti, obično se navode maraton, smučarsko trčanje, biciklizam i trijatlon. Analizom trke na 100 metara kao tipične brzinske discipline, međutim, takođe je uočen značaj jedne specifične izdržljivosti (brzinske). Čak i u borilačkim sportovima, u kojima više dominiraju sila i snaga, često se govori o važnosti da takmičari izdrže napore visokog intenziteta, tj. da budu spremni da se dovoljno dugo suprotstavljaju velikom spoljašnjem otporu (sili protivnika).

U odnosu na intenzitet rada koji je osnovna determinanta tipa ispoljene izdržljivosti, fiziolozi izdvajaju četiri specifične zone: (1) zonu maksimalnog, (2) submaksimalnog, (3) visokog i (4) zonu umerenog intenziteta (Tabela 6-1). Očigledno da izdržljivost nije jednoznačno određena, i da je prisutna u gotovo svim oblicima fizičkog naprezanja, od kratkotrajnih visokointenzivnih, čije trajanje ne prelazi 20 s, do onih koje se obavljaju srednjim intenzitetom i traju nekoliko sati. Osim toga, izdržljivost se susreće kako u dugotrajnom kontinuiranom radu poput maratonske trke, tako i u intermitentnom (nekontinuiranom, isprekidanom) radu kakav se susreće u fudbalu, košarci, rukometu,

odbojci, tenisu... Teniski ili odbojkaški mečevi nekad traju više od tri sata. Tokom odigravanja poena igrači izvode tipične brzinsko-snažne kretnje (sprint, skok, smeč...), ali sve skupa gledano neophodno je da izdrže odigravanje svakog poena bez većeg gubitka efikasnosti. Osim fizičkog, prisutan je i psihološki zamor koji često dovodi do pada koncentracije.

Intenzitet Pokazatelj	Maksimalni intenzitet	Submaksimalni	Visok intenzitet	Umereni intenzitet
Maksimalno trajanje rada	manje od 20 s	od 20 s do 5 min	od 5 do 30 min	više od 30 min
Utrošak energije (kcal/s)	4	4 - 0,5	0,5 - 0,4	0,3
Celokupni utrošak energije (kcal)	manje od 80	150	750	do 10.000
Utrošak kiseonika za vreme rada	neznat	blizu maksimalnog	maksimalan	manji od maksimalnog
Odnos utroška kiseonika i kiseoničke potrebe	manji od 1/10	1/3	5/6	1/1
Kiseonički dug (Litara)	manji od 8	18	1	1
Koncentracija mlečne kiseline u krvi (mg%)	manje od 100	do 200	50 - 100	u početku rada mala, a kasnije kao u mirovanju
Plućna ventilacija (L/min)	manja od 50	100 - 150	100 - 150	manja od 100
Minutni volumen krvi	manji od maksimalnog	blizu maksimalnog	maksimalan	manji od maksimalnog
Koncentracija šećera u krvi	normalna ili povećana	normalna ili povećana	normalna	smanjena

Tabela 6-1 Fiziološki pokazatelji izdržljivosti u radu različitog intenziteta

Svi navedeni primeri ukazuju na veliku kompleksnost izdržljivosti i samo otežavaju njeno definisanje. Ona se u literaturi određuje kao sposobnost da se neki rad obavlja duže bez opadanja efikasnosti.

Najčešće merilo izdržljivosti je vreme tokom kojeg je čovek u stanju da održi zadati intenzitet aktivnosti. Za merenje izdržljivosti koriste se *direktni* i *indirektni* način. Kod direktnog, od ispitanika se traži da određeni rad obavlja što duže, sve do početka smanjivanja efikasnosti (smanjenje brzine, preciznosti, tempa) ili pak do otkaza. Direktnan način merenja nije uvek pogodan, pa se u praksi više primenjuje indirektni koji kao merilo izdržljivosti najčešće uzima vreme za koje se obavi rad unapred utvrđenog obima (na primer, vreme za koje se pretrči određena distanca).

Dobijeni podaci o izdržljivosti utvrđeni u jednoj vrsti aktivnosti ne mogu se koristiti u drugim ne srodnim aktivnostima. Razlog za to je što se svaki fizički rad odvija u vrlo specifičnim uslovima (nekad aerobnim, a nekad anaerobnim) i što se bazira na različitim energetskim mehanizmima (fosfagenskim, glikolitičkim, oksidativnim). Shodno tome, moguće je definisati raznovrsne varijante izdržljivosti kombinovanjem aktivnosti različitog intenziteta i trajanja: na primer, izdržljivost u kratkotrajnom radu visokog intenziteta, zatim izdržljivost u dugotrajnom radu visokog, srednjeg ili malog intenziteta i td. U svakoj sportskoj disciplini, dakle, susreće se specifičan vid izdržljivosti. U nekim udžbenicima starijeg datuma (Koc, 1982; Platonov, 1984; Zaciorski, 1975) može se pronaći i podela izdržljivosti na opštu (ili kardiovaskularnu) i specifičnu (lokalnu, mišićnu).

6.1.1. ANAEROBNA IZDRŽLJIVOST

Ova vrsta izdržljivosti susreće se kod aktivnosti maksimalnog i submaksimalnog intenziteta koje se odvijaju u uslovima kiseoničkog deficita, odnosno počivaju na anaerobnim izvorima energije (Tabela 6-1). Obično je reč o pokretima koji se izvode velikom brzinom. Tipični primeri su trke na 100 i 200 metara, zatim borilački sportovi, atletske skokovi (skok uvis i udalj, skok motkom), atletska bacanja (kugla, disk, koplje, kladivo), plivanje na distancama do 50 m, dizanje tegova i td. Često se i neke sportske igre (fudbal, košarka, rukomet...) svrstavaju u grupu anaerobnih sportova. Razlog za to je što se gotovo sve ključne akcije odbrane i napada realizuju velikom brzinom i uz ispoljavanje eksplozivne snage. U brojnim periodima igre, međutim, značajniju ulogu imaju aerobne sposobnosti (time i aerobna izdržljivost), pa je otuda ove sportove pravilnije nazivati anaerobno-aerobnim. Uostalom, velika većina

sportova počiva na oba metabolička sistema, pa je pogrešno označavati ih kao čisto aerobne ili anaerobne.

Sposobnost da se dugo izdrži aktivnost maksimalnog i submaksimalnog intenziteta obično se posmatra sa dva ključna aspekta. Najpre se govori o kapacitetu energetskih supstrata kojima raspolažu aktivni mišići, a zatim o enzimskom sistemu na kojem počiva upotreba ovih supstrata tokom mišićnog naprezanja. Dužina anaerobnog rada, kako je i ranije rečeno, nije uvek limitirana količinom glikogena deponovanog u aktivnim mišićima, već mnogo češće visokom koncentracijom mlačne kiseline i njenih soli (laktata) čime se značajno usporava, nekada i potpuno zaustavlja, anaerobna glikoliza. Otuda se trening za povećanje anaerobne izdržljivosti ne bazira samo na povećanju količine fosfagena i glikogena u mišićima, kao i enzima odgovornih za njihovu razgradnju, već i od mehanizama za brzu oksidaciju i eliminaciju laktata.

Analizira li se Tabela 6-1 u kojoj su dati biohemijski pokazatelji izdržljivosti u aktivnostima različitog intenziteta, vidi se da anaerobnu izdržljivost opisuju podaci druge i treće kolone (zone maksimalnog i submaksimalnog intenziteta). Podaci dati u njima pokazuju da su vrednosti kardiovaskularnih i respiratornih parametara daleko manje od istih koje važe za aerobni tip izdržljivosti. Nasuprot tome, vrednosti energetskih pokazatelja, kao i onih koji govore o koncentraciji laktata, ubedljivo su veći kod anaerobnog tipa izdržljivosti. Sve to ukazuje na činjenicu da aktivnosti zasićene anaerobnim metaboličkim procesima ne zavise mnogo od kardiorespiratornih parametara, već da su determinisane prevashodno energetskim činiocima, pre svega energetskom moći mišića (količinom energije stvorene u jedinici vremena).

Anaerobna energetska produkcija dosta zavisi i od puferskih sistema koji regulišu acido-baznu ravnotežu u mišićima. Nagomilavanje laktata, naime, snižava pH-vrednost²⁹, tj. vodi ka acidozi. Povećana kiselost u sarkoplazmi usporava glikolitičke procese i u ekstremno

²⁹ Švedski fiziolog Sorensen modifikovao je jonski proizvod vode koji opisuje odnos vodonikovih i hidroksilnij jona u jednom litru vode. Logaritmujući broj vodonikovih jona (10^{-7}) odredio je pH -vrednost neutralne hemijske sredine (pH = 7). Svako povećanje koncentracije vodonikovih jona smanjuje pH -vrednost neutralne sredine i vodi ka acidozi („zakišeljavanju“), a njegovo smanjenje povećava pH -vrednost i vodi ka alkalozii (baznosti). Ljudska krv i sarkoplazma su slabo bazne (pH=7,2). Treningom za izdržljivost povećava se tolerancija ka acidozi. Tako je kod vrhunskih trkača na srednje staze izmerena pH-vrednost od čak 6,8.

teškom radu dovodi do prekida aktivnosti mnogo pre nego što se iscrpi sav glikogen u aktivnim mišićima.

Interesantno je analizirati koncentraciju šećera u krvi nakon rada maksimalnog i submaksimalnog intenziteta (poslednji red Tabele 6-1). Uočava se naime da se te vrednosti gotovo ne razlikuju od onih izmerenih u mirovanju. Iako bi logično bilo očekivati povećanje koncentracije glavnog energetskog goriva za težak mišićni rad, glikogena, to se ne dešava. Razlog za to je što aktivni mišići u radu visokog intenziteta prvenstveno koriste sopstveni glikogen deponovan u stubićima mišićnog vlakna. Glukoza iz krvi postaje raspoloživa tek nakon pada intenziteta ispod 70% od maksimuma (najčešće u zoni 60% maksimalnog intenziteta rada). Osim toga, u prvim sekundama tipičnih anaerobnih aktivnosti energija se dobija uglavnom iz fosfagena, tako da razgradnja glikogena, praćena stvaranjem laktata, obično započinje tek tri do četiri sekunde nakon početka rada.

6.1.2. AEROBNA IZDRŽLJIVOST

Aktivnosti u kojima je kiseonička potreba jednaka potrošnji kiseonika (odnosno, sva energija neophodna za mišićni rad obezbeđena iz oksidativnih metaboličkih procesa) označene su kao aerobne. Izjednačavanje kiseoničke potrebe i kiseoničke potrošnje, odnosno dostizanje *stabilnog stanja*,³⁰ moguća je samo u radu umerenog i niskog intenziteta koji dugo traje. Kod dobro treniranih osoba, međutim, i rad visokog intenziteta može da se poveže sa aerobnom izdržljivošću. Tipične aerobne aktivnosti susreću se u trčanju na pet i deset hiljada metara, maratonu, smučarskom trčanju i sl. Istina u pojedinim fazama ovih sportskih disciplina značajnu ulogu mogu imati i anaerobne sposobnosti, ali u daleko manjem obimu.

³⁰ Stabilno stanje (engl. *steady state*, SS) je pojam za metaboličko stanje pri kojem su potrebe za kiseonikom zadovoljene njegovim unosom. U ovom stanju rad bi mogao da se produži u nedogled, sve dok se ne bi istrošile rezerve glikogena, nastupila dehidracija, bolovi u aktivnim mišićima i td. Stabilno stanje se ne dostiže odmah na početku rada, već nakon adaptacije kardiovaskularnog i respiratornog sistema, kao i samih mišića. Istraživanja su pokazala da se gornja granica stabilnog stanja u čisto aerobnim uslovima kreće oko 70% od maksimalnog utroška kiseonika, a kod vrhunskih sportista i znatno više.

Posmatrano sa biohemijskog aspekta, osnovni energetske procesi na kojima počiva aerobna izdržljivost sportista su glikoliza (naravno aerobna) i lipoliza (razgradnja masti). Glikoliza dominira u radu visokog intenziteta koji može da potraje od 5 do 30 min kada se dostiže najveća energetska produkcija. Rad u ovakvim uslovima ograničen je prvenstveno količinom glikogena deponovanog u aktivnim mišićima. Koncentracija laktata obično nije ograničavajući faktor, budući da ne prelazi 100 miligrama po kilogramu mišićne mase (njene najčešće izmerene vrednosti kreću se između 50 i 100 mg/kg). Zbog toga rad visokog intenziteta, zasnovan na aerobnoj glikolizi, retko kad biva prekinut zbog iscrpljenosti aktivnih mišića ili zbog značajnijeg narušavanja acidobazne ravnoteže, pod uslovom da se ne izvodi do otkaza. Glikolitički tip aerobne izdržljivosti, dakle, pre svega zavisi od količine raspoloživog goriva.

Kada intenzitet rada padne ispod 50% od maksimuma, a kod dobro treniranih sportista već i pri intenzitetu od 60%, sve značajniji energetske doprinos imaju masti. Adaptaciju na dugotrajan rad redovno prati povećanje sposobnosti mišića da energiju što ranije počnu da dobijaju lipolizom. To omogućava da se rad produži na nekoliko sati i da se ostvari velika energetska potrošnja koja često prevazilazi deset hiljada kalorija. Istina energetska moć ovih metaboličkih sistema je mala, tako da u radu umerenog intenziteta iznosi svega 0,3 cal/s, što je oko 13 puta manje u odnosu na energetska moć anaerobnih mehanizama u radu maksimalnog intenziteta. Kako se u radu umerenog intenziteta, dominantno zasnovanog na lipolizi, stvara zanemarljivo mala količina laktata i to samo na njegovom početku, jasno je da je i njegovo trajanje ograničeno količinom raspoloživih energetskih rezervi u vidu triglicerida. Za razliku od rada visokog intenziteta u kojem se troši isključivo mišićni glikogen, tokom rada umerenog intenziteta mišićima je na raspolaganju i glikoza iz krvi i jetre. Što se tiče masnih kiselina kao osnovnog supstrata lipolize, u proces razgradnje se najpre uključuju one poreklom iz krvi, a tek zatim i masne kiseline odvojene od triglicerida deponovanih u vidu masnih (adipoznih) naslaga.

Uz dovoljne količine adekvatnog energetskog goriva, neophodno je da mitohondrije mišićnih vlakana poseduju i dovoljne količine aktivnih oksidativnih enzima, pre svega dehidrogenaze, oksidaze i enzime Krebsovog ciklusa. Otuda je u skeletnim mišićima osoba podvrgnutih treningu usmerenom na povećanje aerobne izdržljivosti, osim porasta

koncentracije glikogena, prisutno i povećanje broja i dimenzija mitohondrija kao posledica uvećanja enzimske mase. Osim biohemijskih, veoma značajni za aerobnu izdržljivost su i kardiovaskularni faktori, pre svega udarni (sistolni) i minutni volumen, kapacitet krvi za transport kiseonika, gustina kapilarne mreže u aktivnim mišićima, koncentracija mioglobina i kapacitet mišića za difuziju kiseonika.

6.2. TRANSFER OPŠTE IZDRŽLJIVOSTI

U prethodnom odeljku naznačeno je da se kiseonička potrošnja potpuno izjednačava sa kiseoničkom potrebom samo u radu umerenog i niskog intenziteta. Kako se u brojnim sportovima osnovne takmičarske aktivnosti obavljaju maksimalnim ili submaksimalnim intenzitetom, logično je pretpostaviti da aerobna izdržljivost kod većine nije od značaja (izuzimajući, naravno, maraton, smučarsko trčanje ili biciklizam). Takav zaključak je međutim, potpuno pogrešan budući da aerobna izdržljivost i kod njih igra značajnu ulogu, pre svega u trenažnim procesu.

Aerobna izdržljivost se obično označava kao opšta izdržljivost, s obzirom da pokazuje opšte radne sposobnosti čoveka. Njen nivo najbolje reprezentuje maksimalna potrošnja kiseonika. Gotovo da nema sporta u kojem aerobna izdržljivost, a implicate i maksimalni utrošak kiseonika, ne pokazuju veliku važnost. Tokom jednog fudbalskog meča, na primer, igrači pretrče između šest i osam kilometara (po novijim merenjima čak između 10 i 12 km). Prosečan tempo trčanja, dakle, kreće se na nivou od približno 100 m u minuti, što pripada zoni niskog intenziteta i ukazuje na dominaciju aerobnih izvora u energetske produkciji. Naravno, fudbaleri tokom utakmice načine veliki broj sprinteva, skokova, driblinga, šuteva, pasova, klizećih startova i drugih kretnji koje pripadaju zoni submaksimalnog i maksimalnog intenziteta. Očigledno je, dakle, da se u fudbalu, kao i većini sličnih sportova, neprekidno smenjuju aktivnosti svih tipova intenziteta. U takvom radu aerobne sposobnosti su od izuzetnog značaja.

Aerobne sposobnosti omogućavaju da se kompletna aktivnost, koja traje oko dva sata (trening ili utakmica), bez većih posledica dovede do kraja. Tokom perioda odmora velika koncentracija oksidativnih enzima ubrzava eliminisanje laktata i drugih produkata mišićnog

metabolizma. U savremenom treningu veoma se često koristi intervalni (intermitentni) trening. On se sastoji od niza naizmeničnih intervala rada i odmora. Obavljeni rad je submaksimalnog intenziteta i zasnovan je na anaerbnim energetskim mehanizmima koji stvaraju značajnu količinu laktata. U intervalima odmora, koji su nekoliko puta duži od intervala rada, dominiraju aerobni mehanizmi utičući direktno na brzinu oporavka i mogućnost da se naredni interval rada realizuje planiranim intenzitetom. Na račun dobre opšte izdržljivosti sportista je u stanju da izvede dovoljan broj intervala rada. Zbog svega navedenog, može se zaključiti da aerobna izdržljivost predstavlja osnovu za realizaciju anaerobnog treninga.

Mogućnost transfera opšte izdržljivosti najviše se iskazuje kroz visoku korespondentnost aerobnih sposobnosti ispoljenih u različitim vidovima aktivnosti. Drugim rečima, ukoliko je sportista aerobne sposobnosti povećao trčanjem, to poboljšanje će se ispoljiti i u ostalim dugotrajnim kretanjama (hodanju, veslanju, pa čak i plivanju). Funkcionalne mogućnosti vegetativnog nervnog sistema dakle, postaju veće i u svim drugim aktivnostima. Taj nespecifični karakter vegetativne treniranosti stvara povoljne uslove za obiman prenos aerobne izdržljivosti u sve aktivnosti srodne zone opterećenja. U aktivnostima maksimalnog i submaksimalnog intenziteta ovakav transfer se ne dešava. Razlog za to je što su brzinsko-snažne aktivnosti, osim energogenim, dosta zasićene miogenim i neurogenim faktorima, pa zbog toga ispoljavaju daleko veću specifičnost. Što je intenzite rada cikličnih aktivnosti niži, rezultati će sve manje zavisiti od stepena usavršenosti naučenih pokreta, a sve više od aerobnih sposobnosti sportiste. Kada se rad obavlja veoma malim intenzitetom, značaj aerobne izdržljivosti postaje toliko velik, da ima krajnje opšti karakter. Transfer opšte izdržljivosti se u sportskoj praksi koristi radi poboljšanja kardiovaskularnih i respiratornih sposobnosti, te za povećanje maksimalne potrošnje kiseonika.

6.3. ZAMOR I NJEGOV UTICAJ NA IZDRŽLJIVOST

Kada sportista dugo obavlja neki rad, nakon izvesnog vremena počinje da oseća kako mu aktivnost postaje sve teža. Tada se javljaju neki objektivni pokazatelje ovog stanja, počev od lako vidljivih kao što su

grčenje mimične muskulature i znojenje, pa do ozbiljnih fizioloških signala poput bola i grčeva u mišićima ili pad efikasnosti rada. Stanje u kojem dolazi do privremenog pada radne sposobnosti naziva se *zamor*. Bez obzira na subjektivne teškoće koje su sve izraženije, sportista može velikim voljnim naprežanjem još izvesno vreme da održi pređašnji intenzitet rada. Takvo stanje u kojem, uprkos prvim subjektivnim signalima zamora, efikasnost rada još uvek značajno ne opada naziva se *kompensovani zamor*. U njemu sportista snagom svoje volje kompenzuje objektivno slabljenje funkcionalnih sposobnosti lokomotornog aparat i pojedinih organskih sistema. Ukoliko se rad, uprkos nastalim tegobama i dalje nastavi, njegov intenzitet će neminovno opasti i pored maksimalnog naprežanja volje. Tada se objektivni fiziološki pokazatelji više ne mogu potisnuti, pa se takvo stanje naziva *dekompensovani zamor*.

Zamor se, dakle, manifestuje kao nemogućnost da se aktivnost nastavi započetom efikasnošću. Kada nekoliko sportista istovremeno izvodi isti rad, zamor će kod njih nastupiti u različito vreme, što praktično znači da oni poseduju različit stepen izdržljivosti. Otuda se izdržljivost često definiše i kao sposobnost suprotstavljanja zamoru.

Polazeći od fizioloških mehanizama kojima se objašnjava pad radne efikasnosti, moguće je izdvojiti nekoliko vrsta zamora. Tako se govori o mentalnom, senzornom, emocionalnom, fizičkom ili nekom drugom zamoru. Gledano sa aspekta organskog sistema u okviru kojeg se zamor najpre ispoljava, izdvajaju se dva osnovna tipa: prvi koji obuhvata nervni sistem i drugi koji se odnosi na skeletne mišiće. Istina, mišićni zamor dosta je uslovljen upravo promenama u nervnom sistemu. Mehanizam nastanka mišićnog zamora, naime, još uvek nije dovoljno rasvetljen. Za sada se sa sigurnošću može tvrditi jedino da su specifične manifestacije zamora determinisane, pre svega, oblikom fizičke aktivnosti, tj. njegovim intenzitetom i trajanjem, pri čemu bi uzroke zamora najpre trebalo tražiti u promenama funkcionalnih svojstava nervnog sistema, neuromišićne sinapse, kao i samog mišića.

Da su promene u procesu sinaptičkog prenosa impulsa moguće, govore podaci o zamoru refleksnog luka (na primer, povećan prag draži za patelarni refleks). Postoje jasni dokazi da, kako periferne, tako i centralne sinapse mogu da budu slaba karika u lancu fizičkih aktivnosti i dovedu do zamora (Lekić, 1997). Pored toga, postoje dokazi da nagomilavanje nekih materija u sinaptičkoj pukotini (adenozina, zatim jona kalijuma, vodonika, magnezijuma itd.) deluju inhibitorno na

oslobađanje acetilholina iz presinaptičkog dugmeta i na taj način u mišićnom vlaknu usporavaju pojavu akcionog nervnog potencijala. Pri iscrpljujućem radu, povećava se i propustljivost (permeabilnost) sarkoleme, na šta ukazuje povećanje koncentracije ćelijskih enzima (pre svega transaminaze i dehidrogenaze) u krvi sportista (Lekić, 1997). Tek nakon ovih neurogenih promena nastupa pad kontraktilnih sposobnosti samog mišićnog vlakna.

Svi navedeni faktori mišićnog zamora nejednako učestvuju u aktivnostima različitog tipa opterećenja. Ali, pored obima i intenziteta rada, nivo treniranosti takođe dosta utiče na to koji će od njih biti najslabija karika u ispoljavanju izdržljivosti. Tako će u dugotrajnom aerobnom radu visokog intenziteta, pojava zamora kod slabo trenirane osobe zavisiti prevashodno od količine raspoloživog glikogena u mišićima, dok će se kod dobro treniranog sportiste, uvežbanog da više troši masti kao energetske gorivo, zamor pre javiti kao posledica dehidracije, hipertermije ili bolova u ligamentarno-zglobnom sistemu aparata za kretanje, nego li iscrpljivanja energetske rezervi. Dobro treniran sportista u stanju je da rad značajno produži u uslovima *superkompensovanog* zamora, dok slabo treniran sportista odmah zapada u dekompenzovani zamor, bez šanse za produženje rada, s ozirom na potpunu iscrpljenost osnovnih izvora energije. Kod kratkotrajnog maksimalnog i submaksimalnog naprezanja, dominira anaerobna glikoliza, tako da zamor nastaje kao posledica nagomilavanja mlečne kiseline koja usporava pražnjenje motornih neurona i jona kalcijuma iz sarkoplazmatičnog retikuluma. Sve to utiče na slabljenje kontraktilnih sposobnosti mišićnog vlakna i dovodi do pada efikasnosti. Pojava zamora u anaerobnom radu više je uslovljena mehanizmima za očuvanje acido-bazne ravnoteže, nego li količinom energetske supstrate.

Povezanost zamora nervnog i mišićnog sistema je veoma velika. Relacije koje između njih vladaju su veoma složene i još uvek nedovoljno objašnjene. Zna se da je zamor motornih centara mozga vezan za pojavu mišićnog zamora. Dokazano je i da iscrpljujući fizički rad može da dovede do poremećaja intelektualnih sposobnosti, i obrnuto. S druge pak strane, umerena fizička aktivnost daje pozitivne efekte na procese učenja i pamćenja. Interesantno je da subjektivni osećaj zamora nema uvek jasnu fiziološku podlogu. Otuda se najbolji sportski rezultati mogu ostvarivati i pri subjektivnom osećaju zamora, kao što ni osećaj odmorenosti ne garantuje dobar takmičarski učinak.

Mada su u svakoj aktivnosti zastupljeni mentalni, senzorni i emocionalni, u sportu je ipak najviše prisutan fizički (mišićni) zamor. Treningom za izdržljivost na njega prvenstveno i može uticati. Kao što je u prethodnim odeljcima objašnjeno, moguće je govoriti o izvesnoj opštoj i većem broju specifičnih tipova izdržljivosti. Govoreći sa aspekta mišićnog zamora koji se javlja u svim fizičkim aktivnostima, neki autori (Platonov, 1984; Sherre i sar., 1960; Zaciorski, 1975) izdvajaju samo tri tipa zмора: (1) *lokalni* koji se javlja kada je angažovano manje od 1/3 svih mišića tela; (2) *regionalni* koji se vezuje za aktivnost jedne do dve trećine svih mišića i (3) *opšti* (globalni) zamor, prisutan kada je aktivno više od 2/3 skeletne muskulature. U radovima pomenutih autora, nađena je relativna nezavisnost opisanih tipova mišićnog zamora. U njima se opšti zamor prvenstveno vezuje za opštu (kardiovaskularnu) izdržljivost i poistovećuje sa aerobnim sposobnostima čoveka. Nedostatak ove podela zamora (na lokalni, regionalni i globalni) je što zanemaruje osnovne determinante izdržljivosti, a time i zamora – tip, obim i intenzitet fizičke aktivnosti. Jedan trzaj sa tegom maksimalne težine, na primer, sigurno angažuje više od 2/3 muskulature, a da pri tome upšte ne zavisi od kardiovaskularnih, a još manje respiratornih parametara organizma. Otuda je opravdanije vrstu mišićnog zamora definisati analogno tipu izdržljivosti, polazeći od karaktera metaboličkih procesa koji dominiraju u analiziranoj fizičkoj aktivnosti.

7 SPOSOBNOSTI SA NEUROOGENIM IZLAZOM

Nervni sistem predstavlja fiziološku osnovu kompletnog psihofizičkog života. On upravlja i koordinira svim funkcijama lokomotornog aparata. Prema tome, ne postoji funkcija čoveka koja se može analizirati odvojeno od nervnog sistema, tako da se, u krajnjoj instanci, svakom antropomotoričkom svojstvu može dodeliti atribut sposobnost sa neurogenim izlazom. Postoje, međutim, motorička svojstva koja su dominantno determinisana elementima nervnog sistema i u čijoj se analizi miogeni i energogeni aspekti, u dobroj meri, mogu apstrahovati. Kao takva fizička svojstva mogu se opisati koordinacija, spretnost, okretnost, preciznost ravnoteža... Sve pomenute sposobnosti suštinski počivaju na sličnim funkcionalnim mehanizmima, pa su zato u ovom materijalu opisane kao manifestacije istog neurogenog svojstva najšire određenog kao koordinacija, uprkos separatom pristupu njihovoj analizi u pojedinim bibliografskim izvorima.

Neke manifestacije brzine, poput brzine proste i složene motorne reakcije, takođe se mogu posmatrati kao dominantno neurogena svojstva. Brzina je, međutim, dosta zasićena miogenim sposobnostima (pre svega snagom), kao i nekim tipovima anaerobne izdržljivosti. Zbog ove multidimenzionalnosti, brzinu je teško označiti kao tipično miogeno, energogeno ili neurogeno svojstvo, pa joj je u ovoj knjizi posvećeno posebno (osmo) poglavlje.

Problem sličan ovom sa brzinom, javlja se i prilikom objašnjavanja gipkosti (pokretljivosti, fleksibilnosti), s obzirom na njenu veliku zavisnost od aktivnosti proprioceptivnog aparata (pre svega mišićnih vretena i Goldžijevih tetivnih organa). Ovo svojstvo, presudno u

nekim sportovima, dosta je uslovljeno anatomskom strukturom aparata za kretanje (oblikom zglobnih površina i elastičnošću ligamenata). Budući da su anatomska svojstva genetski određena i da se ne menjaju pod uticajem treninga (osim ako se ne radi o habanju tkiva i povredama), trenažni stimuli značajni za povećanje pokretljivosti su prevashodno usmereni na mišiće. Kako je mišićno tkivo viskozne prirode i najčešće nije prepreka za pokrete velikih amplituda u zglobovima, reagovanje muskulature na istezanje se suštinski svodi na funkcije proprioceptivnih elemenata (vretena i GTO). Prema tome, kao neurogena svojstva na ovom mestu su analizirane samo koordinacija (kao tipična) i pokretljivost (gipkost) čija se neurogena priroda sagledava jedino sa aspekta funkcionisanja mišića u ekstenziranom (istegnutim) položajima. Od značaja za njihovo ispoljavanje su različiti delovi nervnog sistema – kako centralnog tako i perifernog; kako viši tako i niži (subkortikalni) nervni centri; te elementi proprioceptivnog i kinestetskog aparata.

7.1. DEFINICIJA I VRSTE KOORDINACIJE

Lokomotorne radnje sportista u realnim takmičarskim uslovima uvek su vezane za rešavanje konkretnog zadatka. U fudbalu, na primer, nije uvek dovoljno kretati se maksimalnom brzinom i nije uvek potrebno loptu maksimalno jako šutnuti. Upotrebljiv pas mora biti, pre svega, precizan i upućen optimalnom jačinom i putanjom. Maksimalno visok skok košarkaša u odbrani ne garantuje uvek osvajanje lopte; mnogo je važnije da on bude načinjen pravovremeno i da se igrač prethodno izbori za povoljnu poziciju koja će mu obezbediti prednost u odnosu na protivnika. Povećanje osnovne brzine i snage aktuelne muskulature trkača preko prepona ne znače uvek i poboljšanje rezultata; veoma je značajno da se prostorni, vremenski i mehanički parametri tokom trke dobro usklade i da se kompletna kretnja (start, napadanje prepone, prelazak i doskok) izvede vrlo precizno. Česti su primeri da su dizači tegova rezultat popravili isključivo poboljšanjem tehnike dizanja. Svi navedeni primeri navode na potrebu da se u teoriji sporta govori o posebnom antropomotoričkom svojstvu koje usklađuje (koordinira) sve fizičke potencijale i organizuje

ih u precizne, optimalnom brzinom i snagom izvedene motorne celine. Takva sposobnost označena je kao *koordinacija*.

Koordinacija je od nekih trenera i teoretičara vrlo usko shvaćena i svedena na nivo sportske tehnike (uvežbanog dinamičkog stereotipa). Ona, međutim, znači mnogo više od toga. Postoje osobe koje su upornim vežbanjem do savršenstva dovele baratanje loptom (na primer, razni žongleri u cirkusima ili na pauzi sportskih takmičenja), ali to svoje umeće nikada nisu uspeli da iskoriste u realnim uslovima sportske borbe. Otuda koordinacija, osim klasičnog povezivanja pojedinačnih pokreta u složene motorne celine, podrazumeva i niz drugih parametara – vremenskih, prostornih i mehaničkih – usklađenih na nivou neuromuskularne sinergije motornih jedinica.

Koordinacijski nivo motornog zadatka zavisi od niza faktora, ali se u prvi plan obično izdvajaju: (1) tačnost u odnosu na složenost zadatka, (2) tačnost u odnosu na prostor, (3) tačnost u odnosu na vreme i (4) tačnost u odnosu na doziranje ispoljene sile (i snage). Prilikom procene koordinacije, u obzir se moraju uzeti svi navedeni faktori, jer nije svejedno da li se procena vrši nekim jednostavnim ili vrlo složenim kretanjem, da li je za određeno vreme potrebno ispoljiti veću ili manju silu i sl. Sve to upućuje na zaključak da nivo koordinacije dosta zavisi od ostalih antropomotoričkih, kao i niza psiholoških karakteristika. Istraživanja su ovu povezanost mnogo puta potvrdila ukazavši i na njenu dvosmernu prirodu: koliko ostale fizičke performanse utiču na koordinaciju, toliko je i ona značajna za njihovu realizaciju u realnim uslovima.

Koordinacija je dosta proučavana u empirijskim radovima. Načinjeno je nekoliko pokušaja da se izvrši njena klasifikacija. Jedna od njih pomenuta je u odeljku koji se bavio latentnom motoričkom strukturom čoveka. Bila je to klasifikacija Gredelj i saradnici (1975) koji su definisali čak devet primarnih faktora koordinacije koji su hipotetski podređeni generalnom faktoru koordinacije odgovornom za struktuiranje kretanja. Primarni faktori koordinacije su sledeći:

- *Koordinacija ruku*, koja se može definisati kao sposobnost za manipulisanje objektima rukama. Značajnu ulogu ima u sportovima gde se u cilju sportske uspešnosti višekratno izvode različite kombinacije složenih kretnih struktura s osnovnim rekvizitima.

- *Koordinacija nogu*, koja se može definisati kao sposobnost izvođenja kompleksnih pokreta nogama. Ova sposobnost snažno se manifestuje u takmičarskim aktivnostima gde se sportskim rekvizitima manipuliše nogama, kao što je to u fudbalu.
- *Koordinacija tela*, koja se može definisati kao sposobnost realizacije kompleksnih motoričkih struktura premeštanjem celog tela u prostoru. Ova sposobnost posebno dolazi do izražaja u sportovima kod kojih se težište tela, pri izvođenju zahtevnih tehničkih elemenata, kreće po složenim trajektorijama. Ova se sposobnost intenzivno aktivira u svim sportovima koji obiluju tzv. “akrobatskim elementima”, kao što su na primer, sportska gimnastika, skokovi u vodu i čitav niz drugih takmičarskih disciplina.
- *Brzina izvođenja kompleksnih motoričkih zadataka*, se može definisati kao sposobnost realizacije jedne složene zatvorene motoričke strukture. Ova dimenzija u značajnoj meri određuje napredovanje u sportovima, gde se takmičarska aktivnost sastoji od jedne ili više povezanih i složenih struktura kretanja, pri čemu sportski rezultat dominantno zavisi od postizanja optimalne, ali vrlo visoke brzine izvođenja celovitog kretanja. Kao primer mogu nam poslužiti gotovo sve bacačke, skakačke i sprinterske atletske discipline.
- *Reorganizacija stereotipa kretanja*, se može definisati kao sposobnost savladavanja inertnog delovanja postojećih dinamičkih stereotipa. Ova sposobnost ima odlučujuću ulogu u svim slučajevima u kojima je nužno menjati već usvojenu tehniku kretanja. Gotovo nema sporta u kome se takve potrebe ne pojavljuju, a najcesci su razlozi ispravljanje prethodno krivo naučenih tehnika kretanja, prelazak na racionalniji oblik kretanja ili usklađivanje strukture kretanja sa trajnim ograničenjima koja su proizvedena nekom sportskom povredom.
- *Agilnost*, se najkraće može definisati kao sposobnost brze promjene pravca kretanja. Ovaj kratki opis podrazumeva da je faza prije promene pravca kretanja bez obzira na vrstu i brzinu prethodnog kretanja, izvedena na najbolji način za izvođenje željene promene pravca i da se nakon izvedene promene može izvesti najveće ubrzanje u novom smeru kretanja. Ova je sposobnost izrazito vidljiva u gotovo svim sportskim igrama i većini borilačkih sportova.
- *Koordinacija u ritmu*, se obično definiše kao sposobnost izvođenja unapred definisanih kretnih struktura u zadatom ili proizvoljnom

ritmu. Značaj ove sposobnostim ogleda se u sportovima gde se motorička aktivnost usklađuje s muzičkim obrascima kao što je to, na primer, u ritmičkoj gimnastici, umetničkom klizanju ili sportskom aerobiku.

- *Brzina učenja novih motoričkih zadataka*, se može opisati kao sposobnost brzog učenja velikog broja novih kretnih struktura. Ova je sposobnost izrazito prisutna u fazi upoznavanja i učenja osnova sportske tehnike bilo kojeg sporta, a odlučujuću ulogu ima u sportskim disciplinama koje obiluju različitim tehničkim elementima.
- *Tajming* bi se mogao definisati kao sposobnost određivanja pravovremenog trenutka za početak izvođenja nekog kretanja. Značaj ove sposobnosti je primetno u procesima učenja i usavršavanja svih elemenata sportske tehnike, Osim toga, ova se sposobnost često manifestuje i u onim situacijama, gde pravovremena i optimalno izabrana motorička reakcija značajno doprinosi ostvarenju prednosti u realizaciji napadačke ili obrambene takmičarske aktivnosti, što se primećuje u mnogim sportskim igrama i borilackim sportovima.

S druge strane, ruski autori (prema Zaciorskom, 1975) najčešće govore o tri osnovna aspekta koordinacije (nazivajući je još i *okretnost*):

- *Sposobnost preciznog izvođenja brzih pokreta*,
- *Sposobnost brzog učenje pokreta*
- *Sposobnost motornog transfera u srodnim i nesrodnim pokretima*

Jako interesantnu podelu koordinacije predstavio je Drabik(1996). On je koordinaciju podelio u sedam podprostora i označio ih kao:

- *Prostorna orijentacija* je sposobnost određivanja vlastitog i protivnikovog položaja u prostoru što osigurava prepoznavanje situacije i reagovanje u igri, dominiraju vizuelne informacije u trenutku donošenja odluke o kretanju.
- *Kinestetička diferencijacija* je sposobnost izvršenja određenog toka kretanja na osnovu informacija dobijenih od receptora u mišićima, tetivama i zglobovima.
- *Reakcija na signale* predstavlja što bržu i što tačniju reakciju na osnovu vanjskih nadražaja, signali mogu biti vizuelni, auditivni i taktilni.

- *Ravnoteža* je sposobnost postizanja ravnotežnog položaja u mirovanju ili kretanju, odnosno može biti statička ili dinamička.
- *Ritam* je sposobnost prepoznavanja ili prilagođavanja vlastitog kretanja određenom ritmu.
- *Sinhronizacija pokreta u vremenu* je sposobnost da se međusobno nepovezani pokreti ekstremiteta ukomponuju u sinhronizovanu celinu
- *Adekvatnost pokreta* je sposobnost da se izaberu pokreti adekvatni kretnom zadatku.

Održivost ovih, kao i ostalih koncepcija o strukturi koordinacije, ukazuju na visoku složenost ovog antropomotoričkog svojstva i na tesnu povezanost sa gotovo svim fizičkim, kognitivnim i perceptivnim sposobnostima.

Trening usmeren na poboljšanje koordinacije je veoma složen, jer prema karakteru kretnih struktura razlikujemo različite vrste koordinacije. *Bazična ili opšta koordinacija* predstavlja sposobnost vremenski, energetski i motoričko određenih snažnih, brzinskih i izdržljivih mišićnih potencijala u cilju realizacije opštih kretnih struktura različite kompleksnosti.

Specifična koordinacija, ili tehnika određene sportske discipline, se svojom definicijom ne razlikuje bitno od definicije bazične koordinacije osim u delu realizacije kretnih struktura, koje su ovde specifičnog karaktera.

Situaciona koordinacija se manifestuje u uslovima takmičenja, kada na bazične i specifične koordinacione sposobnosti uticaj vrši karakterističnost sportske discipline s motoričkim, tehničkim i taktičkim faktorima.

Budući da svaki sport ima svoje specifične fizičke, prostorne i vremenske zahteve, uputno je govoriti o specifičnim metodama za razvoj koordinacije posebno u okviru svakog sporta. Globalno gledano, sve sportove je moguće podeliti u dve koordinacijske grupe: *ciklične* (ili stereotipne) i *aciklične* (nestereotipne). Prvoj grupi pripadaju atletska trčanja, plivanje, vožnja bicikla i slični sportovi u kojima se ciklusi unapred poznatih pokreta neprekidno izvode tokom izvesnog vremenskog perioda. Drugu grupu čine sportovi u kojima se veći broj uvežbanih elemenata primenjuje zavisno od situacije na terenu. U okviru acikličnih sportova, moguće je razlikovati još dve podgrupe: prvoj pripadaju

sportovi poput gimnastike, klizanja, skokova u vodu, umetničkog plivanja, atletskih skokova i sl. u kojima se izvode raznovrsni pokreti, ali po ranije uvežbanom redosledu. Otuda se oni mogu označiti kao uslovno (ne)stereotipni sportovi, za razliku od tipičnih nestereotipnih sportova poput fudbala, košarke, odbojke, rukometa, smučanja, tenisa i sl. Jedan smučar, na primer, dugo uvežbava vožnju kroz kapije, ali se na takmičenju uvek suočava sa različitim oblikom staze, različitom konfiguracijom terena i kvalitetom snega. Teniseri uvežbavaju različite varijante voleja koje uopšte i ne moraju primeniti tokom meča ukoliko protivnik nametne igru sa osnovne linije. O nepredvidivosti kretanja u fudbalu ili košarci, suvišno je i govoriti.

Kako je ranije objašnjeno, pokret se strukturiira u piramidalnoj zoni kore velikog mozga, pri čemu se formira njegova celovita šema, a ne parcijalni plan uključivanja pojedinih mišićnih grupa. Motorno učenje (implicitno i usavršavanje koordinacije) je, bazirano na aktivnosti viših motornih centara nervnog sistema. Tradicionalni pristup motornom učenju polazio je od biheviorističke teorije čije je osnovno načelo linearni model učenja, odnosno, analitički metod obučavanja. Takav način učenja angažuje prvenstveno levu hemisferu mozga koja ima vodeću ulogu u linearnim logičkim radnjama. Međutim, novija saznanja o podeli funkcija leve i desne moždane hemisfere donela su promenu savremenih tendencija učenja i obučavanja u sportu. Osnovu tih saznanja predstavljaju radovi američkog neurofiziologa Rodžera Sperryja (Roger Sperry) koji je za svoja otkrića o funkcionisanju hemisfera 1981. godine dobio Nobelovu nagradu. Za razliku od tradicionalnog mišljenja većine stručnjaka koji su mozak shvatali kao jedinstvenu celinu, Sperry je dokazao da je mozak podeljen na dve, po funkciji različite polovine. Već činjenica da leva hemisfera kontroliše funkcije desne, a desna leve strane tela, ukazuje na nesimetričnost podele funkcija. Osim toga, brojnim istraživanjima Sperry (prema Lukmanu, 1997) je dokazao da je delovanje leve hemisfere mozga analitičko, u šta spadaju čitanje, pisanje, govor, brojanje, računanje, preciznost, logika, linearna priroda učenja i drugo. Desna hemisfera je, međutim, usmerena ka celovitom (sintetičkom) načinu mišljenja i sposobna je da stvara intuitivne misaone skokove, da stvaralački razmišlja, da pamti, da uči, da predviđa, da crta i realizuje račun. Desna hemisfera je nelinearne prirode, spontana, sposobna da vrši asocijacije, da komponuje, upravlja kretanjem i zadužena je za ritam i muziku. Krajnje simplifikovano rečeno, leva hemisfera mozga je

„pametnija“, a desna „spretnija“. Prema Sperry-u, civilizacija se, sticajem okolnosti, više okrenula levoj hemisferi zbog čega se potomstvo, uslovno rečeno, odgaja sa polovinom mozga. Kako su nepredvidivost, iznenađenje, narušavanje ritma i ravnoteže i potreba za anticipacijom osnovne odlike sporta, logično je da desna hemisfera mora dobiti mnogo značajniju ulogu tokom treninga sportista. Zbog toga se savremene tendencije učenja i obučavanja u sportu odlikuju tzv. „zaokretom u desno“ i forsiranjem sintetičkog metoda motornog učenja, a šire gledano i sintetičkog usavršavanja koordinacije.

Sportska tehnika i taktičke varijante često se uče po delovima. U mnogim sportskim školama, više nego što je potrebno, primenjuje se analitički metod. Događa se da početnici tehniku usvajaju mesecima i da na kraju nisu u stanju da je primene u realnim okolnostima takmičenja. Osim toga, veliki broj uputstava za vreme učenja i veliki broj metodičkih vežbi nemaju veliki praktičan značaj za savladavanje tehničko-taktičkih celina. Veliki broj informacija, naprotiv, nekada ometa početnika u povezivanju ključnih detalja. Učenje i trening će otuda biti olakšani i efikasniji ukoliko se tehnika i taktika tretiraju kao jedinstvena celina. Za početnike je dovoljno da shvate celinu i da eventualno zapamte samo redosled elemenata koji se sukcesivno ređaju u jednoj akciji. Prema tome, celovito (sintetičko) učenje, kojim upravlja desna hemisfera mozga, ima prednost nad analitičkim pristupom u formiranju koordinacijskih šema.

U domaćoj i inostranoj literaturi (naročito onoj koja je dolazila sa ruskog govornog područja) često su izdvajana, kao zasebna fizička svojstva sportiste, *ravnotoeža* i *preciznost*. Sagledaju li se, međutim, fiziološki mehanizmi na kojima počivaju te dve motoričke sposobnosti, lako se može zaključiti da kod njih dominantnu ulogu igra specifično struktuiranje neuromišićnih šema u odnosu na prostor i vreme, kao i kod svih drugih vidova ispoljavanja koordinacije.

Ističući posebnost ravnoteže, Zaciorski (1975) razlikuje njena dva osnovna oblika ispoljavanja: (1) *sposobnost očuvanja statičkih položaja (statička ravnoteža)* i (2) *sposobnost uspostavljanja stabilnosti ravnotežnog položaja (dinamička ravnoteža)*. Dok se statička retko susreće u vrhunskom sportu (možda samo u nekim gimnastičkim elementima na gredi), dotle je dinamička prisutna u velikom broju sportova. Dobar balans (ravnoteža) apostrofira se ne samo u individualnim sportovima poput skijanja ili klizanja, već i u kolektivnim

gde kvalitetnog driblinga i odbrambenog stava nema bez stalne kontole ravnoteže.

Zaciorski (1975) je govorio i o različitim vidovima ispoljavanja preciznosti ukazujući s jedne strane na sposobnost tačnog bacanja (gađanja), a s druge na sposobnost tačnog vođenja predmeta. Preciznost bacanja (gađanja) uglavnom se susreće u igrama sa loptom (košarka, rukomet, fudbal...), a preciznost vođenja u sportovima u kojima sportista ima stalni kontakt sa osnovnim rekvizitom (mačevanje, tenis, stoni tenis i sl.). Teoretičari pojedinih sportova idu još dalje razlikujući u košarci ili rukometu, na primer, preciznost dodavanja, vođenja, šutiranja...

7.2. DEFINICIJA I VRSTE GIPKOSTI

Većina sportova zahteva dostizanje optimalne amplitude pokreta. U nekima od njih neophodno je da ta amplituda bude maksimalna, nekad toliko velika da daleko prevazilazi mogućnosti prosečnog čoveka (u sportskoj ili ritmičkoj gimnastici, na primer). Sposobnost takmičara da ostvari optimalnu amplitudu pokreta u pojedinim sportovima može biti presudna za ostvarenje visokih dometa. Sposobnost lokomotornog aparata da realizuje pokrete optimalne amplitude označena je kao *pokretljivost* (ili *gipkost*, *elastičnost*, *fleksibilnost*). Pogrešno bi bilo govoriti o maksimalnim amplitudama s obzirom na specifične zahteve svakog sporta i na činjenicu da svaki mišić svoje maksimalne brzinsko-snažne potencijale realizuje pri različitim uglovima između pojedinih segmenata tela.

Pokretljivost u svim zglobovima prvenstveno je uslovljena anatomskom strukturom koštanih i ligamentarnih elemenata koji ih grade, kao i elastičnošću mišića. Dok je oblik zglobnih površina genetski određen i time neosetljiv na uticaje treninga, dotle se na kvalitet i dimenzije ligamenata kao pasivnih, te mišića kao aktivnih tenzora zgloba, može značajno uticati sistematskim vežbanjem. Istraživanja iz prostora biomehanike i funkcionalne anatomije su pokazala da je pokretljivost u pojedinim zglobovima dosta determinisana naslednim faktorom, budući da na maksimalnu amplitudu pokreta najviše utiče oblik zglobnih površina. Tako se ligamenti i mišići koji fiksiraju zglob kuka i ograničavaju pokrete u njemu mogu maksimalno istegnuti, a da se amplituda abdukcije uopšte ne promeni, zbog oblika acetabuluma

(zglobna jama na bočnoj strani karlične kosti u koju ulazi glava butne kosti). Ograničenje gipkosti dužinom mišića je različito, od slučaja do slučaja. Tako, na primer, dužina mišića uopšte ne utiče na amplitudu ekstenzije u zglobu lakta, dok je za fleksiju u zglobu kuka presudna, naročito kada je noga opružena (pri potpunoj ekstenziji u zglobu kolena). Dvozglubni mišići zadnje lože buta (m. semitendinosus, m. semimembranosus i duga glava m. biceps femoris-a) naime, svojom insuficijentnošću ograničavaju pokrete u brojnim sportskim aktivnostima i zbog nepovoljnog položaja čest su uzrok povredama.

Istezanje mišića, kako je detaljno opisano u odeljku 3.4., regulišu dva karakteristična proprioceptivna elementa: mišićno vreteno (fuzus) i Goldžijev tetivni organ (GTO). Vreteno mehanizmom miotatičkog refleksa čuva mišić od prekomernog istezanja, dok GTO ima suprotan odgovor na promenu dužine, opuštajući mišić prilikom dugotrajnog i intenzivnog istezanja. Budući da mišićno vreteno ima niži prag draži, prvobitni odgovor mišića na istezanje je refleksna kontrakcija, dok GTO počinje da deluje, u smislu relaksacije, nešto kasnije i to samo pod uslovom da se pokret izvodi sporo i da sila koja prouzrokuje istezanje deluje nešto duže.

Polazeći od funkcionalne usaglašenosti mišićnih vretena i GTO-a, moguće je govoriti o dvema vrstama gipkosti: jedna je *dinamička* (ili *fazna*), a druga *statička*. Dinamička gipkost vezuje se za brze pokrete koji dominiraju u većini sportova, pa se otuda smatra i značajnijom. Statička gipkost karakteristična je u pokretima velike amplitude koji se izvode sporo (na primer špagati u gimnastici, mostovi, vage i sl). Iako se dinamička gipkost mnogo više susreće, kako u sportu tako i u svakodnevnom životu, neophodno je razvijati i statičku gipkost. Eksploatacija statičke gipkosti uostalom, osnovno je sredstvo povećanja elastičnosti mišića. U tom smislu definisani su brojni kompleksi vežbi za istezanje označeni zajedničkim imenom kao – *strečing* (engl. *stretch*, *istezati*).

Prilikom realizacije statičkog istezanja neophodno je voditi računa da se uvek dostigne maksimalna amplituda pokreta u tretiranom zglobu i da se dostignuti položaj održava minimalno 20 s. Na početku rada usmerenog na povećanju pokretljivosti, *strečing* je preporučljivo sprovoditi svakodnevno, po mogućnosti i dva puta dnevno. Kada se dostigne optimalni nivo fleksibilnosti, moguće ga je održavati vežbanjem ne češćim od tri do četiri puta nedeljno. Što se tiče dinamičkog istezanja,

teško ga je popraviti direktnim vežbanjem, već prvenstveno preko statičkog istezanja. Kada se, naime, strečingom (statičkim istezanjem) poveća elastičnost miškulature, pomera se i granica za pojavu miotatičkog refleksa. Vežbe za istezanje najbolje je primenjivati nakon dobrog zagrevanja ili na kraju treninga.

Pored navedenih anatomskih i trenažnih činilaca, gipkost dosta zavisi i od temperature. Sa njenim porastom gipkost se povećava, a sa hlađenjem opada. Otuda je preporučljivo pre primene vežbi istezanja dobro se zagrejati (do pojave znoja) i temperaturu tokom vežbanja održavati toplijom garderobom. Tokom statičkog istezanja maksimalna amplituda pokreta može se ostvariti aktivnim naprežanjem miškulature, pa se takva gipkost označava kao *aktivna*. Amplitudu pokreta moguće je i dalje povećavati do krajnjih anatomskih granica delovanjem neke spoljašnje sile (na primer pritisak partnera). Time se iscrpljuje rezervna gipkost i vrši pasivno delovanje na zglobove, pa se ova varijanta naziva i *pasivna gipkost*.

Stepen gipkosti se najčešće iskazuje veličinom ugla koji zaklapaju susjedni segmenti tela. Zbog toga se ona najpreciznije meri goniometrijskom metodom, tj. utvrđivanjem promene ugla u posmatranom zglobu (Slika 7-1). U praksi se, međutim, merenje gipkosti češće vrši linearnim merama, kao u testu pretklon sa doseganjem u sedu (Slika 7-2). Linearne me-re su manje precizne od uglovnih s obzirom na veliki uticaj antropometrijskih dimenzija skeleta.



Slika 7-1 Testiranje pokretljivosti zgloba kolena pomoću goniometra



Slika 7-2 Testiranje pokretljivosti zadnje lože natkolenice

8 BRZINA – KOMPLEKSNO FIZIČKO SVOJSTVO

Prilikom analize uspeha u sportskom nadmetanju, veliki značaj se poklanja brzini. Mnogi sportisti, bez obzira na rang takmičenja, do perfekcije su usavršili tehniku aktuelnog kretanja, ali ono što ih odvaja na prosečne i majstore vrlo često je sposobnost da isti pokret izvedu za što kraće vreme. Treneri i analitičari sporta često kažu: odlučila je njegova (ili njena) brzina; teško ih je nadigrati – mnogo su brži...

Brzina je veoma kompleksno antropomotoričko svojstvo. Najčešće se definiše kao sposobnost pojedinca da određeni pokret izvede za najkraće vreme, pri čemu se pretpostavlja da izvršenje zadatka ne traje dugo i da ne dolazi do zamora. Brzina se ispoljava na veoma različite načine. Nekada se radi o jednostavnom brzom odgovoru na vrlo raznovrsne signale (svetlosne, zvučne, kretne), kao prilikom blokiranja šuta ili udarca; nekada je po sredi jednostavno pretrčavanje kratke distance, kao u sprintu na 100 m; dok se nekad radi o složenom kretnom ispoljavanju kao u situaciji kada fudbaler, košarkaš ili rukometaš mora pre svog protivnika da stigne do lopte, napravi dribling ili odigra dupli pas i na kraju postigne gol ili koš. Brzina, dakle, ima različite kinezičke manifestacije, ali se u literaturi najčešće izdvajaju tri tipične:

1. *Latentno vreme reakcije* – Definiše se kao period koji protekne od pojave signala do motornog odgovora na njega. Tipičan primer za to je start atletske trke gde je pucanj startera signal, a start trkača motorni odgovor. Od brzine motorne reakcije na startu (latentnog vremena u toku kojeg se izvrši nervna obrada informacija i pripremi adekvatan motorni odgovor) često zavisi kasniji ishod trke, naročito ako su trkači ujednačeni i imaju slične druge

motoričke performanse (startno ubrzanje, maksimalnu brzinu, brzinsku izdržljivost...).

2. *Brzina pojedinačnog pokreta* – Definiše se kao vreme koje protekne od početka do kraja lokomotornog zadatka. Tako se, na primer, može izmeriti koliko traje izbačaj u bacanju koplja ili odskok u skakačkim disciplinama, koliko se brzo izvodi direkt u boksu ili *gyakozuki* u karateu. Veoma je važno naglasiti da spoljašnji otpor tokom ispoljavanja maksimalne brzine mora biti mali kako pokret ne bi suviše zavisio od sile i snage.
3. *Frekvencija pokreta* – Definiše se kao učestalost uzastopnog izvođenja istog pokreta i iskazuje brojem ponavljanja u jedinici vremena. Tako se govori o broju koraka u atletskom sprintu, o broju zaveslaja u plivanju ili veslanju i sl.

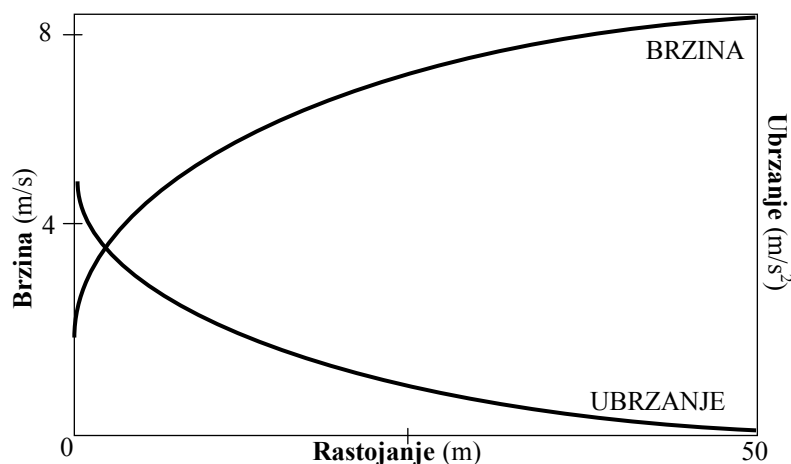
Navedeni oblici ispoljavanja brzine relativno su nezavisni jedan od drugog. To se naročito odnosi na latentno vreme reakcije koje u većini istraživanja nije pokazalo značajnu povezanost sa opštom brzinom kretanja. Tako se sprinter može odlikovati izuzetno brzom reakcijom na startu, a da pri tome ima slabo startno ubrzanje i malu maksimalnu brzinu trčanja. Kombinacija tri opisana oblika određuje sve slučajeve ispoljavanja brzine. U već pomenutom atletskom sprintu, konačan rezultat zavisi od brzine reakcije na startu (latentno vreme reakcije), brzine pojedinačnog pokreta (otiskivanje nogom o tlo, podizanje natkolenice i sl.) i od frekvencija koraka. U realnim okolnostima sportskog nadmetanja najveći značaj ipak ima brzina celokupne lokomotorne radnje, a ne elementarne manifestacije brzine.

Kod brzog izvođenja koordinacijski složenih kretnji, međutim, brzina zavisi od brojnih faktora. Na primer, u trčanju brzina kretanja zavisi od dužine koraka, a dužina koraka opet je determinisana dužinom noge i snagom aktuelne muskulature. Zbog toga je krajnje rezultate brzih pokreta teško interpretirati kao eksplicitne pokazatelje brzine sportista. Tek se detaljnom naučnom analizom njenih elementarnih manifestacija može doći do preciznih pokazatelja.

Kod mnogih pokreta izvršenih maksimalnom brzinom razlikuju se dve faze:

- *Faza razvijanja brzine (ubrzanje)* za koju je karakterističan priraštaj brzine na početku rada
- *Faza stabilizacije brzine* koja se odlikuje održavanjem brzine na datom rastojanju (kraće trkačke ili plivačke distance).

Ove dve faze (Slika 8-1) mogu se posmatrati i kao dva zasebna vida brzinskih sposobnosti koje su među sobom relativno nezavisne. Sposobnost sportiste da brzo dostigne veliku brzinu nije garancija sposobnosti za nastavak kretanja velikom brzinom. Svaki sport ima svoje specifične zahteve u pogledu ispoljavanja brzine. Nekada presudni značaj ima startno ubrzanje (fudbal, košarka, rukomet...), a nekad brzina otiskivanja od tla (skok uvis, skok udalj) ili brzina izbačaja sprave, brzina udarca po lopti itd.



Slika 8-1 Krive startnog ubrzanja i maksimalne brzine trčanja (modifikovano prema Zaciorskom, 1975)

Sposobnosti iste osobe u pogledu brzog izvođenja različitih pokreta takođe su su specifične. Neki sportisti mogu veoma brzo da izvode jednu vrstu pokreta, a drugu relativno sporo. Ova pojava je naročito prisutna kada se izvode koordinacijski izrazito nesrodne aktivnosti, na primer trčanje i plivanje. Transfer brzine moguć je samo kod koordinacijski srodnih motornih radnji, tj. u pokretima koji angažuju istu muskulaturu, sa sličnim režimom kontrakcije. Tako je značajno poboljšanje rezultata u skoku udalj iz mesta pouzdana garancija poboljšanja rezultata u sprinterskom trčanju, dok, istovremeno, ne znači ništa za poboljšanje brzine plivanja ili brzine karate udarca.

Posmatrano sa neurofiziološkog aspekta, osnovna razlika između maksimalno brzih i sporih pokreta je u tome što je pri maksimalnoj brzini otežana senzorna kontrola i korekcija pokreta. Zbog toga je u velikoj brzini teško izvesti dovoljno precizne pokrete. Kod izrazito brzih pokreta

i onih koji se izvode velikom frekvencijom, mišići su aktivni samo u krajnjim tačkama cele amplitude. Tom prilikom se segmentima tela saopštava kinetička energija koja se zatim gasi aktivnošću mišića antagonista, a segment tela ubrzava u suprotnom smeru. Pri velikoj brzini, aktivnost mišića je toliko kratkotrajna da su i promene njegove dužine minimalne. Na taj način se izrazito brze kontrakcije, prema tipu opterećenja, veoma približavaju izometrijskom režimu (Platonov, 1984; Zaciorski, 1975).

Posmatrana sa biohemijskog aspekta, brzina prvenstveno zavisi od količine ATP-a u mišićima i od brzine njegove razgradnje i resinteze. S obzirom na to da su brze kretnje kratkotrajne, resinteza ATP-a se isključivo realizuje na račun anaerobnih energetske sistema: fosfagenkog i glikolitičkog. Tokom aktivnosti kao što su trčanje na 100 i 200 m ili plivanje na 25 i 50 m, naravno maksimalnom brzinom, udeo anaerobnih izvora energije premašuje 90%.

8.1. STRUKTURA BRZINE POJEDINAČNOG POKRETA

Ukoliko se izoluje samo jedan ljudski pokret izazvan prostom mišićnom kontrakcijom (mišićnim trzajem), moguće ga je raščlaniti na dve faze: (1) fazu stvaranja akcionog nervnog potencijala, tj. fazu razdraženja mišićnih vlakana (*latentna faza* ili *vreme reagovanja*) i (2) aktivnu fazu pokreta (*vreme pokreta*) u kojoj se dešavaju mehaničke promene mišića (kontrakcija i relaksacija). Kako je vreme osnovni parametar prilikom vrednovanja brzine, brzina pojedinačnog pokreta se može povećati bilo skraćivanjem vremena reagovanja ili vremena pokreta.

Precizna laboratorijska istraživanja pokazala su da se na latentno vreme proste mišićne kontrakcije izolovanog vlakna ne može uticati treningom budući da je determinisano tipom motornog neurona koji ga inervišu. Broj impulsa koji stižu na neuromuskularnu sinapsu, brzina izlaska acetilholina iz vezikula završne motorne pločice i depolarizacija membrane mišićnog vlakna su genetski određeni i praktično neosetljivi na bilo kakav trenajni stimulus. Isto važi i za pojedinačni pokret izazvan složenom mišićnom kontrakcijom, bilo da se radi o potpunom ili

nepotpunom tetanusu. Time se logično dolazi do zaključka da je brzina pojedinačnog pokreta podložna promeni (ukoliko se na nju uopšte može uticati) samo na račun vremena pokreta ili preciznije samo na račun aktivne kontrakcije. Ukoliko se, međutim, pojedinačni pokret izvodi bez ikakvog spoljašnjeg otpora (neopterećeni segmenti tela se slobodno pokreću), onda je teško očekivati bilo kakvo povećanje brzine iznad one koja je određena genotipom sportiste. Značajnu ulogu tada igra jedino tip mišićnog vlakna, pri čemu će najbrža biti FG a najsporija SO vlakna.

Prethodne tvrdnje navode na razmišljanje o uticaju sile i snage aktuelnog mišića na brzinu pojedinačnog pokreta. Čisto mehanički posmatrano, vrlo se lako dokazuje da su snaga mišića i brzina njegove kontrakcije značajno povezane. Što je veličina spoljašnjeg otpora veća, na brzinu je, pored snage, sve uticajnija i sila mišića.

Polazeći od strukture izolovanog pojedinačnog pokreta, dakle, može se zaključiti da je brzina urođeno svojstvo na koje se ne može direktno uticati sistematskim treningom, već samo indirektno preko srodnih antropomotoričkih dimenzija, prevashodno snage, zatim i koordinacije. Sportska praksa, međutim, kao i niz naučnih radova, pokazali su da se brzina sportista popravila čak i onda kada su snaga i tehnika izvođenja pokreta ostali nepromenjeni. Prema tome, i na brzinu kretanja moguće je delovati specifičnim treningom, ali samo kada se radi o brzini složenih lokomotornih radnji kakve i dominiraju u realnim sportskim pokretima.

8.2. ISPOLJAVANJE BRZINE U REALNIM POKRETIMA

Većina sportova zasnovana je na složenim pokretima, više ili manje zasićenim koordinacijskim sposobnostima lokomotornog aparata. Veoma su retki izolovani pojedinačni pokreti (terminalni pokreti) koji se sastoje u jednokratnom pokretanju samo jednog segmenta tela. Otuda je analizu strukture brzine neophodno dopuniti dodatnim informacijama.

U mnogim sportovima (fudbalu, košarci, rukometu, boksu, džudou, karateu) sportista brzinu svojih pokreta formira u odnosu na reakcije i položaj protivnika. To praktično znači da pokret otpočinje onog trenutka kada se pojavi adekvatni stimulus za njegovu realizaciju. Nekada

su ti stimuli veoma složeni i gotovo neočekivani, pa predstavljaju veliko opterećenje za sportistu, na primer prilikom nekog komplikovanog driblinga protivnika ili nagle promene pravca, složene kombinacije udaraca i sl. U drugom slučaju, međutim, spoljašnji stimulus je unapred poznat, na primer startni pucanj u trčanju na 100 m. Bez obzira o kakvom se stimulusu radi, jasno je da on značajno utiče na dužinu latentne faze, tj. vreme koje protekne od pojave draži do adekvatne motorne reakcije.

Latentno vreme reagovanja u složenim pokretima, koji dominiraju u realnoj situaciji sportskog nadmetanja, može se posmatrati kroz pet faza: (1) pojava razdraženja u receptoru (vizuelnom ili auditivnom), (2) prenos razdraženja do centralnog nervnog sistema, (3) prolaženje razdraženja kroz nervnu mrežu i stvaranje efektnog signala, (4) prenos signala iz motornog nervnog centra do mišića efektora i (5) razdraženje mišića praćeno mehaničkom aktivnošću. U navedenoj nervnoj šemi lako se prepoznaje mehanizam ranije opisanog refleksnog luka. Prema tome, vreme reagovanja proste mišićne kontrakcije značajno se produžava na račun pripreme (preparacije) odgovarajućeg motornog odgovora koji je mnogo više od pojedinačne kontrakcije jednog mišića ili jedne mišićne grupe.

Što se tiče aktivne faze u strukturi složenih lokomocija (vreme pokreta) i tu se uočava bitna razlika u odnosu na izolovani pokret. U realnim uslovima, naime, sportista ima zadatak da savlada i izvestan otpor, odnosno njegovo kretanje se vezuje za dodatno ispoljavanje snage. Nekada je taj otpor mali (na primer težina lopte ili reketa), a nekada velik (na primer kugla, kladivo, masa protivnika). Osim toga, motorni odgovor sportiste na spoljašnje stimulse zahteva visoku sinhronizaciju mišića agonista, sinergista i antagonista.³¹ Složenost motornog odgovora, dakle, dosta produžava i vreme pokreta utičući na promenu strukture ispoljavanja brzine. Kako je vreme pokreta dosta zasićeno snagom i koordinacijom, brzinu je u realnim pokretima teško posmatrati kao

³¹ Prema ulozi koju aktuelni mišići imaju tokom izvođenja bilo kog pokreta, moguće ih je posmatrati kao **agoniste** (osnovne izvršioce pokreta), **sinergiste** (pomoćne izvršioce) i **antagoniste** (mišiće suprotnog dejstva). Dok su agonisti i sinergisti istovremeno angažovani tokom aktivne faze pokreta, antagonisti moraju da budu distrahovani. Uskladjenost rada agonista i sinergista na jednoj, te antagonista na drugoj strani, reguliše γ sistem za motornu kontrolu. Osim aktivnosti nervnog sistema, sinhronizacija ovih mišića dosta zavisi i od temperature, pri čemu hladnoća najviše utiče na poremećaj njihovih funkcija i može prouzrokovati ozbiljne povrede.

izolovano antropomotoričko svojstvo. Svoje fiziološke specifičnosti ona zadržava prevashodno u prostoru latentnog vremena reakcije, pa se njena antropomotorička posebnost (izdvojenost) iskazuje jedino kroz brzinu motorne reakcije.

8.2.1. VREME PROSTE REAKCIJE

Brzina motorne reakcije poistovećuje se sa latentnim vremenom reagovanja (psihološko vreme reakcije) i obuhvata period od pojave spoljašnje draži do formiranja motornog odgovora. Moguće je razlikovati dva osnovna vida motorne reakcije: *prostu* i *složenu*. Prosta motorna reakcija definiše se kao odgovor poznatim pokretom na unapred poznati signal. Tipični primeri su start u trčanju ili plivanju, gađanje silueta i sl.

Kod proste motorne reakcije postoji visok transfer, što praktično znači da će sportisti koji brzo reaguju u jednoj, brzo reagovati i u drugoj situaciji. Osim toga, istraživanja su pokazala da se primenom brzih kretnji može popraviti i brzina proste reakcije, što u suprotnom smeru ne važi (uvežbavanje motorne reakcije ne donosi napredak u brzini pokreta). Prilikom rada na poboljšanju brzine proste reakcije najčešće se koristi metod ponavljanja reakcije na iznenadni signal što je moguće većom brzinom. Tako se kod početnika uzastopnim ponavljanjem niskog starta ili odgovorom na unapred poznati udarac, brzo dolazi do vidnog napretka. Pri daljem vežbanju, međutim, brzina reakcije se stabilizuje i gotovo je nemoguće dodatno poboljšanje.

Vrsta signala	Netrenirane osobe (s)	Trenirane osobe (s)
Zvučni	0,17 - 0,27	0,10 - 0,20
Vizuelni	0,20 - 0,35	0,15 - 0,20

Tabela 8-1 Vreme proste motorne reakcije treniranih i netreniranih osoba izazvano zvučnim i vizuelnim signalom

Interesantno je navesti neke podatke o brzini proste motorne reakcije sportista i nespportista na različite signale. Sportisti su redovno imali kraće vreme reagovanja od nespportista, dok su i jedni i drugi bolje rezultate ostvarivali prilikom reagovanja na zvučni signal (Tabela 8-1). Budući da se kod nekih netreniranih osoba vreme proste reakcije sasvim približavalo vremenu treniranih, ostaje otvoreno pitanje da li se vreme

proste motorne reakcije skratilo kao posledica vežbanja, ili su pak te osobe sele-ktirane u sport upravo na račun brzine reagovanja. Tako je kod pojedinih sprintera vrhunske klase izmereno vreme reagovanja na zvučni signal od svega 0,05 do 0,07 s. Postoje, naime, mišljenja da je limit brzine motornog reagovanja genetski određen i da ga je moguće dostići samo sistematskim vežbanjem. Što se tiče razlika reagovanja u korist zvučnih signala, moguće ih je objasniti dužim vremenom akomodacije odgovarajućih receptora (uha i oka). Oku je, naime, potrebno više vremena za registrovanje adekvatnih draži. Vreme reagovanja na vizuelne signale još se značajno produžava prilikom složene motorne reakcije.

Veoma je interesantno pitanje da li bi prilikom iščekivanja signala pažnju trebalo prvenstveno usmeriti na pojavu draži, što je označeno kao *senzorni tip reagovanja*, ili na pokret, što predstavlja *motorni tip reagovanja*. Zaciorski (1975) prednost daje senzornom tipu, iako navodi i pozitivne efekte motornog tipa reagovanja. Tako se, na primer, vreme reagovanja može skratiti ukoliko sprinter snažno pritiska startni blok.

8.2.2. VREME SLOŽENE REAKCIJE

Složena motorna reakcija definiše se kao odgovor izabranim pokretom na nepoznat signal. Dve njene najčešće varijante su reakcija na pokretni predmet i reakcija izbora. Kao ilustracija prve može se navesti reakcija golmana koji iščekuje šut protivničkog igrača. Šut može biti izveden nisko, visoko, u ugao ili po sredini gola; lopta može biti upućena veoma snažno po pravolinijskoj putanji, ili je, pak, plasirana u nekom luku, „felširana“ i sl. Na jedan od mogućih vizuelnih signala golman, kao odgovor, bira: hvatanje lopte, odbijanje, boksovanje, bacanje („paradu“); loptu odbija nogom ili rukom, nekada i glavom. Kako pokazuju istraživanja, vreme reagovanja u ovakvim situacijama kreće se od 0,25 do 1 s i u sebi sadrži nekoliko faza: (1) uočavanje (fiksaciju) predmeta, (2) procenu brzine i pravca leta predmeta, (3) stvaranje šeme motornog odgovora i (4) njegovu realizaciju. Eksperimenti pokazuju da najveći deo vremena složene reakcije pripada prvoj fazi budući da je vezana za akomodaciju oka (oftalmokinetičko prilagođavanje).

Drugi oblik složene motorne reakcije, reakcija izbora, može se ilustrovati pokretima boksera ili karatiste koji se brani od određenog napada protivnika. Tako bokser može unapred da pripremi odbranu od

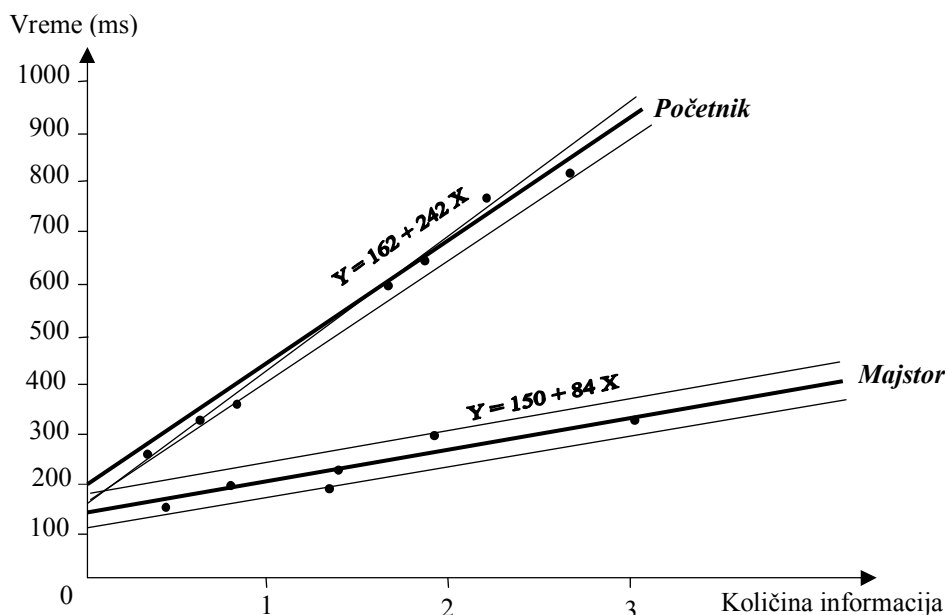
direkta, aperkata, krošea ili pak od izvesne kombinacije napadačkih elemenata. Vreme složene reakcije dosta zavisi od raznovrsnosti protivnika i njegove veštine da koristi različite varke (lažno kretanje, eskivaže i sl.). Otuda se prilikom usavršavanja brzine reagovanja u ovakvim sportovima mora vršiti veoma raznovrsna obuka i sportistima ponuditi što veći broj različitih kretnih sadržaja i njihovih kombinacija.

Treningom se može bitno skratiti vreme složene reakcije, pogotovu faza fiksacije predmeta. Vrhunski sportisti su u stanju da šemu motornog odgovora formiraju već na osnovu pripremnih pokreta protivnika, dakle mnogo pre konačnog izvršenja protivničkih kretnji. Time se objašnjavaju velike razlike složenog reagovanja sportista i nesportista, naravno u korist ovih prvih. U pojedinim sportovima, kao što su tenis ili odbojka, lopta se kreće velikim brzinama (nekad i preko 150 km/h) tako se teoretski ne može stići ukoliko se sportista pripremi za reakciju tek u trenutku kada je napustila ruku ili reket protivnika. Vrhunski sportisti, međutim, ne samo da stižu ovako brze lopte, već ih veoma precizno vraćaju u željenom pravcu. Ovde je reč o motornoj anticipaciji koja je odlika takmičara visokog stepena majstorstva. Tom prilikom se brzina složene reakcije ispoljava paralelno sa preciznošću (tačnošću) motornog odgovora.

Različita merenja su pokazala da se kod sportista visoke takmičarske klase vreme složene reakcije gotovo izjednačava sa vremenom proste reakcije. To se objašnjava velikom uvežbanošću da se reaguje već na pripremljene pokrete protivnika. Vrhunski majstori, naime, mogu da predvide akciju protivnika već na osnovu promene tonusa pojedinih mišića. Tako džudisti preko kimona registruju vrlo suptilne promene pritiska koje im najavljuju akciju protivnika.

U objašnjavanju brzine složene motorne reakcije sve više se koristi kibernetički pristup koji polazi od broja potencijalnih stimulusa kojima se može izazvati motorna reakcija sportiste. Radi se naime o broju informacija koje stoje na raspolaganju auditivnim, vizuelnim i kinestetskim receptorima u uslovima sportske borbe. Između broja potencijalnih informacija i vremena reagovanja na njih postoji direktna proporcionalnost. Što je broj mogućih draži veći, duže traje vreme preparacije motornog odgovora (brzina reakcije je manja). Ovu zavisnost ilustruje regresiona linija čiji nagib dosta zavisi od nivoa treniranosti sportiste (Slika 8-2). Tako je utvrđeno da se visoko specijalizovanih sportista brzina složene reakcije manje zavisi od količine potencijalnih

informacija o kretanju protivnika. Objašnjenje za to ponovo je sposobnost majstora sporta da anticipiraju već na osnovu pripremnih pokreta protivnika. Osim toga, veliko takmičarsko iskustvo redukuje količinu potencijalnih informacija. Tako vrhunski bokseri znaju da nakon napada direktno teško može da usledi nastavak akcije istim udarcem, čime se smanjuje količina preostalih draži. Ukoliko košarkaš vodi loptu uz aut liniju, odbrambeni igrač zna da dribling (promena pravca) može uslediti samo na jednu stranu, pa otuda napadača i navodi na takve kretnje kojima će smanjiti broj mogućih varijanti nastavka akcije. Fudbalski golmani prate koji deo gola su gađali izvođači penala i slobodnih udaraca na prethodnim utakmicama, što im omogućava izvesnu anticipaciju.



Slika 8-2 Zavisnost vremena prerade informacija od njihove količine kod sportista različitog nivoa treniranosti (prema Zaciorskom, 1975)

8.3. FAKTORI ZNAČAJNI ZA ISPOLJAVANJE BRZINE

8.3.1. UTICAJ STRUKTURE MIŠIĆA I BIOLOŠKE STAROSTI

Na osnovu rezultata brojnih istraživanja definitivno se zna da na brzinu kontrakcije najveći uticaj ima tip mišićnog vlakna. Tako se prilikom definisanja vrsta vlakana koja određuju strukturu mišića, najčešće i operiše pojmovima *brza* i *spora* vlakna. Polazeći od ranije opisanih neuroloških, hemijskih i energetskih karakteristika vlakana (odjeljak 2.5.) jasno je da vlakna brzog trzaja (FT) imaju apsolutnu prednost prilikom ispoljavanja brzine: inervišu ih najkrupniji motorni neuroni koji su u stanju da prenesu najvećom brzinom najveću količinu nervnih impulsa; poseduju najveći anaerobni kapacitet i najveću brzinu resinteze ATP-a; imaju najveći promer, a time i mogućnost delovanja protiv velikog spoljašnjeg otpora. Kako je struktura mišića determinisana prevashodno genotipom, logično je zašto je brzina od svih motoričkih svojstava najmanje podložna promenama pod uticajem treninga.

Istraživanja su pokazala da ukoliko jedna osoba, u odnosu na prosek populacije, ima veći procenat brzih (ili sporih) vlakana u jednom mišiću, vrlo je verovatno će se slična struktura dobiti i na njenim ostalim mišićima. Ista osoba, dakle, ima sličnu brzinu reagovanja u većini različitih pokreta. Zbog toga se prilikom određivanja strukture mišića, uzorak tkiva uzima samo iz jednog mišića. Željaskov (2005) pozivajući se na istraživanja (Saltin i Gollnick, 1983; Pette 1984) navodi da je utvrđeno u mišićima nogu sprintera znatno veći procenat brzih mišićnih vlakana (FT), nego kod individua koje se ne bave sportom, i još veći u poređenju sa sportistima koji treniraju izdržljivost. Kod sportista koji treniraju izdržljivost (atletičari dugoprugaši, biciklisti i veslači) utvrđen je veći procenat sporih (ST) vlakana. Tako je na primer odnos između brzih i sporih mišićnih vlakana kod maratonaca 18% na prema 82%, dok je taj odnos kod sprintera i skakača 63% naprema 37% (Gayton 1986).

Kako je ranije rečeno, sa biološkim starenjem postepeno odumiru α -motorni neuroni i njihovu ulogu preuzimaju susedni neuroni sporih motornih jedinica. Logična posledica tog procesa je i promena strukture mišića koji sa starenjem postaju sve sporiji. Otuda brzina osetno počinje

da opada nakon 26. godine života kod žena, a nakon 36. godine kod muškaraca (Gužalovskij, 1987; Jarić i Kukulj, 1996; Viljaneni sar., 1991), dok se izdržljivost istovremeno ne menja, čak može i da se uveća (Shephard i Astrand, 1992).

8.3.2. UTICAJ SILE I SNAGE NA BRZINU

Kada se od sportiste traži da kretanje izvede najvećom mogućom brzinom, on obično mora da svalada izvestan spoljašnji otpor. Nekada je taj otpor manji, kao prilikom smečiranja u odbojci, šutiranja fudbalske lopte ili bacanja koplja, a nekada veoma velik, kao prilikom izvođenja bacanja u džudou ili rvanju, prilikom bacanja kugle, a naročito kod dizanja tegova. Gotovo da je nemoguće pronaći sportsku aktivnost u kojoj se brzina izvođenja ne povezuje sa savladavanjem spoljašnjeg otpora, odnosno sa ispoljavanjem sile i snage. Najčešći otpor prilikom brzih kretnji predstavlja težina sopstvenog tela, na primer tokom trčanja ili skaka-nja. Osnovni uzročnik spoljašnjeg otpora u tim slučajevima je sila gravitacije. Sve su to razlozi zašto se brzina, sagledana isključivo sa aspekta vremena pokreta, ne može smatrati izolovanim antropomotoričkim svojstvom. Važnu ulogu u brzim pokretima gotovo uvek imaju sila i snaga, zbog čega im se u treningu brzine poklanja velika pažnja. Mehaničku povezanost brzine i miogenih svojstava najbolje definiše Hill-ova kriva.

Budući da se većina sportskih pokreta bazira na maksimalnoj brzini izvođenja uz savladavanje izvesnog spoljašnjeg otpora, opravdano je brzinu sportiste posmatrati kao sposobnost da se za što kraće vreme razvije potrebna sila kojom će se delovati protiv spoljašnjeg otpora. Otuda se u literaturi novijeg datuma (Enoka i sar., 1994; Komi i sar., 1992) sve više govori o *gradijentu sile*, tj. o sposobnosti lokomotornog aparata da za što kraće vreme razvije maksimalnu silu. Gradijent sile (ΔF) se uzima kao kompleksni pokazatelj snažnobrzičkih sposobnosti, a izračunava se iz odnosa izmerene sile (F) i vremena (t) za koje se realizuje izvođenjem aktuelnog pokreta:

$$\text{(Gradijent sile)} \quad \Delta F = \frac{F}{t}$$

Treningom za silu i snagu posredno se povećava i brzina. Što se tiče obrnutog dejstva, utvrđeno je da se povećanjem brzine može uticati samo na porast snage i to u zoni malih opterećenja. U zoni velikih opterećenja, povećanje brzine nema pozitivne efekte ni u pogledu snage ni brzine. Analizom uticaja maksimalne sile mišića na brzinu pokreta, dokazan je njen značaja samo za rad koji se obavlja protiv velikih opterećenja. Kako pokazuje praksa, brzina se u celokupnom dijapazonu spoljašnjih otpora poboljšava samo istovremenim uvećanjem maksimalne brzine, maksimalne sile i snage.

Prilikom rada na povećanju gradijenta sile (sposobnost da se sila ostvari što brže) prvenstveno se koristi metod dinamičkih naprezanja (miometrijskog i pliometrijskog karaktera). On se sastoji u pokretanju submaksimalnih težina maksimalnom brzinom, čime se duž čitave amplitude pokreta deluje i na snagu i na brzinu. Tom prilikom se određenim segmentima tela saopštava izvesna kinetička energija koja se, radi izbegavanja trauma, mora ugasiti. Njeno gašenje ostvaruje se angažovanjem mišića antagonista koji praktično koče započeti pokret. Ukoliko se takva koordinacija ustali i preraste u dinamički stereotip, uticaće na nedovoljnu efikasnost završne faze kontrakcije i u drugim pokretima. Zbog toga se preporučuje da se, na primer, podizanje tereta iz čučnja završi odskokom, ili da se u završnoj fazi potiska, trzaja i sl. mišići agonisti ubrzavanjem završne faze pokreta uvedu u balistički režim naprezanja.

Metod dinamičkih naprezanja bi trebalo primenjivati u kombinaciji sa drugim meodelima treninga sile i snage koji čine njegovu neuromehaničku potporu. Pri tome metode ponavljanja i maksimalnih naprezanja služe za povećanje maksimalne sile, a metod dinamičkog naprezanja za povećanje brzog ispoljavanja snage, tj. povećanje gradijenta sile. Ukoliko se primenjuje samo dinamički metod, ne može se povećati maksimalna sila zbog kratkotrajnog delovanja na neuromuskularne mehanizme. Pri većim opterećenjima pokret traje duže čime se stvaraju uslovi za superkompenzaciju, a time i hipertrofiju. Kada se, međutim, suviše dugo primenjuje metod maksimalnih naprezanja, obično dolazi do privremenog smanjenja brzine pokreta. Novi porast brzine zapaža se tek nakon dve do šest nedelja i to pod uslovom da se u tom periodu primenjuje metod dinamičkih naprezanja.

Istraživanja su pokazala da uvećanje snage ima pozitivne efekte u smislu popravljavanja brzine prvenstveno kada se koriste vežbe sa

povećanim otporom koordinacijski analogne takmičarskim pokretima, u sličnom režimu naprežanja. Tako, na primer, podizanje maksimalne težine iz dubokog čučnja ne garantuje i povećanje snage šuta u fudbalu. Zaciorski (1975) navodi da velika mišićna sila plivača, registrovana pomoću dinamometara u aktivnostima na suvu, nije značajno povezana sa maksimalnom snagom zaveslaja u vodi, a ni sa brzinom plivanja. Kada se, međutim, na suvu vrše pokreti analogni onima u plivačkim tehnikama (razvlačenje gumenog ekspandera u ležećem položaju uz imitiranje plivačkog zaveslaja) dobija se visoka saglasnost pokazatelja snage i brzine plivanja.

Tokom usavršavanja snage značajno je odrediti najveće opterećenje pri kojem ne dolazi do bitnog narušavanja strukture takmičarskog pokreta. Time se postižu efekti istovremenog napredovanja i u brzini, ali i u tehnici izvođenja osnovnog pokreta. Tako se prilikom bacanja rukometne lopte veće težine istovremeno radi na poboljšanju tehnike, brzine i brzinske snage. Ukoliko se pretera sa težinom lopte, dolazi do narušavanja tehnike. Trenerska iskustva su pokazala da je korišćenje lopti od jednog kilograma dalo veće efekte nego trening sa težim loptama.

8.3.3. UTICAJ TEHNIKE KRETANJA NA BRZINU

Koliko tehnika kretanja može da utiče na ispoljavanje brzine kretanja najbolje se može predstaviti analizom sprinterskog trčanja. Maksimalna brzina trčanja (sprint) kao ciklična aktivnost ubraja se u prirodno lokomotorno kretanje, koje se vrši pod uticajem aktivnog mišićnog naprežanja. Ciklus u sprinterskom trčanju predstavljen je jednim dvokorakom. On se sastoji iz dvije faze:

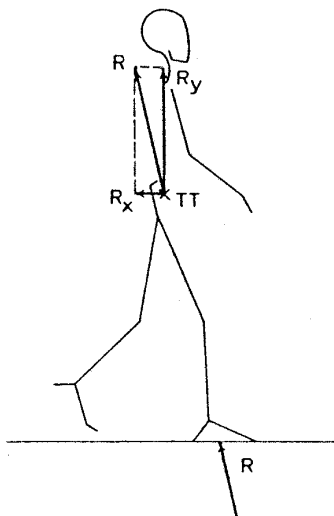
1. Faza zamaha – noga se kreće u ventralnom smjeru, stopalo je bez kontakta sa tlom.
2. Faza podupiranja, noga podupire tijelo, odnosno stopalo je u kontaktu sa tlom.

Svaka faza ima dva perioda :

- 1a. Period zadnjeg zamaha – od trenutka kada stopalo izgubi kontakt sa podlogom, do trenutka kada prođe vertikalnu određenu zglobov kuka. tj. kada stopalo "prestigne" kuk;

- 1b. Period prednjeg zamaha – od trenutka kada stopalo prestigne kuk, do trenutka kada dodirne podlogu;
- 2c. Period prednjeg podupiranja – od trenutka stupanja u kontakt stopala sa podlogom do trenutka kada se centar zgloba kuka nađe iznad centra oslonca, tj. kada kuk "prestigne" stopalo;
- 3c. Period zadnjeg podupiranja – od trenutka kada kuk prestigne stopalo do trenutka gubitka kontakta stopala sa podlogom (Jarić 1997).

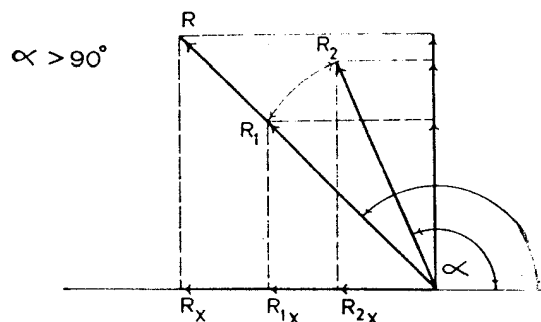
Sile koje za vreme trčanja daju telu ubrzanje, deluju samo za vreme faze oslonca, međutim i sile koje usporavaju trčanje isto deluju u fazi oslonca. Zbog toga je ključno, kako tehnički izvesti fazu kontakta sa podlogom, odnosno kako izvesti fazu zamaha da bi se postiglo najbolje moguće delovanje tokom faze oslonca. Za vreme trajanja faze prednjeg odupiranja dejstvom sile mišića odrazne noge izaziva se sila reakcije čvrste podloge. Razlaganjem sile reakcije čvrste podloge dobijamo horizontalnu komponentu koja negativno deluje na brzinu trčanja (slika 8-3).



Slika 8-3 Biomehanička analiza faze prednjeg odupiranja (preuzeto Opavsky 1998)

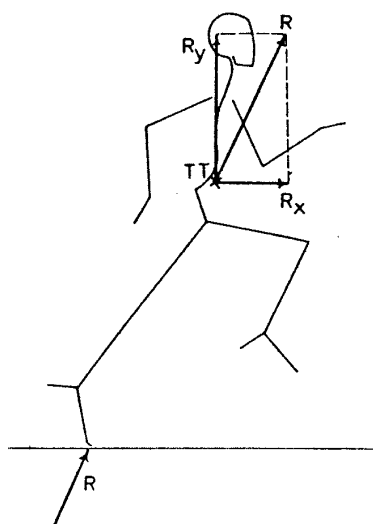
Postojanje horizontalne sile je neizbežno, tako da bi racionalizovali tehniku trčanja, i ostvarili veću brzinu, potrebno je smanjiti horizontalnu komponentu. To se postiže smanjenjem ugla α između pravca odraznog impulsa i horizontale (slika 8-4). Smanjivanje ugla se vrši tako što se

stopalo odrazne noge u trenutku prednjeg oslonca, ne postavlja daleko ispred tela nego skoro vertikalno ispod težišta (Opavsky 1998).



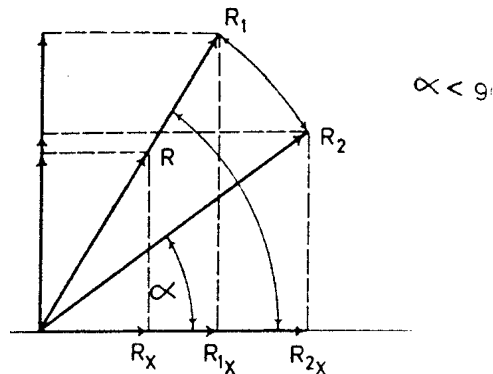
Slika 8-4 Delovanje horizontalne komponente u fazi prednjeg odupiranja (preuzeto Opavsky 1998)

Za razliku od faze prednjeg odupiranja, faza zadnjeg odupiranja je jedina faza u kojoj dejstvo mišićne sile i snage usmeravamo u što brže kretanje. U fazi zadnjeg odupiranja horizontalna komponenta sile reakcije čvrste podloge usmerena je napred i od njene veličine zavisi brzina trčanja. Prema Opavskom (1998) povećavanje horizontalne komponente postiže se na dva načina, povećavanjem reakcije čvrste podloge, odnosno povećavanjem sile odraznog impulsa, što se postiže bržim izvođenjem koncentrične kontrakcije mišića opružaća u zglobovima odrazne noge (slika 8-5).



Slika 8-5 Biomehanička analiza faze zadnjeg odupiranja (preuzeto Opavsky 1998)

Intenzitet horizontalne komponente se povećava i smanjenjem ugla α koji je zatvoren pravcem impulsa sile i horizontalom. To se postiže naginjanjem karličnog pojasa i trupa napred (slika 8-6).



Slika 8-6 Delovanje horizontalne komponente u fazi zadnjeg odupiranja (preuzeto Opavsky 1998)

Dok se jedna noga nalazi u fazi odupiranja, druga je u fazi zamaha, pri čemu rotira oko sagitalne ose koja prolazi kroz zglob kuka. Taj zamah uglavnom vrše fleksori u zglobu kuka svojom koncentričnom kontrakcijom. Da bi se ovaj pokret izveo za što kraće vreme sprinter smanjuje moment inercije noge. Fleksijom u zglobu kolena on približava težišta potkoljenice i stopala osi rotacije i moment inercije ovog kinetičkog lanca se smanjuje za dva puta. Time se prema drugom Njutnovom zakonu ugaono ubrzanje zamajne noge povećava za isti iznos i postiže se njena veća brzina, odnosno, njegovo kraće trajanje faze zamaha. Kao konačni rezultat dobija se veća brzina trčanja (Jarić 1997). Da bi se iskoristilo i dejstvo drugih mišićnih grupa zajedno sa zamajnom nogom zamah vrši i kuk zamajne noge, tako se na ekonomičan način povećava dužina koraka. Kod trčanja u toku zamaha nogom, sa suprotne strane od zamajne noge zamah vrše ruka i rame.

Mann (1998) smatra da su osnovni parametri kada se govori o ciklusu koraka: dužina koraka, frekvencija koraka, vreme leta, vreme kontakta, kriva kretanja stopala. Pri tome smatra da su krirerijumi po kojima se razlikuju vrhunski sprinteri od prosečnih: vrijeme kontakta i kriva kretanja stopala, razlika projekcije težišta tijela i spuštanja stopala na podlogu. Za poboljšanje maksimalne brzine trčanja potrebno je povećati horizontalnu brzinu, a vertikalnu i horizontalnu redukovati.

Takođe smatra da sa fiksiranim zglobovima kuka treba omogućiti brzo zabacivanje potkoljenice, što će dovesti brže koleno napred, a time i brže spuštanje stopala, kroz šibajuće, zagrebajuće pokrete.

Vrhunski takmičari se razlikuju od onih niže kategorije po sposobnosti da pokrete izvode tehnički precizno pri maksimalnoj brzini. Tako za mnoge fudbalere nižerazrednih klubova nije problem da pogode gol iz velike udaljenosti kada se kreću vrlo sporo ili pak iz mesta; takođe im nije problem da prime (uštopaju) vrlo teške lopte ili da izvedu složen dribling protiv zamišljenog protivnika. Kada se od njih, međutim, zatraži da iste elemente izvedu u kretanju velikom brzinom i uz ometanje brzih protivnika, nastaju veliki problemi – gol se promašuje, lopta beži ili se gubi u duelu. To je prvi signal nedostatka vrhunske tehnike, jer kada se uporede igrači majstori sa igračima početnicima iste brzine motorne reakcije i približno iste snage, uvek veću brzinu ostvaruju vrhunski igrači. Zbog toga se u literaturi i u trenerskoj praksi često ukazuje na zavisnost brzine kretanja od kvaliteta izvođenja sportske tehnike.

Prilikom usavršavanja tehnike kretanja maksimalnom brzinom, javlja se niz problema koji su prevashodno vezani za preciznost izvođenja. Pri velikim brzinama, naime, bitno se smanjuje mogućnost vizuelne i kinestetske kontrole pokreta. Što je pokret složeniji i kontrola je teža. Otuda mnogi treneri tehniku svojih takmičara nastoje da usavrše raščlanjavanjem na manje celine (analitički metod) ili pak sporijim izvođenjem kompletne tehnike (metod olakšavanja). Oba metoda, međutim, imaju brojne nedostatke. Kod analitičkog se javlja problem uklapanja delova u celinu, pogotovu kada se parcijalno izvođenje tehnike dugo primenjuje, pa se formiraju loši stereotipi. Osim toga, kada se pređe na brzo izvođenje tehnike u celini, sportisti imaju problema da se istovremeno usredsrede i na preciznost i na brzinu izvođenja. Sporo izvođenje celokupne tehnike se, iako po prostornim parametrima slično brzom izvođenju, značajno razlikuje po neuromuskularnim i vremenskim parametrima. Sa ciljem da se eliminišu ove negativnosti, preporučuje se sintetički metod obučavanja tehnike i to brzinama koje su bliske maksimalnim (oko 90% maksimuma), a zovu se *kontrolišuće brzine*. Na taj način se ostvaruje velika sličnost u strukturi kretanja na treningu i takmičenju, kako u pogledu prostornih, tako vremenskih i neuromuskularnih parametara.

9 SPECIFIČNA MOTORIČKA SVOJSTVA

U prethodna četiri poglavlja (5, 6, 7. i 8.) analizirane su esencijalne antropomotoričke sposobnosti sportista (sila, snaga, izdržljivost, koordinacija, gipkost, brzina...). Na nekoliko mesta je apostrofirano međusobno prožimanje ovih svojstava i ukazano na činjenicu da se esencijalna svojstva, prevashodno snaga, brzina i izdržljivost, retko susreću u „čistom“ obliku. U sportskoj praksi se, prilikom analize kretnih sadržaja, daleko više operiše specifičnim svojstvima čiji su nazivi izvedeni iz esencijalnih. Najčešće se radi o prelaznim formama nastalim kombinacijom tri osnovne antropomotoričke dimenzije: snage, brzine i izdržljivosti. Na ovom mestu analizirane su kao *specifična motorička svojstva*.

9.1. APSOLUTNA, EKSPLOZIVNA I BRZINSKA SNAGA

Prilikom analize sile i snage (5. poglavlje) rečeno je da sila (*force*, *strength*) predstavlja izraz unutrašnje sposobnost mišića da ostvari izvesnu napetost (jačinu), dok je snaga (*power*) manifestacija te jačine u odnosu na spoljašnji otpor, iskazana uvek u funkciji vremena. Drugim rečima, snaga se vezivala za realizaciju izvesne sile tokom određenog vremena (F-t relacija), pa je snaga definisana kao proizvod sile i brzine kontrakcije kojom se realizuje. Čisto matematički govoreći, sila je obrnuto proporcionalna brzini, a snaga je direktno proporcionalna i sili i brzini. U mehaničkom smislu, to praktično znači da je sila najveća kada

je brzina jednaka nuli, odnosno u uslovima izometrijske kontrakcije. Otuda je maksimalna sila ostvorena u uslovima izometrijske ili vrlo spore kontrakcije označena kao *apsolutna snaga*. Pri tome se izometrijskim ne smatra samo ono naprezanje mišića u kojem je brzina jednaka nuli, već i kvaziizometrijska kontrakcija kojom se u novijim istraživanjima (Komi i sar., 1992; Verhošanski, 1992) nazivaju spori pokreti tokom kojih mišići ispoljavaju silu između blisku maksimalnoj (između 85 i 100% maksimalne izometrijske sile). U svim preostalim slučajevima, kada se savladava otpor manji od 85% (po strožijem kriterijumu 90%) maksimalne izometrijske sile, ispoljava se *snaga*.

Glavna determinanta sile ostvorene dinamičkom kontrakcijom je veličina spoljašnjeg otpora. Što je spoljašnji otpor manji, moguće je postizanje veće brzine kontrakcije. Kada je otpor vrlo mali, kao na primer prilikom bacanja koplja, postiže se najveća brzina, pa se u takvom režimu mišićnog naprezanja govori o *brzinskoj snazi*. Po istoj analogiji se zaključuje da povećanje spoljašnjeg otpora usporava kontrakciju, kao na primer prilikom bacanja kugle. U takvim slučajevima, kada se manjom brzinom savladava veći spoljašnji otpor, po sredi je *eksplozivna snaga*. Polazeći od pomenutog odnosa veličine spoljašnjeg otpora i brzine kojom se savladava, Verhošanski i sar. (1992) eksplozivnu snagu označavaju i kao *eksplozivno izometrijski tip mišićnog naprezanja* ukazujući time na dominaciju sile, a brzinsku snagu kao *eksplozivno balistički tip mišićnog naprezanja* čime su ukazali na dominantan značaj brzine. Prema tome, brzinska i eksplozivna snaga mogu imati iste numeričke vrednosti (iskazane vatima – W), ali odnos realizovane sile i brzine kontrakcije pri tome je sasvim različit. Bez obzira na veličinu spoljašnjeg otpora, tokom ispoljavanja i brzinske i eksplozivne snage sportista nastoji da pokret izvede što brže. Otuda je u praksi teško precizno odrediti granicu između ova dva miogena svojstva. Tipičan primer su kretni zadaci skok udalj iz mesta i troskok iz mesta. Dok u skoku udalj dominira brzinska, dotle je u troskoku više zastupljena eksplozivna snaga. Prema spoljnjim manifestacijama, oba kretna zadatka deluju kao pokreti maksimalne brzine, ali kada je na tenziometrijskoj platformi izmerena sila ispoljena tokom sunožnog odskoka, pokazalo se da je ona značajno manja od sile izmerene tokom drugog i trećeg skoka u zadatku troskok. Osim po veličini, realizovane sile su se razlikovale i po vremenu potrebnom za dostizanje maksimuma (pik sile). Većina ispitanika u testu troskok, pik sile ostvaruje za gotovo duplo duže vreme nego u klasičnom skoku udalj iz

mesta. Aktivna faza mišićnog naprezanja prilikom skoka udalj, naime, prosečno traje oko 100, a u troskoku 200 ms. Razlog tolikog produženja aktivne faze je veliko povećanje spoljašnjeg otpora izazvanog masom sopstvenog tela koje se, nakon prvog skoka, spušta na tlo uz kontrolisanu amortizaciju ostvarenu na račun pliometrijskog režima rada mišića. Zbog toga se u preciznim laboratorijskim merenjima koja koriste platformu sile, kao pouzdaniji podatak za razgraničenje brzinske i eksplozivne snage uzima vreme realizacije sile, a ne njena veličina.

Drugi način razgraničenja brzinske i eksplozivne snage, značajan za doziranje vežbi snage (naročito u teretani), sprovodi se na osnovu veličine spoljašnjeg otpora. Laboratorijska merenja su pokazala da napreznjima u zoni eksplozivne snage odgovara otpor manji od 90% (po nekim autorima 85%), a veći od 70% maksimalne izometrijske sile. Brzinska snaga, po toj logici, prisutna je u pokretima kojima se savladava spoljašnji otpor manji od 70%, ali i veći od 45% maksimalne izometrijske sile. Primera radi, ukoliko u vežbi ležeći potisak sa klupe (popularni *benč-pres*) maksimalni rezultat (maksimalna apsolutna snaga) iznosi 100 kg, onda se eksplozivna snaga ispoljava prilikom podizanja tega između 70 i 90 kg, a brzinska snaga u radu sa težinama između 45 i 70 kg.

Brzinska i eksplozivna snaga od velikog su značaja u većini sporova. Dok u dizanju tegova (trzaju i izbačaju), bacanju teških sprava, rvanju, džudou, većini gimnastičkih elemenata, eksplozivna snaga ima presudan značaj, dotle u većini sportskih igara (fudbalu, rukometu, košarci, odbojci), bacanju koplja i diska, zatim tenisu i sličnim kretnjama, glavno mesto zauzima brzinska snaga. To, naravno, ne znači da se u svim nabrojanim sportovima ne razvijaju oba vida snage. Naprotiv, metode i sredstva treninga za razvoj brzinske i eksplozivne snage veoma su slični i u praksi se nikada ne razdvajaju. Zbog visoke korespondentnosti, brzinska i eksplozivna snaga se u praksi označavaju zajedničkim imenima kao što su: *dinamička snaga* ili *eksplozivni režim naprezanja* (Verhošanski i sar., 1992).

Na realizaciju pokreta zasnovanih na dinamičkoj snazi, pored apsolutne snage (maksimalne sile) i apsolutne brzine (neopterećene brzine), značajan uticaj imaju još dva relativno nezavisna motorička svojstva: *startna snaga* i *ubrzavajuća snaga*. Pod startnom se podrazumeva sposobnost mišića za brzi razvoj radnog napora u početku naprezanja, a pod ubrzavajućom snagom sposobnost mišića za brzi prirast radnog napora tokom kontrakcije. Istraživanja su pokazala da startna i

ubrzavajuća snaga nisu značajno povezane, ali da obe dosta zavise od apsolutne snage. Pri dinamičkom naprezanju kojim se savladava spoljašnji otpor ekvivalentan vrednosti od 20-40% apsolutne snage, dominantnu ulogu ima startna snaga, dok sa povećanjem otpora njen značaj vidno opada. Tako pri savladavanju otpora ekvivalentnog vrednosti od 60-80% apsolutne snage, tokom čitave amplitude pokreta, presudnu ulogu ima ubrzavajuća snaga.

Odnos apsolutne snage (maksimalne sile) i maksimalne eksplozivne snage (P_{Max}) značajniji je ukoliko je spoljašnji otpor veći. Slično važi i za apsolutnu brzinu. U slučajevima kada se savladava otpor manji od 40% maksimuma, uticaj apsolutne snage na brzinu radnog pokreta gotovo je zanemarljiv. Međutim, kada spoljašnji otpor dostigne 60% maksimalne sile, apsolutna snaga pokazuje gotovo linearnu zavisnost.

Interesantno je sagledati i odnos između apsolutne brzine i startne snage ostvarene u pokretima zasićenim brzinskom snagom. Nađeno je, naime, da apsolutna brzina značajno utiče na brzinsku snagu samo kada se pokretom deluje protiv otpora manjeg od 20% maksimalne sile. Čim spoljašnji otpor pređe taj limit i nastavi da se povećava, značaj apsolutne brzine postaje sve manji, tako da se u radu protiv iole većeg otpora ona može smatrati zanemarljivim činiocem snage.

Radni efekat sportskog pokreta izvedenog u dinamičkom režimu graničnim voljnim naprezanjem, determinišu kvalitativno specifične sposobnosti: apsolutna snaga, startna snaga, ubrzavajuća snaga mišića i apsolutna brzina njihove kontrakcije. Te sposobnosti, u određenom stepenu, poseduje svaki čovek. Istraživanja pokazuju da se struktura brzinsko-snažnih sposobnosti, izgleda, ne menja pod uticajem sistematskog treninga. Sposobnost sportiste da ispoljava veliku brzinsku i eksplozivnu snagu najviše zavisi od strukture mišića, tj. od dominantnog tipa mišićnih vlakana u njima. Budući da takva naprezanja zahtevaju veliko angažovanje nervnog sistema i intenzivno pražnjenje motornih neurona, logično je da su za ispoljavanje eksplozivne i brzinske snage sposobnija brza (FT) vlakna. Njihove fiziološke i biohemijske karakteristike određuju, između ostalog, i zastupljenost startne i ubrzavajuće snage u ukupnoj strukturi pokreta zasićenih brzinsko-snažnim potencijalima.

Budući da je eksplozivna snaga prisutna isključivo u radu visokog intenziteta koji ne traje dugo, jasno je da su njeno energetske uporište

anaerobni mehanizmi, prvenstveno fosfageni. Rad na povećanju eksplozivne i brzinske snage otuda se uvek bazira na usavršavanju fosfagenskih mehanizama i povećanju koncentracije ATP-a i CP-a u aktivnim mišićima.

9.2. IZDRŽLJIVOST U SNAZI

Izdržljivost u snazi (često označena i kao snažna izdržljivost) je specifičan oblik ispoljavanja snage u uslovima koji zahtevaju relativno dugo mišićno naprezanje bez smanjenja radne efikasnosti. Drugim rečima, ovo fizičko svojstvo vezuje se za dugotrajno ispoljavanje snage. Budući da se izdržljivost u snazi vezuje za aktivnosti koje neprekidno traju nekad i duže od deset minuta, logično je da se tom prilikom savladava otpor koji je daleko ispod vrednosti submaksimalne i velike sile mišića. Takvi sportovi su, na primer, veslanje, plivanje, trčanje na distancama dužim od 1500 m, biciklizam i sl.

Izdržljivost u snazi je kompleksna motorička sposobnost i ispoljava se u dva osnovna oblika: *dinamičkom* i *statičkom*. Dinamička snažna izdržljivost susreće se prvenstveno u tipičnim cikličnim sportovima (trčanju, plivanju, veslanju, vožnji bicikla), dok je znatno manje zastupljena u acikličnim sportovima (fudbalu, košarci, tenisu, boksu, rvanju...). Statički oblik izdržljivosti u snazi susreće se u sportovima kada je potrebno u dužem vremenskom periodu zadržati određeni položaj (na primer, tehnike držanja u džudou) ili pak očuvati određenu takmičarsku pozu (u brzom klizanju, streljaštvu, gimnastici).

Radi precizne analize, izdržljivost u snazi je neophodno razmotriti sa dva ključna aspekta: miogenog i energogenog. Prvi aspekt podrazumeva uticaj maksimalne sile mišića na savladavanje spoljašnjeg otpora u dužem vremenskom periodu. Nađeno je naime, da prilikom savladavanja istog spoljašnjeg otpora, veću snažnu izdržljivost imaju sportisti koji su u stanju da razviju i veću silu. Drugim rečima, sa povećanjem jačine mišića moguće je produžiti rad protiv spoljašnjeg otpora bez pada efikasnosti. Imajući na umu pozitivnu vezu između sile i izdržljivosti u snazi neophodno je, prilikom testiranja sportista, svakom pojedincu prilagoditi veličinu otpora. U istraživačkoj praksi najčešće se koriste opterećenja ekvivalentna vrednosti 40-50% apsolutne snage (maksimalni rezultat za aktuelni mišić i ostvaren u specifičnom položaju).

Što se tiče energogenog aspekta izdržljivosti u snazi, energija za mišićni rad u ovom režimu se obezbeđuje prevashodno iz aerobne glikolize. Prilikom ispoljavanja izdržljivosti u snazi, naime, moguće je ostvariti stabilno stanje, tj. tokom rada može se zadovoljiti sva potreba mišića za kiseonikom. Razlog za to je što mišić radi u uslovima umerenog intenziteta, pri čemu aktivnost traje dovoljno dugo da bi aerobna razgradnja glikogena dostigla svoj maksimum. Prema tome, za sportove u kojima dominira izdržljivost u snazi (veslanje, plivanje, biciklizam, atletske trčanje na srednjim stazama) karakteristična je velika kiseonička potrošnja. Kod takmičara u ovim sportovima izmerene su i najveće vrednosti kiseoničkog duga, čije prisustvo se objašnjava čestim povećanjem intenziteta rada tokom takmičarske aktivnosti, pogotovo u finišu trke. Tom prilikom intenzitet rada se značajno približava maksimalnim vrednostima što prouzrokuje visoku aktivnost anaerobne glikolize. Kada je aktivnost praćena visokim kiseoničkim dugom, izdržljivost u snazi je od presudnog značaja za rezultat.

Testiranje izdržljivosti u snazi namenjena su dva tipa kretnih zadataka. Prvi tip zasniva se na repetitivnom mišićnom naprezanju i namenjen je proceni dinamičkog vida izdržljivosti u snazi. Sa druge pak strane, za procenu statičke snažne izdržljivosti preminuju se kretni zadaci zasnovani na ispoljavanju izometrijskog mišićnog potencijala. U njima se od ispitanika zahteva da izvesno vreme zadrže zadati položaj, najčešće do promene ugla u zglobovima u kojem deluje aktuelna mišićna grupa. Tako se prilikom izdržaja u polučučanju sa opterećenjem, posmatra ugao koji zaklapaju nadkolenica i potkolenica. Od ispitanika se traži da tokom testa nepekidno održava ugao od 90°, a sa merenjem se prekida onog trenutka kada se zadati ugao bitnije promeni.

9.3. BRZINSKA IZDRŽLJIVOST

Već iz naziva se može zaključiti da je brzinska izdržljivost sposobnost sportiste da što duže održi potrebnu brzinu kretanja. Pri tome je važno naglasiti da se ova specifična antropomotorička dimenzija prevashodno susreće u cikličnim pokretima, tj. aktivnostima u kojima se brzina manifestuje kroz frekvenciju pokreta. Tipična lokomotorna aktivnosti, kroz koju se brzinska izdržljivost posmatra je produženi atletske sprint (trčanje na deonicama između 200 i 400 m). Važno je

naglasiti da se u tim disciplinama uvek radi o brzinama bliskim maksimalnoj, budući da se maksimalna brzina trčanja može održavati svega 70-90 m (ne zato što je limitirana energetske rezervama mišića, već smanjenjem kontraktilnih sposobnosti usled nagomilavanja metabolita proizvedenih u čistom anaerobnom radu). Brzinska izdržljivost, dakle, dominantno se tretira kao antropomotoričko svojstvo sa energogenim izlazom.

Na početku odeljka posvećenog brzini, analizirane su njene oscilacije tokom trke na 100 m. Tom prilikom je naznačeno da u poslednjim metrima i kod najkvalitetnijih sprintera dolazi do pada maksimalne brzine. Prema tome, već u tipičnim sprinterskim disciplinama javljaju se i elementi izdržljivosti. Otuda se trčanje na 100 m ne može koristiti kao test brzine, naročito kod slabije treniranih osoba. Opadanje brzine događa se kao objektivna posledica metaboličkih promena u mišićima, a ne kao pad voljnog momenta. Takmičar, naprotiv, tokom čitave trke daje sve od sebe nastojeći da se svakog trenutka kreće najbrže što može. Analizira li se trk geparda, najbrže životinje na svetu, uočava se da on svoju maksimalnu brzinu (oko 110 km/h) može da zadrži svega nekoliko sekundi, koliko mu je potrebno da stigne žrtvu. Ne uspe li da za tako kratko vreme savlada svoj plen, narednih nekoliko sati ostaće gladan.

Brzinska izdržljivost karakteristična je za aktivnosti maksimalnog i submaksimalnog intenziteta koje traju od 20 sekundi do jednog minuta. Sudeći po uslovima u kojima se odvijaju, energetske podršku nalaze u glikolitičkim mehanizmima, naročito onim laktacidnog karaktera u kojima se stvara mnogo mlečne kiseline. Sposobnost za ispoljavanje brzinske izdržljivosti, s jedne strane je vezana za količinu raspoloživog glikogena, a sa druge za puferske sisteme usmerene ka očuvanju acido-bazne ravnoteže. Kod vrhunski treniranih sportista, energetske faktori retko kad limitiraju brzinsku izdržljivost, već je ona prvenstveno ograničena inhibitornim dejstvom nagomilanih metabolita u krvi i aktivnim mišićima. Zbog navedenih biohemijskih determinanti, brzinska izdržljivost pokazuje visoku korespondentnost sa anaerobnim tipom izdržljivosti.

U treningu za razvoj brzinske izdržljivosti uglavnom se koristi intervalni rad submaksimalnog intenziteta sa distancama koje traju između 20 i 60 sekundi i pauzama kraćim od onih koje se primenjuju u treningu brzine. Dok tokom intervalnog rada na razvoju brzine pauze

moraju da budu dovoljno duge da bi omogućile potpuni oporavak mišića, dotle je cilj pauza kod treningu brzinske izdržljivosti da sportista u svaki naredni interval rada uđe sa većom koncentracijom laktata, ali ne toliko velikom da budu blokirani kontraktilni mehanizmi pre završetka treninga.

10 TRENAŽNI STIMULUSI I METABOLIZAM MIŠIĆA

Razlike između fizičkih svojstava treniranih i netreniranih osoba odavno su uočene. One se ispoljavaju, pre svega, u pogledu tri esencijalne antropomotoričke dimenzije: snazi, brzini i izdržljivosti. Uzroci kojima se objašnjavaju ove razlike nalaze se u specifičnom trenažnom tretmanu koji uslovljava značajne strukturalne promene na ćelijskom nivou. Specifičnosti tih promena determinisane su karakterom treninga, tj. izborom adekvatnih oblika aktivnosti, a jednim delom i tipom mišićnih vlakana koja su uključena u vežbanje (Holloszy i Booth, 1976). Na taj način se mišićna vlakna, pod uticajem različitih stimulusa, adaptiraju na nametnute okolnosti. Jedan tip adaptacije manifestuje se zadebljanjem mišićnih vlakana (povećanjem njihovog poprečnog preseka, *hipertrofijom*) i shodno tome povećanjem sile i snage mišića, dok se drugi ispoljava povećanjem kapaciteta aerobnog metabolizma, što vodi ka većoj izdržljivosti.

Za promene u sastavu i strukturi mišićnih vlakana, kao i aktivnosti specifičnih enzima, potrebno je veoma dugotrajno vežbanje. Iako su sve promene veoma korespondentne (što znači da je rad na poboljšanju snage uticao na povećanje brzine, a rad na poboljšanju brzine delovao i u smislu popravljavanja izdržljivosti), ipak je bolje objašnjavati ih zasebno budući da svaka ima svoje specifičnosti koje je izdvajaju u odnosu na druge. Najveći broj ovde iznetih podataka odnosi se na skeletnu muskulaturu čoveka, iako je nesumnjivo do sada više eksperimenata obavljeno na opitnim životinjama. Teškoće u radu sa ljudima se posebno odnose na analizu promena različitih tipova mišićnih vlakana, s obzirom na činjenicu da se krajnje egzaktno informacije mogu dobiti jedino biopsijom koja se, kao invazivna metoda, ipak ređe primenjuje na

ljudima. Osim toga, analize su pokazale da su vlakna različitih tipova u skeletnim mišićima čoveka više izmešana nego u mišićima životinja koje su najčešće bile meta istraživača (pacov, zamorac, miš, mačka, zec). Biopsiju na mišićima čoveka prvi su uradili Bergstrom i Haltman (1967) i ona je, do sada, najviše rađena na lateralnoj glavi četvoroglavog mišića buta (m. vastus lateralis), a zatim na m. gastrocnemius-u, m. deltoideus-u i m. triceps brachii-u.

10.1. EFEKTI STIMULUSA ZA POVEĆANJE SILE I SNAGE

Sila i snaga su do sada najviše proučavana fizička svojstvo čoveka. Najjednostavnije se definišu kao sposobnost savladavanja ili suprostavljanja spoljašnjem otporu pomoću mišićnog naprezanja. Kada se od nekog mišića zahteva da radi većim intenzitetom od onog na koji je navikao, što se u treningu zove *principom nadopterećenja*, dolazi do dobro poznate pojave označene kao *hipertrofija*, odnosno dolazi do povećanja poprečnog preseka mišićnih vlakana. Kako je površina poprečnog preseka direktno proporcionalna sili koju mišićno vlakno ispoljava, logično je da hipertrofiju uvek prati povećanje mišićne sile. Marpurgo je prvi (još 1897. godine) dokazao da je hipertrofija posledica zadebljanja mišićnih vlakana, a ne rezultat povećanja njihovog broja. Istina, postoje radovi (Goldspink, 1970 i 1974; Goldspink i sar., 1976; Todorović i Brdarić, 1982; McDougall, 1992) koji ukazuju na izvesno longitudinalno tenziogeno deljenje mišićnih vlakana. Ova uzdužna deoba (*longitudinal splitting*), međutim, konstatovana na mišićima životinja, ipak ne predstavlja apsolutno uvećanje broja vlakana u mišiću, odnosno, to nije klasična hiperplazija. Iako se za hipertrofiju, kao posledicu treninga za silu i snagu, odavno zna, odgovor na pitanje kako tačno izgleda mehanizam po kome se ona odigrava istraživači su uspeali da daju tek sredinom osme decenije dvadesetog veka (Gollnick i sar., 1972; DeVris, 1976; Seiden, 1976; Thorstensson, 1976a i 1976b, Jakovljević, 1979). Ispitivanja na životinjama pokazala su da je hipertrofija praćena višestrukim povećanjem miofibrila, kako po debljini, tako i po broju. To povećanje praktično je posledica ukupnog porasta proteina u aktivnim mišićima. Veća produkcija proteina objašnjava se

proporcionalnim uvećanjem sarkoplazme, miofilamenata i mitohondrija. Dok se miofilamenti (aktin i miozin) povećavaju samo po broju, dotle se mitohondrije povećavaju i po broju i po veličini (masi).

Osnovni znak bilo kog živog sistema je neprekidni proces razgradnje i sinteze proteinskih jedinjenja. Sinteza proteina zahteva velike količine enregije koja se obezbeđuje razlaganjem fosfatnih jedinjenja. Prilikom razdraženja mišićnog vlakna, međutim, energija se prvenstveno troši za realizovanje mehaničkog dela kontrakcije (pokretanje miofilamenata), pa je brza sinteza proteina gotovo nemoguća. Tada dolazi do konkurencije u korišćenju energije ATP-a između funkcionalne delatnosti mišića s jedne i plastičnog metabolizma s druge strane. Ukoliko tokom kratkotrajnog visokointenzivnog rada kiseonička potreba prevazilazi unos kiseonika, resinteza razgrađenog ATP-a vrši se prevashodno na račun energetske malo efikasnog anaerobnog fosforilisanja. Pri tome se, pre svega sa pojačanjem glikolize, ubrzava i razgradnja proteina, a zatim se, usled male efikasnosti glikolize, smanjuje količina ATP-a u aktivnim mišićima, što energetske uslove za plastični metabolizam čini veoma nepovoljnim. Prioritetno korišćenje ATP-a za energetske obezbeđenje mišićne kontrakcije značajno inhibira anaboličke (graditeljske) procese u mišiću, zbog čega razgradnja (katabolizam) proteina preovladava nad njihovom sintezom (anabolizmom). Krajnji rezultat tih procesa je smanjenje proteina u aktivnim mišićima, što se prevashodno ispoljava smanjenjem količine proteinskog i opšteg azota (Jakovljević, 1979).

Smanjenje proteinskih jedinjenja u aktivnim mišićima, u periodu oporavka zahteva obnavljanje, odnosno, pojačanu sintezu proteina. U mišićnom metabolizmu, dakle, dolazi do obnavljanja razgrađenih proteina i, što je još značajnije, do viška obnavljanja. Praktično, nakon mišićnog naprezanja visokog intenziteta, koje je uz to dovoljno dugo trajalo, uvećava se količina proteina u aktivnim mišićima i neznatno premašuje onu pre treninga. Ova pojava, označena kao *superkompensacija*, dovodi do povećanja mišićne mase. Superkompensacija proteinskog azota u mišićima u periodu oporavka, toliko je izraženija ukoliko je smanjenje pri radu bilo veće (Koc, 1982; Komi, 1992; Verhošanski, 1991; Platonov, 1984; Zaciorski, 1975). Dugotrajni rad malog intenziteta ne izaziva značajne promene u količini proteina i ne prati ga superkompensacija u periodu oporavka. Očigledno

je da glavni stimulus za uvećanje mišićne mase i poprečnog preseka mišićnog vlakna, predstavlja rad visokog intenziteta.

Tip aktivnosti mišića je osnovna determinanta strukturalnih promena na ćelijskom nivou. Hipertrofija je, kako navodi DeVris (1980), javlja čak i uprkos gladovanju, što se verovatno događa na račun gubitka mase u drugim, neaktivnim, mišićima. Ono što je veoma značajno, kada je u pitanju hipertrofija, je trofički uticaj centralnog nervnog sistema koji se ispoljava kroz poznatu maksimu da funkcija razvija organ. Rađeni su, naime, eksperimenti u kojima je kod pacova hirurški odstranjen glavni plantarni fleksor, m. gastrocnemius. Tada je najveći deo opterećenja preuzeo m. soleus i nađeno je da je u roku od šest dana hipertrofirao za 40%. Samo osam sati nakon hirurškog zahvata uočeno je značajno ubrzanje sinteze proteina, a već nakon prvog sata povećao se aktivni transport izvesnih amino kiselina (DeVris, 1980).

Hiperetrofija je kod pacova uočena i nakon odstranjenja hipofize, dakle, nezavisno od uticaja somatotropnog hormona. Uočene promene, međutim, ne mogu se direktno preneti i na funkcionisanje endokrinomuskularnog sistema čoveka, usled vrlo specifične uloge hipotalamičkopituitarne osovine.

Neka istraživanja (prema Komi i sar., 1992) ukazala su i na promenu gustine mitohondrija u miofibrilima. U ogledu sa šest dizača tegova vršena je biopsija pre i šest meseci nakon treninga. Rezultati dobijeni uzimanjem uzorka iz opružača u zglobu lakta (m. triceps brachii) ukazivali su na značajno smanjenje gustine mitohondrija (oko 26%); smanjenje od oko 25% zapreminskog odnosa mitohondrija i miofibrila i povećanje gustine sarkoplazme od oko 12%. Površina poprečnog preseka vlakana, u istom eksperimentu, povećala se za 39% kod FT vlakana i 31% kod ST vlakana, što znači da je trening sa tegovima doveo do relativnog smanjenja gustine mitohondrija zbog povećanja miofibrila i volumena citoplazme.

Zanimljivi su i podaci koji govore o odnosu istezanja mišića i hemijskih procesa u njima. Tako DeVris (1980) navodi kako je aktivno istezanje mišića pacova dovelo do usporenja razlaganja proteina i stimulacije aktivnog transporta amino kiselina. Ovaj podatak značajan je za fizikalnu terapiju, jer pokazuje da se istezanjem mišića može uticati na smanjenje atrofije kod sportista imobilisanih gipsom. Prema tome, povećanje napetosti u mišiću, bilo aktivno ili pasivno, predstavlja značajan stimulus koji utiče na bilans metabolizma proteina.

Hipertrofija, kao i sve ostale hemijske promene skeletnih mišića, nije stalna, već prolazna pojava. Ukoliko mišić ne održava redovno svoju aktivnost, dolazi do atrofije i smanjenja energetske potencijala. U jednom ogledu sa devetoricom studenata, DeVris (1980) je izvršio biopsiju m. triceps brachii pre i pet meseci posle treninga sa tegovima, kao i nakon pet nedelja imobilizacije. Izmereno je povećanje obima nadlaktice za oko 11% i povećanje sile ostvarene ekstenzijom u zglobu lakta od 20%. Ove promene pratilo je značajno povećanje ATP-a (za 18%) i CP-a (za 22%). Imobilizacija je najviše traga ostavila na koncentraciju CP-a smanjivši ga za oko 25%.

Struktura mišića, tj. tipovi mišićnih vlakna, takođe se pokazala značajnom determinantom za hipertrofiju. Komi i sar. (1977), proučavajući anaerobni kapacitet 89 sportista, utvrdili su da uspeh u eksplozivnim napreznjima (na primer skokovima) u osnovi zavisi od sastava mišića. Korelacija između vertikalne brzine (merene brzinom trčanja uz stepenice) i procenta brzih vlakana pokazala se statistički značajnom.

10.2. EFEKTI STIMULUSA ZA POVEĆANJE BRZINE

Brzina se vezuje za sposobnost sportiste da neki pokret izvede za najkraće vreme, pri čemu kretanje ne sme da traje suviše dugo i ne bi trebalo da provocira veliki zamor. Brzina je antropomotoričko svojstvo koje je najviše uslovljeno genetskim nasleđem i na čije poboljšanje je najteže delovati treningom. Osim toga, kompleksnost brzinskih manifestacija dodatno komplikuje precizno definisanje stimulusa i promena koje se dešavaju na ćelijskom nivou.

Jakovljević i Makarova (1980) navode da trening usmeren ka popravljanju brzine dovodi do skraćivanja hronaksije, povećanja razdražljivosti i labilnosti mišića, te povećanja brzine kontrakcije. Ispitivanjem mišića zamoraca izloženih treningu brzine, Bernard (1970) je konstatovao napredak u pogledu kontraktilnih svojstava i to: vremena kontrakcije, poluvremena opuštanja i maksimalne brzine razvoja napetosti. Izgleda da su to i suštinske promene karakteristične za trening brzine budući da proveravanjem adaptibilnosti mišićnih vlakana

eksperimentalnih životinja na trenažne modele trugog tipa, prvenstveno onog za izdržljivost, nisu nađene niti navedene neke slične promene.

Posmatrano sa biohemijskog aspekta, brzinska svojstva zavise od količine ATP-a u mišićima i brzine njegove razgradnje pod dejstvom nervnih impulsa, a istovremeno i od brzine njegove resinteze. Uopšte, sve promene u strukturi mišićnog vlakna, očigledno su usmerene ka ubrzavanju metaboličkih procesa. Tako se u mišićnim vlaknima treniranim u smislu brzine redovno zapaža povećanje mase glikolitičkih enzima, fosfofruktokinaze i heksokinaze, čijom aktivnošću započinje anaerobna razgradnja glikogena, (Jakovljević, 1979).

Budući da su brzi pokreti kratkotrajni, resinteza ATP-a se ostvaruje skoro isključivo na račun anaerobnih mehanizama – fosfokreatinskog i glikolitičkog. Kod aktivnosti kao što su trčanje na 100 i 200 m ili plivanje na 25 i 50 m, udeo anaerobnih izvora energije koji podržavaju mišićnu aktivnost prelazi 90% (Koc, 1982). Otuda se, kao osnovna promena u strukturi mišićnog vlakna treniranog u cilju povećanja brzine, zapaža povećanje koncentracije fosfagena (Zaciorski, 1975).

Kako navodi DeVris (1980), grupa fiziologa upoređivala je, u eksperimentu sa pacovima, dejstvo treninga sprintom i dugotrajnom aktivnošću. Tom prilikom nađene su slične enzimske adaptacije u oba režima treninga. Posle treninga sprintom nije nađeno bilo kakvo povećanje glikolitičkih enzima, pa se može pretpostaviti da je postojeći glikolitički kapacitet bio dovoljan da pokrije energetske potrebe čak i kod veoma velikih napora. Neočekivano je u mitohondrijama nađeno povećanje oksidativnih enzima kao odgovor na trening sprintom, isto kao i na trening za izdržljivost. U drugom istraživanju Golnick i sar. (1973) su pet meseci trenirali šest mladih muškaraca, četiri puta nedeljno po jedan sat dnevno, sa opterećenjem od 75-90% od maksimalnog, što se može smatrati treningom za izdržljivost. I tom prilikom su dobijeni neočekivani rezultati. Naime, svaki dugotrajan trening koji se može izdržati trebalo bi da utiče pretežno na aerobne mehanizme, dok su Golnick i saradnici našli udvostručenje aktivnosti fosfofruktokinaze i sukcinodehidrogenaze. Kako je fosfofruktokinaza enzim za koji se smatra da najbolje izražava glikolitički kapacitet, ovi rezultati upućuju na pomisao da se anaerobni kapacitet značajno uveća čak i kod ljudi kod kojih je stimulus tokom vežbanja bio aerobnog karaktera. Interesantno je da je u ovom istraživanju zabeležen porast oksidativnog kapaciteta i u sporim (ST) i u

brzim (FT) mišićnim vlaknima, dok se glikolitički kapacitet povećao samo u brzim vlaknima.

Sve navedene promene nisu dovoljne da bi se u potpunosti objasnio uticaj brzinskog treninga na strukturu mišićnog vlakna. One se, manje ili više, susreću i prilikom vežbanja usmerenog na poboljšanje svih ostalih fizičkih svojstava. Smatra se, na primer, da porast fosfagena ustvari ne utiče mnogo na povećanje brzine pokreta, već da je prevashodno značajan za poboljšanje brzinske snage i brzinske izdržljivosti (Zaciorski, 1975; Stefanović, 1993). Jakovljević (1979) navodi da su brzinska i brzinsko-snažna opterećenja najpolivalentnija s obzirom na to da izazivaju biohemijske promene koje su suština razvoja ne samo brzine, nego i snage i izdržljivosti.

Brzina najviše zavisi od nasledne osnove sportiste i na nju se ne može izolovano delovati treningom. U prilog tome govori i činjenica da je vreme kontrakcije mišićnih vlakana najviše uslovljeno tipom motornog neurona koji ih inervišu, a ovaj je opet determinisan genotipom. Garnet je (prema Koc-u, 1982), mereći vreme kontrakcije vlakana m. gastrocnemius medialis-a, našao da su FOG vlakna bila najbrža (izmereno je vreme kontrakcije od 64,5 ms), a SO (ST) vlakna najsporija (vreme kontrakcije iznosilo je 94,3 ms). Istraživanja Enoke 1994; Komi i sar., 1992 i Lecelter, 1975 pokazuju da najveći uticaj na porast brzine ima priraštaj snage aktuelne muskulature, pa je formirano mišljenje da se na brzinu može uticati indirektno, transferom srodnih motoričkih obeležja, prvenstveno eksplozivne i brzinske snage. Glavni stimulusi za povećanje brzine su brzi pokreti kojima se savladava izvestan otpor (mali i srednji, po nekad i veliki). Njima se deluje samo na skraćivanje vremena kontrakcije, dok latentno vreme pokreta (psihološko vreme refrakcije) ostaje nepromenjeno. Iako se teoretski, latentno vreme kontrakcije ne može skratiti budući da isključivo zavisi od svojstava motornog neurona, u literaturi se, po nekad, preporučuju metode za razbijanje izvesne brzinske barijere. Radi se o specifičnim aktivnostima koje se izvode u olakšanim uslovima (trčanje nizbrdo, vučenje automobilom, trčanje na tredmilu, trčanje uz pomoć brzih ritmičkih zvukova) za koje Stefanović (1979) i Zaciorski (1975) navode da su imali izvesne efekte na popravljivanje brzine trčanja, ali tek nakon iscrpljivanja rezervi u prostoru specifične snage. Njihova pretpostavka je da su promene nastale usled većeg razdraženja na neuromuskularnim sinapsama.

10.3. EFEKTI STIMULUSA ZA POVEĆANJE IZDRŽLJIVOSTI

Izdržljivost predstavlja sposobnost da se neka aktivnost obavlja u dužem vremenskom intervalu, bez smanjenja efikasnosti. Dužina trajanja aktivnosti umnogome je determinisana intenzitetom i karakterom rada, pa otuda ispoljavanje izdržljivost ne zavisi uvek od istog mehanizma.

Analize treninga usmerenog na povećanje izdržljivosti pokazuju da u biohemijskom smislu on povećava sposobnost mišića za oksidaciju piruvata i masnih kiselina dugog lanca (DeVris, 1980; Shephard i Astrand, 1992). Na bazi ovih promena raste kapacitet mišićne ćelije za sintezu ATP-a, što je rezultat povećanja i broja i dimenzija mitohondrija. Uvećanje mitohondrija uzrokovano je porastom proteinske mase u njima. Radi se zapravo o povećanju broja i mase enzima koji su po svom hemijskom sastavu tipična proteinska jedinjenja. Naročito se povećava aktivnost enzima za oksidativnu resintezu ATP-a, pre svega: opšte dehidrogenaze, dehidrogenaze Krebsovog ciklusa, laktatdehidrogenaze, sukcinodehidrogenaze, glicerfosfatdehidrogenaze, nikotinamidnukleotid dehidrogenaze, glicerfosfatoksidaze i katalaze (Jakovljević, 1979). Osim toga, u nekim istraživanjima (Hopelar i sar., 1973; Ingjer, 1979; Shephard i Astrand, 1992) nađena je značajna povezanost između maksimalnog utroška kiseonika i površine mitohondrijalnih kristi.

Kao posledica treninga za izdržljivost značajno se povećavaju enzimi Krebsovog ciklusa. Ta povećanja su u različitom opsegu (od 35% do 100%) i doprinose promeni proteinskog sastava mitohondrija (DeVris, 1980; Shephard i Astrand, 1992). Budući da se svi enzimi ne povećavaju proporcionalno, ove promene se dovode u vezu sa dnevnim opterećenjem i sa ukupnim trajanjem treninga (Shephard i Astrand, 1992).

Istraživanja su pokazala da mišići treniranih u izdržljivosti stvaraju manje laktata od netreniranih osoba i to pri istom obimu glikolize, što ukazuje na povećanje kapaciteta za prenos redukujućih ekvivalenata do respiratornog lanca (Saltin i Karlsson, 1971b). Među istraživačima postoji i mišljenje da se u aktivnim mišićima stvara manje laktata zbog manjeg kiseoničkog deficita, kao i zbog bržeg metabolizma stvorenih laktata (DeVris, 1976).

Holloszy (1976) je pronašao da se kod pacova, kao posledica rada na tredmilu, povećava sposobnost mišića za oksidaciju piruvata. Na

osnovu toga mišićna ćelija postaje sposobna da izdrži dvostruko veće opterećenje, iz čega se može zaključiti da glikolitički put, verovatno, nije ograničavajući faktor tokom opterećenja tipa izdržljivosti. Pored dva poznata puta uklanjanja piruvata iz aktivnih mišića, oksidacije i difuzije, objašnjen je i treći (DeVris, 1980; Shephard i Astrand, 1992). Piruvična kiselina se, naime, u mišićnom tkivu može pretvoriti u amino kiselinu *alanin*, uz prisustvo enzima alanintransaminaze. Alanin se prenosi krvlju do jetre gde se pretvara u glukozu i kasnije služi kao izvor energije u obliku šećera iz krvi. Kako vežbanje usmereno na povećanje izdržljivosti povećava i odgovarajući enzim alanintransaminazu, u dobro treniranim mišićima moguće je da ova adaptacija rezultira pretvaranjem većeg dela piruvata u alanin (50-80%) a manje u laktate, što stvara povoljnije biohemijske okolnosti za mišićnu kontrakciju.

Istraživanja su pokazala da je stepen ćelijskog disanja (respiracije) obrnuto proporcionalan odnosu $ATP/(ADP+P_i)$. Kako se u treniranim mišićima nalazi veći broj mitohondrija po gramu mišićne mase (i to mitohondrija sa uvećanim kristama), za određeni submaksimalni rad biće manji i utrošak kiseonika po respiratornom lancu. Kada se, naime, u toku rada dostigne stabilno stanje, ATP i CP se manje troše čime je automatski manja produkcija ADP-a i P_i . Na osnovu ovog mehanizma, navode Holloszy i Booth (1976) glikoliza se odvija sporije pri datom utrošku kiseonika, pa se zato sporije troši mišićni glikogen i stvara manje mlečne kiseline što obezbeđuje uslove za dugotrajniji rad, odnosno za povećanje izdržljivost mišića.

Posledica treninga za izdržljivost je i povećanje koncentracije mioglobina, čime se olakšava difuzija kiseonika kroz sarkoplazmu do mitohondrija. Promena koncentracije hemoglobina dosta zavisi od tipa mišićnog vlakna i od učestalosti treninga. Najveće promene koncentracije mioglobina nađene su u oksidativnim vlaknima brzog trzaja (FOG). DeVris (1980) navodi da je u eksperimentu sa pacovima nađeno povećanje koncentracije mioglobina čak za 80%. Slično je i sa citohromom C, markerom mitohondrija, na osnovu koga Hickson (1981) objašnjava promene njihove veličine. Po prestanku treninga koncentracija citohroma C brzo se vraća na polazne vrednosti, a koncentracija mioglobina sporije. Hickson i Rosencotter (1981) smatraju da se ovim može objasniti relativno sporo opadanje stečene aerobne moći po prestanku treniranja.

Mišići treniranih osoba, kako je potvrđeno brojnim istraživanjima (DeVris, 1980; Shephard i Astrand, 1992), u stanju su da više energije dobijaju iz masti, a manje iz ugljenih hidrata u odnosu na netrenirane osobe pri submaksimalnom naporu. Osim toga, oni sporije troše svoje zalihe glikogena i imaju niži nivo laktata u krvi i mišićima nakon dugotrajnog rada (Karlsson i sar., 1974). Razlog za to nije bolja snabdevenost mišića kiseonikom, s obzirom na činjenicu da je protok krvi kod treniranih osoba (iskazan po gramu mišićne mase) čak i manji nego kod netreniranih za isti mišićni rad. Trenirani su zato sposobniji da ekstrahuju više kiseonika iz krvi. Za isti apsolutni rad utrošak kiseonika isti je i kod treniranih i kod netreniranih. Međutim, zbog veće mase mitohondrija i više mioglobina, u mišićima treniranih osoba stvara se manje laktata i glikogen sporije troši, a respiratorni količnik (RQ) tokom rada postaje manji.

Brzina oksidacije masnih kiselina zavisi od njihove koncentracije u krvi i od kapaciteta tkiva da ih oksidišu. Ukoliko se kapacitet poveća, što se i dešava u mišićima treniranih, onda oni mogu da koriste više masti, iako je nivo slobodnih masnih kiselina (*free fatty acids* – FFA) u krvi treniranih niži nego kod netreniranih. Kako se i depoi glikogena sporije troše, to dovodi do povećanja izdržljivosti. Kod treniranih ljudi obično je povećana koncentracija glikogena u mišićima, verovatno zbog većeg kapaciteta za njegovu sintezu (Morgan i sar., 1971). Piehl i sar. (1973) navode da se kod čoveka glikogen, tokom dugotrajnog rada umerenog intenziteta, brže gubi u vlaknima sporog trzaja (ST) nego u FT vlaknima, dok su pri radu visokog intenziteta, kao i tokom izometrijske kontrakcije, glikogen prvo gubila FT, a tek kasnije ST vlakna. Očigledno je, dakle, da su pri radu različitog intenziteta pojedina mišićna vlakana različitog tipa različito i opterećena.

Povećanje maksimalnog utroška kiseonika, kao rezultat treninga, sa 50% se može objasniti povećanjem minutnog volumena srca, a drugih 50% povećanjem ekstrakcije kiseonika iz krvi. Otuda je izražena visoka korelacija između respiratornog kapaciteta skeletnih mišića i maksimalnog utroška kiseonika. U pogledu odnosa i broja kapilara i mišićnih vlakana, utvrđeno je da trenirane osobe imaju veću koncentraciju kapilara od netreniranih iskazanu po jednom mišićnom vlaknu, ali ne i po jednom kvadratnom milimetru fiziološkog preseka mišića. Ovo se objašnjava povećanjem dimenzija mišićnih vlakana, tj. hipertrofijom. Ingjer (1979) je našao da se kod čoveka, ukoliko je trening

veoma dugo trajao, stvaraju novi kapilari i da to menja odnos između broja kapilara i mišićnih vlakana. Visoka korelacija između kapilarizacije, ATP-aze i sadržaja mitohondrija u pojedinim vlaknima pokazuje da je snabdevenost nekog vlakna kapilarima u tesnoj vezi sa količinom mitohondrija u njemu, čak više nego sa tipom vlakna posmatranog sa aspekta ATP-aze.

Baldwin (1973) je našao da se u mišićima treniranih pacova povećava aktivnost heksokinaze, jednog od glikolitičkih enzima koji katalizuje fosforilizaciju molekula glukoze na početku njegove anaerobne razgradnje. Ostali glikolitički enzimi su se takođe menjali. Preciznije u pojedinim vrstama vlakana malo su se povećali, a u drugima malo smanjili. Na osnovu toga je zaključeno da većina skeletnih mišića, izgleda, ima dovoljan anaerobni kapacitet za zahteve teškog rada.

Od još većeg praktičnog značaja za povećanje izdržljivosti su podaci koji se tiču pojave označene kao premašivanje ili *superkompenzacija*. Kada je rad nekog mišića bio dovoljno težak i dovoljno dugo trajao da bi se potrošio skoro sav glikogen, tada mišić ispoljava sposobnost da deponuje veće količine glikogena od onih kojima je do tada raspolagao. Osim toga, utvrđeno je da deponovanje zaliha glikogena u velikoj meri zavisi i od načina ishrane. Prilikom unosa hrane bogate ugljenim hidratima, resinteza glikogena je potpuna u roku od 24 sata, dok se unosom hrane deficitarne ugljenim hidratima (čak iako je ona kalorijski ravna prethodnoj) potpuna resinteza postiže tek nakon 8 do 10 dana i to bez pojave premašivanja (DeVris, 1976). Zapaženo je i to da se glikogen nak-on dugog iscrpljujućeg rada bitno smanji u jetri i da njegovo obnavljanje takođe mnogo zavisi od načina ishrane. Ukoliko ishrana nije adekvatna, nivo glikogena postaje toliko nizak da je dovoljan za jedva jedan sat rada. U vezi sa tim, zanimljivo je istaći da kratkotrajno gladovanje (do šest sati) nema nikakvog uticaja na smanjenje nivoa glikogena u mišićima i jetri. Otuda dugo čekanje na trening ili takmičenje, nakon obeda, ne ostavlja negativne posledice. Tačan mehanizam na osnovu koga nastaje premašivanje nije do kraja objašnjen. Lamb i sar. (1969) našli su, kao posledicu treninga izdržljivosti, povećanje glikogensintetaze, enzima neophodnog za deponovanje glikogena u mišićna vlakna što su doveli u vezu sa premašivanjem. Samo taj podatak, međutim, nije dovoljan za potpuno objašnjenje ove složene pojave koja prati sve promene u vezi sa povećanjem izdržljivosti.

Kada je u pitanju odnos između tipa mišićnog vlakna i treninga za izdržljivost, do sada nije nađena interkonverzija (prelazak jednog u drugi tip vlakna). Tipična bela vlakna (FT ili FG vlakna) sa malim disajnim kapacitetom i malom aktivnošću heksokinaze, sa najvišim glikolitičkim kapacitetom i najvećom aktivnošću ATP-aze, dakle sa najviše mogućnosti za adaptivne promene, najmanje povećavaju respiratorni kapacitet i samo malo (ili nimalo) se u njima promeni količina ATP-aze i glikolitičkih enzima. S druge strane, crvena vlakna (ST i FOG vlakna), sa velikim respiratornim kapacitetom, najviše povećavaju oksidativnu moć i aktivnost heksokinaze (DeVris, 1980). Ako je veličina adaptivnog odgovora u saglasnosti sa veličinom stimulusa, onda male promene u tipičnim brzim vlaknima (FG), u odnosu na crvena vlakna, možda govore o njihovom manjem učešću tokom vežbanja. Osim toga, nađeno je da se kod sportista glikogen tokom dukotrajnog rada prvenstveno troši u ST, a vrlo malo u FT vlaknima. Prema tome, između obima adaptacije i veličine uobičajenog nivoa aktivnosti postoji pozitivna veza. Drugim rečima, bela (tipična brza) vlakna su minimalno uključena u napore koji zahtevaju izdržljivost. Ukoliko bi program vežbanja bio drugačiji i više angažovao FG vlakna, tada bi se mogle očekivati i veće adaptacije u njima (Golnick i sar., 1973).

Interesantni su podaci iz istraživanja Janson i sar. (1978). Oni su kod ljudi treniranih najpre u cilju povećanja aerobnih sposobnosti, konstatovali da se procentualni odnos različitih tipova vlakana u mišiću menja, shodno tipu treninga. Pretpostavili su da je uzrok promene strukture mišića prelazak vlakana IIB tipa (FG) u vlakna IIA tipa (FOG). Ova pretpostavka o konverziji vlakana se u kasnijim istraživanjima (Johnes i Rutherford, 1988; Shephard i Astrand, 1992) i obistinila.

Zanimljiva su zapažanja Baldwin i sar. (1973) u vezi sa povećanjem oksidativnog kapaciteta miokarda kao odgovora na trening izdržljivosti. Utvrđeno je, naime, da se ne menja aktivnost enzima u mitohondrijama, niti koncentracija citohroma C, već da se respiratorni kapacitet miokarda povećava samo na račun njegove hipertrofije i povećanja volumena. Zbog toga Holliszy (1975) primećuje da ST vlakna, u odgovoru na trening izdržljivosti, postaju sve sličnija srčanom mišiću. Ta sličnost se prvenstveno odnosi na enzimski profil vlakana čije mitohondrije postaju sve bogatije glikolitičkim enzimima i aktomiozinskom ATP-azom.

11 RAZVOJ MOTORIČKIH SPOSOBNOSTI

Informacije iznete u prethodnm poglavljima imaju za cilj da trenere i aktivne sportiste uvedu u osnovnu strukturu antropomotoričkog prostora čoveka. U njima su date ključne mehaničke, anatomske, fiziološke i biohemijske pretpostavke za objašnjenje humane lokomocije. Informacije su opšteg karaktera i pažljivom čitaocu trebalo bi da budu dovoljne za objašnjenje fundamentalnih zakonitosti većine kretnih aktivnosti čoveka. Njihovim promišljanjem i kreativnom analizom moguće je izvesti niz praktičnih aplikacija za mnoge specifične sportske aktivnosti. Potrebe prakse, međutim, ipak zahtevaju i izvestan operativniji pristup analizi sportske antropomotorike, tj. razradi konkretnih sredstava (alata) vezanih za usavršavanje pojedinih fizičkih svojstava.

Celovitim sagledavanjem svih esencijalnih i specifičnih biomotoričkih potencijala sportiste, može se zaključiti da se mnogi među sobom prepliću i dele slične fiziološke i biohemijske mehanizme. Osim toga, teško je izdvojiti „čisto“ fizičko svojstvo u realnim uslovima kretanja. Gde počinje eksplozivna, a gde se završava brzinska snaga; koliko je u snažnoj izdržljivosti prisutna sila, a koliko energogeni mehanizmi; da li je za balistički mišićni potencijal značajnija brzina, sila ili snaga; koliko pliometrijske vežbe utiču na brzinu, a koliko na snagu – samo su neka od pitanja na koja je teško dati precizne odgovore. Tokom treninga se, razvijanjem jednog, efikasno deluje i na usavršavanje drugih fizičkih svojstava. Imajući sve ovo na umu, teško je dati kompletan i krajnje sistematizovan model za razvoj bilo kog biomotoričkog svojstva, ma koliko ono bilo fiziološki jasno definisano. U ovom poglavlju akcenat je stavljen na antropomotoričke sposobnosti kojima se najviše operiše u praksi. Date su globalne metodičke smernice za njihovo usavršavanje. Zadatak svakog trenera je da ponuđene informacije analizira sa stanovišta konkretnog sporta i da u odnosu na to kreira svoj program i izabere sredstva za razvoj ciljnih antropomotoričkih sposobnosti.

11.1. POTREBA ZA SINTETIČKIM SAGLEDAVANJEM MOTORIKE

Egzaktan naučni pristup u razmatranju humane lokomocije zahteva niz analitičkih postupaka. To raščlanjavanje je, svakako, veštački korak koji se čini radi lakšeg sagledavanja tako složenog sistema funkcija sadržanih u kretnom ispoljavanju čoveka. Praksa i teorija pokazuju da je veoma značajno sportistu posmatrati kao kompleksnu celinu u kojoj su isprepletani biološki, psihološki i motorički elementi. Teško je raspravljati o sportskom rezultatu ne sagledavši ga iz svih izdvojenih aspekata. Iako su u ovoj knjizi razdvojeni specifični funkcionalni sistemi (mišićni, nervni, endokrini, energetske...), neophodno ih je sagledavati sintetički, a kretanje objašnjavati multidisciplinarno. To se naročito odnosi na vezu između esencijalnih i specifičnih motoričkih sposobnosti (miogenih, energogenih i neurogenih) koje je tokom trenažnog procesa gotovo nemoguće izolovati. Primera radi, povećanje apsolutne snage (maksimalne sile) redovno prati i porast srodnih dimenzija, poput eksplozivne i brzinske snage. Napredak u eksplozivnoj i brzinskoj snazi najsigurniji je put za usavršavanje brzine. Bez povećanja opšte (aerobne) nema napretka ni u anaerobnoj izdržljivosti. Napredak brzinske prouzrokuje i povećanje aerobne izdržljivosti kao i izdržljivosti u snazi. Pобољшanje koordinacije i gipkosti aparata za kretanje obično je praćeno i porastom brzine. Prema tome, iako su u ovoj knjizi izdvojene i opisane izvesne specifične metode za razvoj pojedinih antropomotoričkih sposobnosti, neophodno je stalno naglašavati njihovo složeno dejstvo na lokomotorni aparat i vršiti stalnu sintezu motoričkih sposobnosti sportiste.

U pogledu razvoja fizičkih svojstava akcenat se stavlja na onu dimenziju koja dominira u konkretnom sportu, ali bez potpunog zanemarivanja ostalih, manje važnih svojstava. Dugogodišnja trenerska iskustva svedoče o velikoj prednosti svestranog rada na opštem razvoju antropomotoričkih dimenzija, naročito u najranijim periodima treninga (u pionirskim i juniorskim kategorijama). Sa uskom specijalizacijom i strogo specijalističkim treningom trebalo bi što kasnije početi i uvek ga dopunjavati radom na nespecifičnim fizičkim svojstvima. Na taj način sportista postaje kompletniji i u stanju je da sportski rezultat poboljšava čak i u poznim takmičarskim godinama.

Prilikom objašnjenja važnosti kompleksne sportske pripreme, često se pominje Lamarkova максима *da je mišić kolevka mozga*. Prvi oblici komunikacije novorođenčeta sa okolinom, naime, odigravaju se preko elemenata motorike, a tek kasnije upotrebom dominantnih čula – vida i sluha. Dete najpre prepoznaje dodire roditelja i svoje stanje iskazuje pokretima ekstremiteta. Kada kasnije počinje da upoznaje okolinu na širem planu, mišićna aktivnost ima presudnu ulogu. Da bi zadovoljilo svoju radoznalost u perceptivnom polju, dete svakodnevno angažuje muskulaturu i uključuje najsuptilnije proprioceptivne i kinestetske mehanizme. Ukoliko se nakon rane selekcije zapostavi rad na svestranom usavršavanju motorike, centralni nervni sistem je nedovoljno angažovan i sportista ostaje uskraćen za brojne kineziološke informacije koje ga u kasnijim fazama razvoja mogu limitirati u dostizanju vrhunskog rezultata. Otuda nije redak slučaj da mnogi šampioni, osim vrhunskog bavljenja svojim sportom, odlično igraju fudbal ili tenis, dobro plivaju ili smučanju, a u najranijim godinama svog razvoja bili su u dilemi kojim sportom da se bave.

11.2. OSNOVNI PRINCIPI RAZVOJA MOTORIČKIH SPOSOBNOSTI

Kada se govori o načinima da se usavrši neko fizičko svojstvo, često se koristi već pominjana Galenova максима *da funkcija razvija organ*. Polazeći od toga, zaključuje se da je osnovni način napredovanja u sportu stalno ponavljanje i uvežbavanje aktuelnih pokreta. Sportski trening, međutim, odavno je mnogo više od puke repeticije. Prilikom njegove neposredne realizacije neophodno je voditi računa o nizu principa. Ovom su navedeni osnovni (opšti) koji važe u gotovo svim sportovima i u radu sa gotovo svim kategorijama sportista:

- *Princip postupnosti* – Podrazumeva postupno i sistematično uvođenje sportiste u trenažno opterećenje. To naročito važi za najmlađe kategorije sportista sa kojima se ne sme nikada žuriti u postizanju rezultata.
- *Princip individualnosti* – Podrazumeva specifičan individualni pristup prema svakom pojedincu. Svaka osoba ima izvesne

osobnosti koje se objašnjavaju genetskim nasleđem i uticajem sredine u kojoj se razvija. Otuda je pogrešno sve sportiste trenirati na isti način i istim trenažnim opterećenjem. U kolektivnim sportovima preporučljivo je formirati homogene grupe čime se trening racionalizuje u pogledu organizacije i vremenske ekonomičnosti.

- *Princip odmerenosti prema uzrastu* – Podrazumeva stalno uvažavanje uzrasnih osobnosti jedinke. Izuzetno je važno poznavati razvojnu strukturu i dinamiku pojedinih organskih sistema (kardiovaskularnog, respiratornog, koštano-zglobnog, mišićnog). Primera radi, deca mlađeg i starijeg školskog uzrasta ne smeju se izlagati prevelikim naporima, pogotovu u smislu velikog obima rada, budući da takvi napori mogu oštetiti vitalne funkcije koje su fazi formiranja. Osim toga, u svakom razvojnom periodu akcenat se stavlja na pojedino fizičko svojstvo lokomotornog aparata. Sa najmlađim uzrastom prvenstveno se radi na opštoj fizičkoj pripremi i primenjuju uglavnom vežbe brzinsko-snažnog karaktera, dok je rad na povećanju sile i izdržljivosti u drugom planu. Naročiti oprez bi trebalo iskazati u periodu puberteta i adolescencije kada je zbog ubrzanog i neravnomernog razvoja elemenata aparata za kretanje narušena koordinacija. Osim toga, za ovaj period vezuju se burne promene i na emocionalnom planu, pa valja biti veoma pažljiv prilikom usmeravanja i podstrekavanja glavnih motiva za bavljenje sportom.
- *Princip odmerenosti prema polu* – Podrazumeva uvažavanje specifičnosti pola prilikom doziranja sportskih opterećenja. To se prvenstveno odnosi na specifičnosti ženskog organizma koji se, zbog različitog hormonskog sastava, u pojedinim fizičkim svojstvima drastično razlikuje od muškog. Primera radi, žene poseduju daleko manje testosterona što uslovljava i niži potencijal miogenih svojstava. Muskulatura žena je slabije razvijena zbog čega one u disciplinama brzine i snage ostvaruju slabije rezultate. U pojedinim sportovima (poput plivanja i gimnastike), međutim, žene su se sasvim približile muškarcima. Razlog za to je što se u njima kao odlučujuća ispoljavaju motorička ili morfološka obeležje po kojem se muškarci i žene bitno ne razlikuju

(pokretljivost, koordinacija i sl.). U plivanju, čak, telesna kompozicija ženama daje i izvesnu prednost, s obzirom na veći procenat masnog tkiva koje smanjuje njihovu specifičnu težinu i povećava plovnost.

- *Princip specifičnosti* – Podrazumeva da se u godišnjem planu treninga najveća pažnja poklanja specifičnoj aktivnosti (u treningu košarkaša, na primer, najviše vremena troši se na specifične košarkaške treninge i na rad u situacionim uslovima). Naravno, veliki prostor poklanja se i razvoju pojedinih fizičkih svojstava posebno značajnih u konkretnom sportu, ali pri tome je neophodno sve vežbe prilagoditi specifičnim pokretima karakterističnim za konkretni sport. Vežbe snage, na primer, trebalo bi izvoditi iz položaja koji su bliski takmičarskim uslovima i potenciraju rad aktuelne muskulature u režimu specifičnom za takmičarske uslove. Izuzetak u odnosu na navedena pravila predstavlja trening u prelaznom periodu i u vreme aktivnog odmora. Tada se, naprotiv, preporučuje primena aktivnosti nesrodnih osnovnim takmičarskim pokretima. Praksa je pokazala da se tretmanom muskulature nedovoljno angažovane u takmičarskoj aktivnosti ubrzava oporavak onih mišića koji su dominantni tokom takmičenja. Tako, na primer, plivanje doprinosi bržem oporavku fudbalera, trkača, dizača tegova i dr.
- *Princip reverzibilnosti* – Podrazumeva opadanje fizičkih sposobnosti sa prestankom treninga. Reverzibilnost zapravo predstavlja vraćanje fizioloških i mehaničkih karakteristika lokomotornog sistema na početne vrednosti. Poznato je da svaki duži period mirovanja (najčešće zbog povreda) kod sportista ostavlja negativne posledice na antropomotoričke dimenzije. Važno je naglasiti da sva fizička svojstva ne opadaju istim tempom pod uticajem mirovanja. Istraživanja su pokazala da najbrže opada aerobna izdržljivost i fiziološke vrednosti koje je determinišu (maksimalni utrošak kiseonika, oksidativni kapacitet mitohondrija, enzimi Krebsovog ciklusa). Utvrđeno je da se za samo dve nedelje mirovanja maksimalni utrošak kiseonika smanji čak za 25% (Lekić, 1997). Istraživanja su takođe pokazala da duže netreniranje najmanje posledice ostavlja na snagu, pri čemu je važno naglasiti da svi mišići ne reaguju isto na apsolutno mirovanje. Tako već jedan mesec apsolutnog mirovanja ostavlja

vidne posledice na filogentski najmlađem mišiću čoveka, medijalnoj glavi četvoroglavog mišića buta, dok pojedini mišići i nakon dvomesečne pauze ne beleže pad u snazi veći od 10%. U svakom slučaju, sportistima se ne preporučuju duži periodi apsolutnog mirovanja. Svaku pauzu trebalo bi organizovati kao aktivni odmor uz kompletno angažovanje muskulature, naravno sa nižim nivoom opterećenja i u nekom drugom režimu naprezanja u odnosu na takmičarske pokrete.

11.3. METODIKA RAZVOJA MIOGENIH SVOJSTAVA

Fizilošku osnovu adaptivnih promena u živom tkivu predstavlja nervno razdraženje izazvano odgovarajućim spoljašnjim ili unutrašnjim stimulusima. Svaki stimulus praćen je odgovarajućim odgovorom živog sistema koji je tretiran u dužem vremenskom periodu. Da bi neki stimulus, praćen razdraženjem nervnog sistema, izazvao dugotrajnije reakcije, neophodno je da bude dovoljno snažan (da dostigne odgovarajuće visok prag draži) i da traje dovoljno dugo kako bi se obezbedilo potrebno vreme za adekvatne adaptivne promene. U praktičnom smislu to znači da nije dovoljno samo jednom ili dva puta podići maksimalan teret, već je neophodno da mišićno naprezanje traje dovoljno dugo kako bi se stvorio vremenski prostor za stabilizaciju adaptivnih promena. Sa druge strane, ukoliko bi stimulusi trajali dugo, a bili malog intenziteta, opet bi izostale željene reakcije mišićnog tkiva. Prema tome, za razvoj sile i snage neophodno je ostvariti optimalni odnos intenziteta i obima mišićnog rada koji aktivira odgovarajuće fiziološke i biohemijske mehanizme u dovoljno dugom vremenskom intervalu.

Kako se sila i snaga mišića ispoljavaju u različitim vidovima, u zavisnosti od stepena spoljašnjeg opterećenja, brzine savladavanja spoljašnjeg otpora i energetske potencijala značajnih za trajanje naprezanja, tako su definisana četiri osnovna vida ispoljavanja sile i snage: (1) maksimalna sila (mišićna jačina), u predhodnim poglavljima je navedeno da neki autori maksimalnu mišićnu silu označavaju kao apsolutnu snagu, (2) brzinska snaga, (3) eksplozivna snaga i (4) izdržljivost u snazi. Osnovna determinanta za ispoljavanje svake od njih

je intenzitet naprezanja tj. veličina spoljašnjeg otpora koji se savladava. Ukoliko je, na primer, potrebno podići maksimalnu ili submaksimalnu težinu, iluzorno je govoriti o eksplozivnoj, a još manje o brzinskoj snazi. Ukoliko je potrebno da mišićno naprezanje traje što duže, dakle kada se posmatra izdržljivost u snazi, spoljašnji otpor ne bi smeo da prelazi 50% maksimalne mišićne sile. Od veličine otpora koji se savladava tokom treninga, praktično zavisi koji se vid snage razvija. Upravo izbor veličine opterećenja jeste jedno od glavnih pitanja metodike uvećanja miogenih sposobnosti. Da bi se izabrao odgovarajući metod za razvoj određenih vidova miogenih sposobnosti potrebno je dobro razumeti fiziološke karakteristike kretanja ostvarenih različitim mišićnim napreznjima. Slabo poznavanje fiziologije mišićnih naprezanja može da dovede do nepravilnog doziranja ukupnog opterećenja ili njegovih komponenata (obim - trajanje podražaja i intenzitet - jačina podražaja), što predstavlja grubu grešku koja može da ugrozi zdravlje vežbaču. Veličinu opterećenja u treningu miogenih sposobnosti moguće je dozirati na tri načina:

1. Kao procenat od maksimalnog opterećenja
2. Kao razliku u odnosu na maksimalan teret (npr. 15 kg manje od maksimalnog tereta)
3. Prema broju mogućih ponavljanja bez prekidanja (npr. teret koji se može savladati 8 puta).

Prva dva načina ne mogu uvek da se primene (npr. aktivnosti gde se savladava jačina partnera ili elastičnog tela), tako da se u treningu najčešće koristi treći način. Teret koji se može samo jednom savladati naziva se maksimalni teret F_{max} (tabela 11-1).

Veličina tereta(opterećenja)	% F_{max}	Broj ponavljanja u jednoj seriji
Maksimalni	100%	1
Submaksimalni	95%	1-2
Veliki	85-95%	3-5
Umereno veliki	75-85%	6-8
Srednji	65-75%	10-15
Mali	50-65%	15-25
Veoma mali	pod 50%	iznad 25

Tabela 11-1 Broj ponavljanja u jednoj seriji u odnosu na veličinu opterećenja

Svaki sport ima svoje specifičnosti u pogledu ispoljavanja sile i snage. Otuda ni trening za snagu nije i ne sme da bude isti za sve sportske discipline. U ovom odeljku dati su samo osnovni principi razvoja pojedinih specifičnih vidova snage i od svakog trenera, potencijalnog čitaoca ovih redova, očekuje se da na svojim sportistima primeni adekvatni metod za razvoj potrebnih mišićnih potencijala, karakterističnih za konkretni sport. Potrebno je, istina, naglasiti da svi specifični oblici snage iskazuju izvesnu međusobnu povezanost. To prevashodno važi za uticaj maksimalne mišićne sile na ispoljavanje svih ostalih vidova. Zbog toga se u specifičnom treningu za snagu svakog sportiste mora primeniti kompleksan pristup i raditi na razvoju svih specifičnih manifestacija snage, naravno uz potenciranje onog vida koji je odlučujući za pojedini sport. Prilikom planiranja treninga uvek se polazi od specifičnih zahteva konkretnog sporta i svim vidovima snage se ne poklanja isti prostor. Jednostavnije rečeno, svi sportisti moraju razvijati sve vidove snage, dok se akcenat stavlja i najviše vremena troši na vid snage dominantan u njihovoj sportskoj disciplini.

Bez obzira na vrstu miogenih svojstava, u metodici njihovog razvoja mogu se izdvojiti izvesne opšte zakonitosti i definisati slični organizacioni principi rada. Ovde je načinjen pokušaj da se izvrši izvesna klasifikacija metoda za razvoj sile i snage. U literaturi postoji nekoliko opštih kriterijuma za njihovu klasifikaciju.

Prvi kriterijum u obzir uzima specifičnosti sportske grane i dominantnog vida snage koji se u njima ispoljava. Polazeći od njega Verhošanski i sar. (1992) izdvajaju četiri osnovne grupe: (1) sportove koje karakteriše maksimalni intenzitet naprezanja, (2) sportove tipa izdržljivosti, (3) sportove koje karakteriše visok nivo razvoja spretnosti i preciznosti kretanja po zadatom programu i (4) sportove u kojima se kompleksno ispoljavaju motorički kvaliteti pri različitom odnosu nivoa njihovog razvoja. U odnosu na ove četiri karakteristične grupe, definisani su i metodički principi razvoja specifičnih oblika snage.

Drugi, u literaturi često korišćen kriterijum (po stepenu opštosti nešto uži od prethodnog), polazi od mehaničkog i energetskeg karaktera lokomotornog izlaza. U odnosu na njega mogu se razlikovati najmanje četiri grupe metoda: (1) za razvoj maksimalne mišićne sile (apsolutne snage), (2) brzinske snage, (3) eksplozivne snage i reaktivnih sposobnosti i (4) metode za razvoj izdržljivosti u snazi. U okviru svake grupe moguće je izdvojiti još nekoliko podtipova u odnosu na vrstu primenjenog

mišićnog naprezanja (izometrijsku, miometrijsku, pliometrijsku, repetitivnu).

Treći kriterijum se bazira na načinu neposredne primene sredstava treninga. Polazeći od njih Verhošanski i sar. (1992) izdvajaju četiri osnovna modela definišući ih na sledeći način:

- *Metod ponavljanja* – Predviđa vežbanje sa visokim nivoom određene kvalitativne karakteristike pokreta (brzine i veličine naprezanja). Ovde je ukupan broj pokreta ograničen vidljivim smanjenjem efikasnosti kretanja usled pojave zamora. Odmor između ponavljanja mora biti dovoljno dug da bi se uspostavilo optimalno stanje organizma za visoko kvalitetno vežbanje. Ovaj metod najčešće se primenjuje prilikom rada na povećanju maksimalne (apsolutne) snage. Njime se ostvaruje princip *nadopterećenja* bez kojeg nema vrhunskog sportskog treninga. Rad sa nadopterećenjem je efikasan model treninga koji najjasnije pokazuje da je intenzitet naprezanja najznačajnija determinanta za razvoj snage. On omogućava da se veći efekat postigne manjim brojem ponavljanja sa velikim opterećenjem (90-95% maksimalnog), nego li velikim brojem ponavljanja sa malim opterećenjem. Osim toga, iskustva pokazuju da nivo nadopterećenja ima veći uticaj na prirast specifične snage nego li specifičnost vežbe. Snaga opružača nogu se, na primer, efikasnije razvija radom sa tegovima nego li ponavljanjem specifičnih skokova (skok u vis ili u dalj).

- *Ponavljajuće serijski metod* – Podrazumeva mnogobrojna blisko usmerena trenažna vežbanja. Karakteristična obeležja ovog metoda su submaksimalni intenzitet (80-90% maksimalnog) i veliki obim rada. Vežbe je neophodno izvoditi maksimalnom brzinom koju dozvoljava veličina opterećenja. Sa organizacionog aspekta, on predviđa vežbanje sa optimalnim serijama koje se ponavljaju nekoliko puta. Između serija pauza traje duže. Broj ponavljanja u seriji, ukupan broj serija na treningu i trajanje odmora određuju se aktuelnim stanjem i nivoom pripremljenosti sportiste, zadacima treninga i režimom vežbanja. Ovaj metod se prevashodno koristi za aktiviranje morfoloških promena aparata za kretanje, povećanje energetske potencijala i podsticanje

adaptacionih reakcija koje stabilizuju organizam na novom funkcionalnom nivou. Najveće efekte daje u pogledu povećanja eksplozivne snage.

- *Intervalni metod* – Predviđa ponavljajući rad u režimu velikog i submaksimalnog intenziteta sa određenim pauzama. Serije koje se izvode traju duže nego kod prethodna dva metoda. Cilj takvog režima rada je podsticanje mehanizama za energetske snabdevanje. Trenažna usmerenost i ovde se reguliše intenzitetom i trajanjem rada, kao i intervalima odmora. Budući da povećava energetske kapacitete, uglavnom koristi za razvoj izdržljivosti u snazi.
- *Kružni metod* – To je varijanta intervalnog metoda od kojeg se razlikuje raznovrsnijim uticajem na lokomotorni aparat korišćenjem vežbi različite sadržine i nešto manjeg intenziteta. Obično se organizuje tako što se u okviru jednog „kruga“ kombinuje 3-5 različitih vežbi koje angažuju istu mišićnu grupu, ali u različitim režimima naprežanja. Raznovrsnost trenažnih stimulusa se najčešće postiže tako što se aktuelni mišići u različitim vežbama kontrahuju sa naizmeničnim osloncem na centralnom i perifernom pripoju, odnosno sa kinetičkim lancem naizmenično otvorenim na jednom, pa na drugom kraju (na primer: tokom dubokog čučnja kinetički lanac je otvoren – na gore, a prilikom nožnog potiska, tj. popularnog *leg press*-a – na dole).

Logično je da se u okviru svake od četiri osnovne varijante mogu izdvojiti izvesne organizaciono-metodičke specifičnosti.

Tako opterećenja u jednoj seriji mogu biti konstantna kada je reč o *jednoličnom ponavljajućem metodu* rada ili se, pak, opterećenja tokom vežbanja postepeno povećavaju zbog čega se on naziva *metod sa rastućim (progresivnim) opterećenjima*.

Četvrti kriterijum polazi od adaptivnih promena koje se dešavaju u nervno mišićnom sistemu, pa prema tome metode se dele na:

- *Funkcionalne metode (promene se dešavaju na nervnom nivou, bez značajnog povećanja mišićne mase)*

- metoda maksimalnih naprezanja
- metoda eksplozivnih dinamičkih naprezanja
- reaktivna metoda

- Strukturalne metode (dovode do strukturalnih promena u mišićima-hipertrofije)
 - metoda ponavljanja

Podelu na funkcionalne (neuralne) i strukturalne (muskularne) adaptacione promene, ne treba shvatiti previše grubo, u praksi svaka metoda treninga dovodi i do manjih ili većih strukturalnih i funkcionalnih promena. Razlika je naravno, u dominaciji pojedinih promena.

Ni jedan od pomenutih metoda za razvoj specifične snage nema apsolutni prioritet u treningu vrhunskih sportista. Otuda je opravdano govoriti o *kompleksnom metodu* razvoja snage koji podrazumeva primenu svih modela proporcionalno udelu onog koji potencira razvoj dominantnog vida specifične snage u svakom sportu ponaosob. Razlog za to je povećanje aktivacije centralnog nervnog sistema koji igra ključnu ulogu u adaptivnim promenama aparata za kretanje. Skeletni mišići se, naime, brzo adaptiraju na jedan tip trenažnog stimulusa i njegova konstantna primena može dovesti do stabilizovanja dinamičkog stereotipa čime se usporava napredak u sili i snazi kao i efikasnost odgovora na stimuluse različitog obima i intenziteta. Primena kompleksnog metoda nalazi opravdanje u još jednoj značajnoj činjenici. Sprovođenje jedne vrste treninga, naime, zahteva prethodnu pripremu lokomotornog aparata nekom drugom metodom. Tako se u savremenom treningu vrhunskih sportista dosta koristi pliometrijski trening zato što se prilikom amortizujućih pokreta i skokova u dubinu ostvaruju najveće vrednosti snage (pokret je najbrži, a mišić deluje protiv velike sile nastale pod dejstvom sopstvenog tela i gravitacije). Pliometrijski trening, dakle, zahteva velike sposobnosti lokomotornog aparata u pogledu ispoljavanja i sile i snage, budući da se pliometrijski rad najčešće sprovodi u formi udarnog metoda (nakon doskoka izvodi se povezan odskok vežbača). U takvim uslovima najpre se ekscentričnom kontrakcijom gasi sila inercije, zatim u prelaznoj fazi mišić kratko deluje u izometrijskom režimu, da bi zatim ispoljio maksimalnu koncentričnu kontrakciju. Imajući sve to u vidu, pre primene pliometrijskog treninga, neophodno je dobro ojačati aktuelnu muskulaturu, što se najčešće realizuje dugotrajnom primenom ponavljajuće serijskog i ponavljajućeg metoda sa rastućim opterećenjem.

11.3.1. METODIKA RAZVOJA MIŠIĆNE SILE

Mišićna sila, kako je već nekoliko puta rečeno, definiše se kao maksimalna jačina koju mišić može da realizuje izometrijskom kontrakcijom ili, pak, vrlo sporim pokretom (kvazizometrijom). U realnim trenaznim okolnostima, mišićna sila se sagledava kroz maksimalni teret koji sportista može da pokrene iz odgovarajućeg položaja. Tako se za nekoga može reći da ima maksimalan duboki čučanj 250 kilograma, što praktično znači da je njegova jačina, realizovana naprezanjem aktuelne muskulature, ekvivalentna podignutom teretu. U laboratorijskim uslovima vrednost maksimalne izometrijske sile određuje se pomoću mehaničkih ili elektonskih dinamometara. Za trenersku praksu, međutim, od veće važnosti je određivanje maksimalne sile u vanlaboratorijskim uslovima, tj. pomoću savladavanja spoljašnjeg otpora (najčešće pomoću maksimalnog tereta koji sportista može da pokrene).

Polazeći od činjenice da mišić najveći napredak pokazuje u onom režimu u kojem je treniran, logično je da je za razvoj maksimalne sile važno u treningu primeniti maksimalna i submaksimalna opterećenja. Ako pođemo od fiziološke zakonitosti da se mišićna sila povećava povećanjem fiziološkog preseka mišića, onda je logično da je mišićna hipertrofija uslov za povećanje mišićne sile.

Metod ponavljanih naprezanja predstavlja jedan od osnovnih metoda u treningu za mišićnu hipertrofiju odnosno za razvoj mišićne sile. To je najčešće trening tokom kojeg se u jednoj seriji podiže teret blizak maksimalnom oko 80% od 1RM³². Jedno od najčešćih pitanja početnika u teretani jeste sa kojom težinom vežbati, ili koliki je moj 1RM? S ciljem da se trenerima i sportistima olakša određivanje maksimalnog rezultata u nekoj vežbi snage, za svaki maksimalan broj ponavljanja određen je poseban koeficijent kojim se podignuta RM-težina množi (Tabela 11-2). Ukoliko je, na primer, ispitanik u vežbi benč-pres uspeo da težinu od 80 kg potisne maksimalno šest puta (6RM = 80 kg), njegov maksimum se procenjuje na 96 kilograma (80 kg x 1,2). Izračunata vrednost se uzima kao osnov prilikom doziranja treninga snage.

³² Maksimalan broj ponavljanja sa nekom težinom zove se ponavljajući ili repetitivni maksimum (**PM** ili **RM**).

Broj ponavljanja	Koeficijent	Broj ponavljanja	Koeficijent
1	1,00	6	1,20
2	1,07	7	1,23
3	1,10	8	1,27
4	1,13	9	1,32
5	1,16	10	1,34

Tabela 11-2 Koeficijenti za izračunavanje maksimalne težine koju ispitanik može da podigne na osnovu broja ponavljanja nakon kojeg je došlo do otkaza

Većina autora se slažu da je kod metoda ponavljanih naprezanja potrebno koristiti masu tereta koja iznosi od 50%-85% od velicine 1RM. Broj ponavljanja odnosi se obrnuto proporcionalno s masom tereta (veća masa = manje RM-a). Većina autora slažu se da to treba biti između 5-7 i 10-12 ponavljanja. Broj serija na jednom treningu kreće se između četiri i osam, u zavisnosti od nivoa treniranosti, perioda treninga i rasporeda (kalendara) takmičenja. Ono što je bitno naglasiti prilikom korištenja metoda ponovljenih naprezanja jeste da se svaka serija radi do jasno izraženog zamora „do otkaza“. To je ona situacija kada prilikom savladavanja tereta nastali zamor stvara osećaj kod sportiste da više ne može, a trener traži da se izvedu još dva ili tri ponavljanja. Upravo takav rad gde se radi „do otkaza“, predstavlja osnovu za izazivanje adaptivnih promena u mišićima, odnosno dovodi do mišićne hipertrofije, a time i do povećanja mišićne sile. Prilikom korišćenja metoda ponavljanih naprezanja kod netreniranih osoba trening pri kojem se koristi 50% od 1RM pokazao se efikasnim za adaptacione promene u mišićima, kao i za prirast mišićne sile. Kod utreniranih vežbača korišćenje opterećenja od 50% ne može da dovede do mišićne hipertrofije, kao ni do povećanja mišićne sile. Da bi došlo do mišićne hipertrofije potrebno je koristiti opterećenja od najmanje 80% od 1RM. Upravo to opterećenje je potrebno da bi se pri poslednjim ponavljanjima promenio obrazac aktivacije mišićnih vlakana. Poslednja ponavljanja unutar jedne serije dodatno angažuju brza mišićna vlakana i povećavaju frekvenciju slanja nervnih impulsa, čime se stvaraju uslovi za izazivanje adaptivnih promena u mišićima što dovodi do hipertrofije i povećanja mišićne sile. U okviru metoda ponavljanih naprezanja postoji veći broj metoda koje služe trenerima da se lakše snađu u trenažnom procesu. Izbor metoda zavisi od nivoa treniranosti sportiste, od uzrasta, pola, vrste sporta, periodizacije trenažnog procesa.

Metode koje spadaju u grupu metoda ponavljanih naprezanja su sledeće (modifikovano prema Schmidtbleicher, 1985) (tabela 11-3):

- *Standardna metoda (bodibilding metoda).* Ovu metodu karakteriše savladavanje konstantnog opterećenja od 80% od 1RM-a u 3 do 5 serija sa brojem ponavljanja između 7 i 10. Pauze između serija su između 3 i 4 minute.
- *Ekstenzivna bodibilding metoda.* U klasičnom bodibilding treningu ova metoda se često koristi u svrhu pražnjenja energetskih zaliha miškulature. Izvodi se 3 do 5 serija sa po 12 do 20 ponavljanja, pri čemu je opterećenje između 60 i 70% od 1RM-a. Pauze između serija su relativno kratke (do 1-2 minute). Stoga je ova metoda pogodna i za razvoj repetitivne snage.
- *Intenzivna bodibilding metoda.* Koristi opterećenje između 85 i 95% izvodi se 3 do 5 serija, dok broj ponavljanja varira između 5 i 8. Pauze između serija su 3 minute.
- *Izokinetička metoda.* Primena ove metode zahteva korišćenje specijalno oblikovanih izokinetičkih trenažera (KIN-COM, CYBEX, BIODEX). Takvi trenažeri najčešće su oblikovani da omogućavaju izvođenje vežbi, pri čemu je brzina pokreta podesiva i konstantna. Bez obzira koliko veliku silu ispoljili pri savladavanju opterećenja, brzina pokreta je konstantna. Moguće je izvoditi i koncentrične i ekscentrične mišićne akcije. U cilju razvoja snage putem hipertrofije mišića preporučuje se izvođenje 3 do 4 serije sa po 12 do 15 ponavljanja, pri čemu su pauze između serija 3 minute. Intenzitet opterećenja je 70% od maksimalnog.
- *Izometrijska metoda.* Ova metoda se zasniva na ponavljanju većeg broja izometrijskih naprezanja bilo zadržavajući opterećenje, bilo ispoljavajući silu nasuprot nepokretnog objekta. Za primenu izometrijske metode kao načina strukturalnog povećanja snage (hipertrofija mišića) koristi se opterećenje od 70 do 100% od maksimuma. U 3 do 5 serija izvesti 4 do 6 izometrijskih kontrakcija koje traju između 5 i 6 sekundi. Pauze između serija su 3 minute. Izometrijske kontrakcije je moguće izvoditi pri različitim uglovima u zglobovima. Ono što je specifično za izometrijsku metodu je činjenica kako izometrijski trening pri određenom uglu u zglobu najviše povećava jačinu upravo pri tom uglu u zglobu, dok je prirast jačine u ostalim uglovima manji.

- *Piramidalne metode.* Ove metode mogu da se podvedu pod metode ponavljanih naprezanja, mada mogu da služe i za razvoj drugih vidova miogenih sposobnosti kao npr. izdržljivosti u snazi. Karakteristike ove metode je da se opterećenje progresivno ili regresivno menja u obliku piramide. Primer klasične piramide u prvoj seriji podižemo opterećenje od 70% 12 puta, u drugoj seriji povećavamo opterećenje na 75 % i podižemo 10 puta, u trećoj seriji još povećamo opterećenje na 80% podižemo 7 puta, i četvrtu seriju povećamo opterećenje na 85% podižemo 6 puta. Pauze između serija su oko 3 minuta.

KOMPONENTE OPTEREĆENJA	STANDARDNA METODA	EKSTENZIVNA BODBUILDING METODA	INTENZIVNA BODBUILDING METODA	IZOKINETICKA METODA	IZOMETRIJSKA METODA
Tempo izvođenja vežbe	Umeren	Umeren	Umeren	Brz	Umeren
Intenzitet opterećenja (%)	80%	60-70%	85-95%	70%	70-100%
Broj ponavljanja	7-10	12-20	8-5	12-15	4-6
Broj serija po vežbi	3-5	3-5	3-5	3	3-5
Intervali odmora (min)	3-5	1-2	3	3	3
Trajanje kontrakcije (s)	-	-	-	-	5-6
Broj vežbi na treningu	5-8	5-8	5-8	2-3	3-4
Broj treninga nedeljno	2-4	2-4	2-3	3-5	2-4

Tabela 11-3 Parametri treninga mišićne jačine primenom metoda ponavljanih naprezanja (modifikovano prema Schmidtbleicher, 1985).

Na jednom treningu posvećenom razvoju mišićne jačine akcentat se stavlja najčešće na dve, eventualno tri mišićne grupe. Otuda se i broj vežbi obično poklapa sa brojem tretiranih mišićnih grupa. Pogrešno bi

bilo na istom treningu raditi dve vežbe sa submaksimalnim težinama za istu mišićnu grupu (na primer čučanj i polučučanj). Ukoliko se ipak primenjuju dve različite vežbe za istu mišićnu grupu, preporučljivo je da se odvijaju u različitim režimima naprezanja i sa različitim intenzitetom.

Budući da je trening u kojem se primenjuje ponavljajući metod veoma zahtevan i praćen intenzivnom razgradnjom belančevina, pogrešno je primenjivati ga više od dva, eventualno tri puta tokom sedmice. Češće izlaganje sportista tako teškom radu dovodi do preterane razgradnje proteina u mišićnom tkivu koji se ne mogu nadoknaditi za period kraći od 48 sati. Preterana primena ponavljajućeg treninga sa submaksimalnim težinama otuda nije praćena superkompenzacijom u periodu oporavka, čak dovodi i do gubitka mišićne mase. Usled preteranog korišćenja metoda ponavljajućih naprezanja, kao i čestim angažovanjem istih mišića može doći do rambdomialize, tj. raspadanja mišićnih vlakana. Sadržaji raspadnutih mišićnih vlakana završavaju u cirkulaciji, a neki od tih sadržaja mogu biti toksični i mogu izazvati oštećenje bubrega.

Dužom primenom metoda ponavljanih naprezanja dolazi do sve sporijeg razvoja mišićne sile, manji prirast mišićne sile je posledica specifične adaptacije mišićnog tkiva. Posledica korišćenja opterećenja koja mogu da se savladaju 8-12 puta dovode do sarkoplazmatske hipertrofije, za koju je karakteristično povećanje volumena sarkoplazmatskog fluida i nekontraktilnih proteina između miofibrila pri čemu poprečni presek mišićnog vlakna raste, ali taj rast ne prati povećanje broja i veličine miofibrila. Sarkoplazmatska hipertrofija ne dovodi do povećanja mišićne sile, te se takvo povećanje mišićne mase naziva nefunkcionalna hipertrofija. Sarkoplazmatska hipertrofija je tipična pojava kod elitnih bodibildera. Promenom režima rada mišića, a pod delovanjem stimulusa koje karakteriše uključivanje velikog broja motornih jedinica dolazi do drugačije mišićne adaptacije tzv. miofibrilne hipertrofije (trening sa velikim težinama i manjim brojem ponavljanja). Miofibrilnu hipertrofiju karakteriše povećanje broja i veličine miofibrila, a takvo povećanje poprečnog preseka mišićnog vlakna u kojem se povećava gustoća miofibrila znatno će uticati na povećanje mišićne jačine (Željaskov 2004). Metod ponavljanih naprezanja našao je svoju primenu u radu sa početnicima i sa srednje treniranim vežbačima. Kod vrhunski sportista ovaj metod se koristi kao pomoćni metod za razvoj mišićne jačine, i najviše se koristi tokom pripremnog perioda. Dalji napredak i dostizanje vrhunskih rezultata u pogledu maksimalne jačine, moguć je samo primenom

maksimalnih težina. Otuda se često kaže da bez maksimalnih naprezanja nema vrhunskih dostignuća. Tako se metode maksimalnih naprezanja nameću kao osnovne metode za razvoj maksimalne jačine.

Prema Schmidtbleicheru (1985) *Metode maksimalnih naprezanja* (tabela 11-4) karakterišu kratkotrajna misićna naprezanja pri savladavanju maksimalnih (90%-100% od max) i supramaksimalnih opterećenja (do 150% od max; maksimalne ekscentrične akcije). Metode treninga koje pripadaju ovoj klasi idealne su za razvoj maksimalne jačine, a one s eksplozivnim izvođenjem koncentrične faze i za razvoj eksplozivne snage. Treba naglasiti kako se sve metode treninga koje spadaju u ovu grupu metoda preporučuju samo visoko treniranim sportistima koji imaju višegodišnje iskustvo u treningu snage (slika 11-1).



Slika 11-1 Primena metoda maksimalnih naprezanja

Metode maksimalnih naprezanja su:

- *Metod maksimalne dinamičke kontrakcije.* Ovaj metod podrazumeva rad sa submaksimalnim i maksimalnim opterećenjima (3RM do 1RM) koje sportista može savladati (ekscentrični i koncentrični deo pokreta). Karakteristična je npr. za “pauerliftere” (čučanaj i benč pres) koji moraju maksimalno opterećenje spustiti (ekscentrični deo) i podići (koncentrični deo). Primena ove metode, pored ostalog, zahteva i obaveznu prisutnost dva pouzdana asistenta.
- *Metod maksimalne koncentrične kontrakcije.* Kod ovog metoda maksimalno (100%) opterećenje se savladava samo u koncentričnom delu pokreta. Izvodi se 5-6 serija sa 1 ponavljanjem, pri čemu su pauze između serija 3-5 minuta. Opterećenje se nastoji savladati eksplozivno.
- *Metod maksimalne izometrijske kontrakcije.* Maksimalne izometrijske kontrakcije (100%) izvode se nasuprot nepokretnog opterećenja. Vežba se ponavlja u 5 serija sa po 2 ponavljanja, a trajanje svake kontrakcije je između 3 i 6 sekundi. Pauze između serija su 3 minute. S obzirom na činjenicu da ova metoda ne dovodi do poboljšanja intramuskularne koordinacije (Schmidtbleicher, 1985), u cilju optimalnog povećanja maksimalne jačine, potrebno ju je kombinovati sa nekom od maksimalnih dinamičkih metoda.
- *Metod maksimalne ekscentrične kontrakcije.* Kod ovog metoda izvodi se kontrolisano spuštanje tereta (ekscentrični deo pokreta) supramaksimalnih opterećenja (130-150%). Trajanje ekscentričnog dela pokreta je 5-6 sekundi, a ponavlja se 4-5 puta u 3 serije. Pauze između serija su 3 minute. Ovaj metod isto zahteva dva asistenta koji će pomagati pri izvođenju pokreta.
- *Metod skoro maksimalne koncentrične kontrakcije.* Opterećenja koja se koriste kod ovog metoda variraju od 90% do 100%. Najčešće oblikovani trening predstavlja tzv. “ravnu” piramidu: 1 serija sa 3 ponavljanja na 90%; 1 serija sa 1 ponavljanjem na 95%; 1 serija sa 1 ponavljanjem na 97,5%; 1 serija sa 1 ponavljanjem na 100%; 1 serija sa 1 pokušajem savladavanja opterećenja većeg od 100% za 1 kg (pokušaj obaranja vlastitog rekorda).

- *Metod koncentrično-ekscentrične maksimalne kontrakcije.* Ovaj metod nastoji iskoristiti, s jedne strane, prednosti koncentričnog metoda u razvoju intramuskularne koordinacije te, s druge strane, prednost postizanja maksimalne napetosti mišića pri brzom prelasku iz ekscentrične u koncentričnu fazu pokreta. Vežbač izvodi 3 do 5 serija sa 5 do 8 ponavljanja pri opterećenju od 70-90% na način da se opterećenje u početnoj fazi popušta (ekscentrični deo pokreta) brzo, nakon čega sledi njegovo usporavanje te brz prelaz u koncentrični deo pokreta i maksimalno ubrzanje opterećenja. Nužno je, prema autorovom mišljenju, naglasiti kako spomenuti metod, zbog brzog popuštanja velikih opterećenja, predstavlja veliki rizik od povreda lokomotornog aparata (prvenstveno vezivnog tkiva).

METODA MAKSIMALNIH NAPREZANJA	MAKSIMALNE DINAMIČKE KONTRAKCIJE	MAKSIMALNE KONCENTRIČNE KONTRAKCIJE	MAKSIMALNE IZOMETRIJSKE KONTRAKCIJE	MAKSIMALNE EKSCENTRIČNE KONTRAKCIJE	SKORO MAKSIMALNE KONTRAKCIJE	KONC.-EKSC. MAKSIMALNE KONTRAKCIJE
Tempo izvođenja vežbe	Sporo	Eksploz.	Eksploz.	Sporo	Eksploz.	Eksploz.
Intenzitet-opterećenje (%)	90/95/100/	100%	100%	120-150%	90/95/97/100+	70-90%
Broj ponavljanja	3/1/1	1	2	5	3 1/1/1/+1	6-8
Broj serija po vežbi	4	5	5	3	ukupno 5	3-5
Intervali odmora (min)	5	3-5	5	3	3-5	5
Broj vežbi na treningu	2-3	3-4	3	2	3-4	3
Broj treninga nedeljno	2	2	2	1	2-3	2

Tabela 11-4 Parametri treninga mišićne jačine primenom metoda maksimalnih naprežanja (modifikovano prema Schmidtbleicher, 1985).

11.3.2. METODIKA RAZVOJA BRZINSKE SNAGE

Brzinska snaga je još uvek nedovoljno definisan pojam o kojem se raspravlja prevashodno na čisto empirijskom nivou. Teško je, naime, egzaktno izmeriti koliko se u ovom fizičkom svojstvu ispoljavaju dve motoričke dimenzije između koji vlada odnos obrnute proporcionalnosti – sila i brzina. Brzinska snaga se susreće u maksimalno brzim pokretima kojima se savladava manji spoljašnji otpor, reda veličina 30-70% maksimalne sile. Veličina spoljašnjeg otpora navodi na definisanje dve varijante brzinske snage: prva se odnosi na pokrete kojima se deluje protiv veoma malog otpora (ne većeg od 40% maksimalne sile), dok se o drugoj raspravlja kada se savladava nešto značajniji otpor (veći od 40% maksimalne sile). Zbog toga se i u metodici njenog razvoja razlikuju dve varijante.

Prva varijanta brzinske snage vezuje se obično za ciklične pokrete i repetitivni režim mišićnog naprezanja (na primer atletske sprint, trčanje preko visokih prepona i sl). Osim toga, prisutna je i u jednokratnim pokretima kojima je za kratko vreme potrebno razviti veću silu, kao prilikom bacanja koplja, smeča u odbojci ili šuta u rukometu. Kako se u pokretima zasićenim prvom varijantom savladava mali otpor, maksimalna jačina aktuelne muskulature ne predstavlja značajan činilac kvaliteta izvođenja. Može se čak reći da ovim slučajevima brzina igra značajniju ulogu. Otuda se prilikom treninga za razvoj prve varijante brzinske snage uglavnom primenjuje serijsko-ponavljajući metod u kojem mišići rade u repetitivnom režimu protiv malog spoljašnjeg otpora (najčešće oko 30-40% maksimuma). Tom prilikom neophodno je, radi uspostavljanja potrebnog režima nervnog razdraženja, pokrete izvoditi maksimalnom brzinom, tj. balističkim naprezanjem u aktivnoj fazi. Ukoliko je reč o dizanju tereta, sprava bi, kako to kažu Verhošanski i saradnici (1992), trebalo da radi „punom parom“. Praksa je pokazala da je poboljšanje prve varijante brzinske snage efikasnije ukoliko u treningu ima više brzinskih opterećenja, a manje dugotrajnog rada malom brzinom pokreta. Najveći akcenat, dakle, trebalo bi staviti na maksimalnu brzinu izvođenja čime se ostvaruje visoka sinergija aktivne muskulature. U cilju usmerenog dejstva na mehanizam uključivanja mišića u radno stanje, preporučljivo je kombinovati vežbe sa lakim teretom (od 30 do 40%) i vežbe sa većim teretom (od 60 do 80%). Ovakav način rada označen je kao *varijantni*

metod. Praksa je pokazala da se najveći efekti varijantnim metodom postižu ukoliko je odnos vežbi sa malim i velikim teretom 5:1 (u korist malog tereta).

Druga varijanta brzinske snage susreće se u jednokratnim pokretima kakvi su, na primer skok u dalj ili u vis, i podrazumeva savladavanje većeg otpora. Zbog toga na njeno ispoljavanje značajan uticaj pokazuje maksimalna jačina. Pokazalo se, naime, da mišićna sila, sa povećanjem spoljašnjeg otpora, ima sve značajniji uticaj na brzinu pokreta (kao u bacanju kugle, na primer). Prema tome, osim varijantnog metoda, na razvoj drugog tipa brzinske snage (rad protiv većeg otpora) može se posredno uticati povećanjem maksimalne mišićne sile. Akcenat bi i u ovom slučaju trebalo staviti na brzinu pokreta, zbog čega odnos između malih i velikih težina i dalje iznosi 5:1. U treningu brzinske snage i *brzinsko snažni metod* je našao veliku primenu. Karakteristike ove metode je savladavanje relativno manjih (30-50%) i srednjih (60-70%) opterećenja (zavisno od vežbe koja se izvodi), izvodeći koncentrični deo pokreta maksimalno brzo. Vežbe se ponavljaju u 5 do 6 serija sa po 3-10 ponavljanja. Najvažnija stvar u primeni brzinsko-snažne metode je brzina izvođenja pokreta. Stalni akcenat na brzini izvođenja pokreta omogućuje sportisti da se usresredi na postizanje maksimalne brzine tega u svakom ponavljanju (slika 11-2). Da bi brzina tega bila maksimalna, potrebno je faktor umora svesti na minimum.



Slika 11-2 Primena brzinsko snažne metode

Brzinsko snažna metoda je jako efikasna, međutim postoje sportovi u kojima je potrebno neki rekvizit ili spravu (koplje, lopta...) maksimalno ubrzati u koncentričnoj fazi pokreta i izbaciti u slobodan prostor. Upravo u sportovima kao što su rukomet, košarka, vaterpolo..., *balistički metod* se pokazao kao veoma dobar za poboljšanje brzinske snage. Osnovna razlika između balističke i brzinsko-snažne metode jeste u načinu završavanja koncentrične faze rada mišića. Naime, kod balističke metode, opterećenje (najčešće je to teg, medicinka, kugla ili vlastita masa) se nastoji u koncentričnoj fazi pokreta maksimalno ubrzati i izbaciti u slobodan prostor (slika 11-3). Cilj u svakoj vežbi je eksplozivnim ispoljavanjem sile, ubrzati opterećenje te ga izbaciti što je moguće dalje (npr. bacanje medicinke preko glave napred) ili što je moguće više (npr. skok iz čučnja sa tegom na ramenima). Ključni faktor u primeni balističke metode je brzina izvođenja pokreta. Vežba se izvodi sve dok je moguće zadržati brzinu izbačaja. Vežbe se izvode u 3 do 5 serija sa 6 do 15 ponavljanja, zavisno od veličine opterećenja. Intenzitet opterećenja mora biti manji od 30% od max (tabela 11-5).



Slika 11-3 Primena balističke metode

KOMPONENTE OPTEREĆENJA	BRZINSKO-SNAŽNA METODA	BALISTIČKA METODA
Tempo izvođenja vežbe	Eksplוזivan	Eksplוזivan
Intenzitet - vanjsko opterećenje (%)	30-70%	< 30%
Broj ponavljanja	3-10	6-15
Broj serija po vežbi	5	3-5
Intervali odmora (min)	3-5	3
Broj vežbi na treningu	3-4	2-3
Broj treninga nedeljno	2-3	2-3

Tabela 11-5 Parametri treninga za razvoj brzinske snage

11.3.3. METODIKA RAZVOJA EKSPLOZIVNE SNAGE

Eksplוזivna snaga je prisutna u brzim pokretima kojima se savladava otpor veći od 70%, ali manji od 90% maksimalne sile koju aktuelni mišići mogu da ostvare. U poređenju sa brzinskom, eksplוזivna snaga više je zasićena maksimalnom silom, a manje brzinom kontrakcije. Zbog toga se za razvoj eksplוזivne snage dosta koristi indirektni put razvoja koji je veoma blizak ranije opisanim metodama za razvoj maksimalne sile. Reč je, dakle, o metodu ponovljenog podizanja submaksimalnog tereta i o serijsko ponavljajućem metodu sa rastućim opterećenjem. Jedini detalj koji primenu ovih trenažnih postupaka čini specifično usmerenim na eksplוזivnu snagu je insistiranje da se svaki pokret izvodi maksimalnom brzinom. Zaciorski (1975) definiše tri osnovna modela za ostvarivanje maksimalnih naprezanja: (1) podizanje maksimalnog tereta, (2) podizanje submaksimalnog tereta do otkaza i (3) podizanje submaksimalnog tereta maksimalnom brzinom. Dok su prva dva modela rada usmerena na povećanje apsolutne, dotle je treći najefikasniji u pogledu povećanja eksplוזivne snage.

Prilikom upražnjavanja vežbi za razvoj eksplוזivne snage veoma je važno voditi računa o broju ponavljanja u jednoj seriji i o dužini odmora između serija. Budući da prilikom ispoljavanja eksplוזivne snage značajan udeo ima brzina kontrakcije, broj ponavljanja u jednoj seriji ne bi smeo da dovede do vidnijeg pada efikasnosti pokreta u završnoj fazi. To praktično znači da se vežba nikada ne izvodi do otkaza, čak se prekida

čim dođe do vidljivog usporenja pokreta. Na taj način održava se potreban kvalitet razdraženja nervnog sistema koji bi trebalo da bude usmeren ka visokoj sinhronizaciji motornih jedinica. Zbog toga je prilikom rada na povećanju eksplozivne snage preporučljivo koristiti težine nešto niže od submaksimalnih (najčešće one ekvivalentne 80% maksimalne sile). Što se tiče pauza između serija, trebalo bi da traju dovoljno dugo kako bi se u narednu seriju ušlo bez osetnijeg pada radne efikasnosti, ali ne i suviše dugo kako bi se očuvao potrebni nivo razdraženja nervnog sistema. Kod dobro treniranih sportista pauza traje oko dva, a kod početnika tri minuta.

Kombinovanjem metoda opisanih u odeljku posvećenom razvoju maksimalne mišićne sile i metoda ponavljajućeg rada maksimalnom brzinom sa težinama bliskim submaksimalnim, ostvaruje se brz napredak u pogledu eksplozivne snage. Trenerska iskustva pokazuju da je optimalan odnos submaksimalnih i njima bliskih težina na jednom treningu 1:3. Praktično, sportista u šest od osam serija podiže teret blizak submaksimalnom (70-80%), a u dve tipične submaksimalne težine (85-95%). O efikasnosti rasporeda ovih serija teško je pouzdano govoriti, ali izgleda da se najbolji rezultati dobijaju njihovim kombinovanjem. Kombinovanjem različitih opterećenja i praćenjem njihovog uticaja na poboljšanje eksplozivne snage bavili su se bugarski i ruski naučnici i treneri. Oni su osmislili novi metod za razvoj eksplozivne snage koji je dobio naziv *kompleksni trening* (slika 11-4).



Slika 11-4 Primena kompleksnog treninga

Kompleksni trening podrazumeva kombinaciju velikih i malih opterećenja unutar jednog treninga. Istovremeno eksplozivno savladavanje velikih vanjskih opterećenja, npr. teg i malih opterećenja, npr. masa tela, utiče na bolju nervnomišićnu adaptaciju, utiče se i na gornji i donji dio krivulje sila-brzina, te se na taj način kombinacijom koncentričnih i ekscentrično-koncentričnih eksplozivnih vežbi utiče na brzo generisanje mišićne sile. Danas se koriste različiti nazivi za ovakvu vrstu treninga. Najčešći su „kontrasni trening“, „tradicionalni trening“ i „kompleksni trening“. (Duthie i sar., 2002). Duthie i saradnici su napravili razliku između ovih termina. Pod *tradicionalnim treningom* se podrazumeva savladavanje malih pa velikih opterećenja, *kompleksni trening* podrazumeva nekoliko setova velikih, nakon kojih slede setovi malih opterećenja, a *kontrasni trening* zastupa primenu po principu, set malih - set velikih opterećenja.

Nauka je poslednjih godina u istraživačkim laboratorijama došla do saznanja da izmenjivanjem vežbi velikog i malog opterećenja može doći do velikih trenežnih efekata. Ova saznanja povezana su sa efektima kod kojih primena većih trenažnih opterećenja izaziva efekte u kasnom izvršenju eksplozivnih kretnji. Izvođenjem vežbi velikog opterećenja prouzrokovaćemo da naredna akcija bude privremeno poboljšana, zbog povećane razdražljivosti (ekscitiranosti) srednjeg nervnog sistema (Ebben i sar., 2000). Ova ekscitiranost nervnog sistema rezultat je akutne fiziološke adaptacije, koja traje 8 do 10 min i naziva se postaktivacijska potencijacija-PAP (Sale, 2002). Suština PAP-a je u dejstvu velikih opterećenja koja uzrokuju visok stepen nervne stimulacije, što rezultira uključivanjem većeg broja motornih jedinica i većom frekvencijom nervnih impulsa. PAP uobičajeno traje 8-10 minuta te u tom periodu moguće je delovati predopterećenjem, te izazvati pozitivne efekte na nervno-mišićni sistem. Predopterećenje je svaki trenažni nadražaj čiji je cilj unapređivanje izvođenja hijerarhijski nadređenog trenažnog sadržaja (Jukić, 2004). Ti sadržaji moraju biti u nizu bez velikih pauza u izvođenju niza. Predopterećenje se može izvesti u izometrijskom, koncentričnom, ekscentričnom i ekscentrično-koncentričnom režimu rada. Ranija istraživanja primenjivala su submaksimalna i maksimalna opterećenja, međutim moguće je koristiti i mala i srednja opterećenja za aktiviranje PAP-a. Tada govorimo o pretvarajućem trenažnom nadražaju. Pretvarajući nadražaj podrazumeva primenu specifičnih pripremnih vežbi nakon određenog tipa predopterećenja. Zaciorski je 1992. god. potvrdio

činjenicu da se različite grupe motornih jedinica unutar jednog mišića ponašaju u zavisnosti od samog karaktera pokreta, tj. da na određene aktivnosti mogu biti odmah aktivirane, dok na druge ne. Otuda još jedna prednost ove metode treninga.

Postoje dva osnovna načina primene kompleksnog treninga:

- kombinovanje podizanja velikih i malih opterećenja između serija vežbi
- kombinovanje podizanja velikih i malih opterećenja unutar serija, tzv. superserije.

Prvi način podrezumeva podizanje velikih opterećenja u jednoj vežbi (+90%), kroz nekoliko serija, a nakon toga sledi izvođenje biomehanički slične vežbe sa malim opterećenjem, maksimalnom brzinom.

Drugi način je grupisanje dve vežbe ili više njih koje se izvode u jednoj velikoj seriji (superseriji), pri čemu se izmjenjuje rad sa velikim i malim opterećenjem, sa maksimalnom brzinom izvođenja.

Pored opisanih, za razvoj eksplozivne snage poslednjih godina se u svetu dosta koristi *udarni metod* u čijoj suštini je primena pliometrijskih vežbi. Zbog toga se udarni metod često označava i kao *pliometrijski trening*. Istraživanja obavljena na vrhunskim sportistima pokazuju da se pomoću njega ostvaruje brz napredak u eksplozivnoj snazi, ali da je, zbog izuzetno velikih sila koje se pojavljuju u amortizujućim vežbama, praćen i čestim povredama lokomotornog aparata. Zbog toga je pre primene pliometrijskog treninga neophodno izvršiti temeljnu pripremu i mišiće ojačati kako bi bez trauma podneli mehaničke iritacije udarnog metoda.

Ideja udarnog metoda sastoji se u korišćenju nervno-mišićnog naprezanja izazvanog kinetičkom energijom tela ili rekvizita koja je posledica slobodnog pada sa određene, strogo dozirane visine. Amortizujući pokreti na relativno kratkom putu izaziva jako (udarno) rastezanje mišića, stimulišući intenzitet pražnjenja motornih neurona uz korišćenje elastičnih potencijala u nastavku pokreta koji se zasniva na koncentričnoj kontrakciji. Prema tome, mišić brzo prelazi sa popuštajućeg na savladavajući režim rada, odnosno ekscentričnu u vrlo kratkom vremenskom periodu zamenjuje koncentrična (miometrijska) kontrakcija. Pri ekcentričnim kontrakcijama aktiviraju se brze motorne jedinice, što dovodi do angažovanja većeg broja belih mišićnih vlakana. Poznato je da

ova vlakna imaju veću frekvenciju rada i veća su, pa stoga proizvode i više sile po motoričkoj jedinici u odnosu na druga vlakna. Ta sila je veća od sile koju mišić proizvodi pri koncentričnoj kontrakciji, stoga ekscentrična kontrakcija je glavni tip kontrakcije u pliometriji (slika 11-5).



Slika 11-5 Primena pliometrijskog treninga

Najčešće forma realizacije udarnog metoda je vertikalni sunožni odskok nakon skoka sa određene, strogo dozirane visine (skok u dubinu). Jako bitan kriterijum prilikom primene udarnog metoda je vreme prelaska iz ekscentricnog u koncentricni deo akcije (npr. trajanje kontakta s podlogom u skoku) mora biti kratko, manje od 250ms. Vreme transfera iz ekscentrične faze u koncentričnu fazu, ne sme biti duže od životne dobi povezanih poprečnih mostova. Ako je taj transfer predug, poprečni mostovi se rasklapaju i elastična energija koja je bila skladištena u tim jedinicama ne može se više upotrebiti za koncentričnu kontrakciju, te se onda ukupni učinak ekscentrično koncentrične kontrakcije umanjuje za 20 – 30 %. Ako je amortizacija spora, mišići gube elastičnu energiju najčešće u obliku toplote (Cavanga, 1977). Analize efekata udarnog metoda u laboratorijskim i prirodnim uslovima treninga pokazale su da kinetička energija padanja tela obezbeđuje intenzivnu stimulaciju

aktivnosti mišića obezbeđujući uslove za značajno povećanje brzine kontrakcije. Mobilizacija radne aktivnosti mišića u udarnom režimu, u izvesnoj meri, ima prinudni karakter. Ukoliko pri radu sa opterećenjem stepen mobilizacije motornih potencijala mišića zavisi najviše od voljnog napora, tada se, pri udarnom režimu, ona određuje prvenstveno spoljašnjim uzrocima. Lokomotorni aparat i centralni nervni sistem prinuđeni su da reaguju na ekstremne uslove koji se stvaraju u fazi amortizacionog udara sa toliko visokim vrednostima kontraktilne aktivnosti koja je neostvariva samo na osnovu voljnog naprezanja. Udarni metod ima izuzetno velik trenažni uticaj na mišiće, veći od bilo kog drugog načina njihove prirodne stimulacije. Zato je nedozvoljeno prekoračiti njegovu optimalnu dozu i dužinu korišćenja u treningu.

U odnosu na godišnji raspored trenažnih ciklusa, udarni metod se preporučuje tek u drugoj polovini pripremnog perioda. Međutim, on može biti veoma efikasan i za održavanje dostignutog nivoa eksplozivne snage, pa se otuda njegova primena preporučuje i u takmičarskom periodu i to 10 do 14 dana pre takmičenja.

Pravilno doziranje vežbi udarnog karaktera na jednom treningu, podrazumeva primenu 4-5 serije sa po 8-10 ponavljanja za dobro pripremljene sportiste, odnosno, 2-3 serije sa po 3-8 ponavljanja za slabije pripremljene. Pauze između serija trebalo bi da traju od 3 do 10 minuta, a trening je preporučljivo završavati laganim trčanjem ili vežbama relaksacije (tabela 11-6).

Veličina udarnog opterećenja određuje se težinom tereta i visinom njegovog slobodnog pada. Optimalna kombinacija jednog i drugog određuje se empirijski za svaki konkretan slučaj, pri čemu bi prednost ipak trebalo dati većoj visini nego većem teretu. Amortizacioni put bi trebalo da bude minimalan, ali dovoljan da bi se ispoljio elastični potencijal mišića i stvorilo udarno naprezanje. S toga je preporučljivo da se amortizujući pokret završi stavom podesnim za nastavak kretanja. Prilikom skokova u dubinu sportista ne bi smeo da se spušta suviše duboko u čučanj, već da amortizaciju vrši samo do ugla optimalnog za izvođenje odskoka.

Iako su mogućnosti udarnog metoda u razvoju eksplozivne snage velike, ipak ga ne bi trebalo precenjivati. On je samo jedan od mogućih načina intenziviranja mišićnog naprezanja i postizanja nadopterećenja prirodnim sredstvima treninga. Trebalo bi da zauzme završno mesto u kompleksnom sistemu rada na poboljšanju specifične snage.

KOMPONENTE OPTEREĆENJA	PLIOMETRIJA	KONTRASTNA METODA
Tempo izvođenja vežbi	Eksplozivan	Eksplozivan
Intenzitet opterećenja (%) 1.sila (vanjski otpor) 2.brzina izvođenja	bez opterećenja maksimalan intenzitet	0 do 90-100% maksimalan intenzitet
Broj ponavljanja	3-10	2-3/6-10
Broj serija po vežbi	2-5	3-5
Intervali odmora (min)	3-10	5-8
Broj vežbi na treningu	2-8	2-3
Broj treninga nedeljno	1-3	2-3

Tabela 11-6 Parametri treninga za razvoj eksplozivne snage

11.3.4. METODIKA RAZVOJA IZDRŽLJIVOSTI U SNAZI

Izdržljivost u snazi karakteristična je za aktivnosti koje zahtevaju dugotrajno ispoljavanje mišićnog naprezanja bez smanjenja radne efikasnosti. S obzirom da pokreti zasićeni snažnom izdržljivošću najčešće traju duže od jednog minuta, spoljašnji otpor koji se tom prilikom savladava ne prevazilazi zonu visokih opterećenja. Zbog toga se u treningu ovog specifičnog fizičkog svojstva ne koriste opterećenja veća od 50% maksimalne mišićne sile za dati položaj i odgovarajući režim kontrakcije. Istina, nekada je u dužem vremenskom periodu neophodno savladavati i daleko veći otpor, ali je tom prilikom za uspeh u sportskoj aktivnosti presudna apsolutna snaga. Zbog toga se razvoj izdržljivosti u snazi smatra besmislenim kada je osnovna takmičarska aktivnost povezana sa uzastopnim savladavanjem otpora većeg od 70% maksimalne sile.

Izdržljivost u snazi manifestuje se kroz dve osnovne forme: *dinamičku* koja je tipična za ponavljajuće pokrete relativno malom brzinom i *statičku* koja se vezuje za održavanje takmičarske pozicije tokom sportske borbe. Shodno tome, u metodici razvoja snažne izdržljivosti izdvajaju se dva osnovna modela treninga: *intervalni* i

ponovljeni izometrijski. Bez obzira o kojoj varijanti je reč, efekti treninga za snažnu izdržljivost determinisani su sledećim elementima: (1) veličinom opterećenja, (2) tempom pokreta, (3) trajanjem rada, (4) intervalima odmora i (5) početnim nivoom sportiste.

Za razvoj izdržljivosti u snazi savremeni sportski trening koristi se prvenstveno intervalnim metodom koji se sastoji u ponavljanju pokreta sa opterećenjem između 25 i 40% u odnosu na maksimalnu silu u srednjem tempu (60 do 100 ponavljanja u minuti). Ponavljajući pokreti izvode se u nekoliko serija, najčešće šest do deset u zavisnosti od veličine otpora i početnog nivoa pripremljenosti sportiste. Veličina spoljašnjeg otpora određuje i broj ponavljanja u jednoj seriji. Tako postoji sledeće pravilo o broju ponavljanja u jednoj seriji u zavisnosti od veličine tereta:

- Umereno veliki otpor (65 - 75%) – 8 do 12 ponavljanja
- Srednji otpor (50 - 65%) – 13 do 18 ponavljanja
- Mali otpor (30 - 50%) – 19 do 25 ponavljanja

U svakoj seriji sportista bi trebalo da se približi *otkazu*, ali ne i da ga ostvari. Pojava otkaza bitno bi produžila vreme oporavka između serija i umanjila efikasnost u narednim intervalima rada. Optimalnom pauzom u ovom metodu smatra se ona koja je približno dva puta duža od trajanja opterećenja. U intervalnom treningu za razvoj izdržljivosti u snazi često se primenjuju 2-3 bloka serija (primera radi, izvodi se ukupno 12 serija podeljenih u dva bloka po 6). Pauza između blokova obično je pet do šest puta duža od pauza između serija.

Za razvoj izdržljivosti u snazi povremeno se može koristiti i metod ponovljenih izometrijskih naprezanja. Model takvog vežbanja najčešće se sastoji u izdržaju tereta ekvivalentnog nivou od 60% maksimalne izometrijske sile u trajanju od pet sekundi, nakon čega sledi pauza od dve sekunde. Ovi intervali (5 sekundi naprezanja i 2 sekunde odmora) smenjuju se sve do pojave nemogućnosti da se zadati položaj održi, tj. do pojave otkaza. Neka istraživanja (Platonov, 1984; Shephard i Astrand, 1992; Verhošanski i saradnici, 1992) pokazala su, međutim, da je za razvoj i dinamičke i statičke snažne izdržljivosti daleko efikasniji intervalni metod rada. Otuda je u treningu sportista kod kojih je važno razviti izdržljivost u snazi, bez obzira na tip (dinamički ili statički) mnogo ekonomičnije primenjivati dinamički oblik vežbanja.

U trenažnom procesu usmerenom na razvoj izdržljivosti u snazi dosta se primenjuje i rad sa otežanim uslovima u kojima se izvode vežbe koordinaciono i strukturalno bliske specifičnim takmičarskim pokretima.

Tako se primenjuje trčanje i skakanje sa prslucima i pojasevima, veslanje u čamcu sa specijalnom hidrokočnicom, plivanje uz razvlačenje gumenog ekspandera vezanog za noge ili pojas plivača i sl. Istraživanja u kojima su valorizovani efekti treninga u otežanim uslovima pokazuju da se ovakvim načinom rada snažna izdržljivost može popraviti za 10-50% u odnosu na početni nivo.

11.4. METODIKA RAZVOJA BRZINE

Brzina ima veoma složenu strukturu i raznovrsne manifestne oblike. Zbog izrazite multidimenzionalnosti smatra se najkompleksnijim fizičkim svojstvom. Kao njena tri osnovna vida najčešće se navode: (1) brzina motorne reakcije, (2) brzina pojedinačnog pokreta i (3) frekvencija pokreta. Uticaj treninga na svaki od njih je specifičan. Dok se brzina pojedinačnog pokreta može značajno povećati na račun brzinske i eksplozivne snage, dotle se na brzinu motorne reakcije gotovo ne može delovati. Istina postoje podaci koji ukazuju na kraće vreme reagovanja treniranih od netreniranih osoba, međutim te razlike su samo posledica dostizanja genetskih limita pod uticajem sistematskog vežbanja. Mali pomaci u brzini motorne reakcije od nekoliko stotih delova sekunde, objašnjavaju se, naime, uvežbanošću sportista da maksimalno iskoriste svoje genetske predispozicije, što se za netrenirane ne može reći. Te razlike u korist treniranih su sve očiglednije što je pokret složeniji i što se više udaljava od proste motorne reakcije.

Nekoliko puta je naznačeno da se na brzinu, kao kompleksno antropomotoričko svojstvo, prevashodno može uticati povećanjem specifične snage i usavršavanjem tehnike pokreta u kojima se brzina ispoljava. To su očigledno posredni putevi delovanja na brzinu pojedinačnog pokreta, kao i na frekvenciju njihovog uzastopnog izvođenja. U ovom odeljku od značaja je ukazati na mogućnosti direktnog uticanja na brzinu sportista putem specifičnih, samo treningu za brzinu svojstvenih metoda i sredstava. Prilikom njihove analize pažnja je najpre usmerena ka nekim opštim principima rada, a zatim na metode razvoja brzine trčanja (sprinterske brzine), s obzirom na veliku zastupljenost brzih translokacija kompletnog tela u prostoru. Povećanju brzine trčanja pažnja se zato ne poklanja samo u disciplinama atletskog

sprinta, već i u brojnim drugim sportovima (fudbalu, košarci, rukometu, tenisu...).

Osnovu za usavršavanje brzine predstavlja *ponavljajući metod*. Njegov krajnji cilj je da se treningom prevaziđe sopstvena maksimalna brzina, a ostvaruje se: optimalnim odnosom obima i intenziteta rada, brojem i trajanjem vežbi (serija), trajanjem oporavka, smenjivanjem intervala rada i odmora. Trajanje aktivnosti koncipira se tako da brzina kretanja ne opada pri kraju izvođenja. Vežbe se uvek izvode maksimalnom mogućom brzinom. Intervali odmora između pokušaja trebalo bi da su toliko dugi da se ostvari relativno potpun oporavak; drugim rečima, brzina ne bi smela da se smanjuje od ponavljanja do ponavljanja.

Ključne determinante za određivanje trajanja odmora su dve fiziološke komponente: (1) promena razdražljivosti centralnog nervnog sistema i (2) vraćanje na polazne vrednosti pokazatelja vegetativnih funkcija u vezi sa otplatom kiseoničkog duga. Razdražljivost centralnog nervnog sistema je neposredno nakon brzih kretnji povišena, a zatim se postepeno snižava. Ukoliko bi tokom rada taj pokazatelj bio jedini orjentir, bili bi potrebni relativno kratki intervali odmora kako se razdražljivost nervnog sistema ne bi bitnije smanjila. Svako naredno ponavljanje tada bi počinjalo sa većim nivoom razdražljivosti i omogućavalo bi lakše dostizanje maksimalne brzine. Brza kretanja su, međutim, praćena stvaranjem značajnog kiseoničkog duga za čiju eliminaciju je potrebno više desetina minuta. To vreme može još biti produženo nagomilavanjem produkata metabolizma stvorenih u tako teškom radu (laktati, kateholamini i td). Zbog toga suviše kratki intervali odmora vrlo brzo prouzrokuju pojavu zamora i smanjenje brzine pokreta. Imajući sve ovo u vidu, neophodno je da intervali odmora budu, s jedne strane, toliko kratki da se razdražljivost centralnog nervnog sistema bitno ne smanji, a s druge toliko dugi da se pokazatelji vegetativnih funkcija mogu više ili manje vratiti na polazne vrednosti. Takve efekte je moguće ostvariti optimalnim pauzama zato što procesi oporavka nakon teškog rada ne teku ravnomerno. Odmah po prestanku rada, oporavak je najbrži, a zatim se usporava. Tako se u prvoj trećini pauze ostvari približno 65% ukupnog oporavka, u drugoj trećini 30%, a u trećoj još svega 5%. Za relativno potpun oporavak nakon sprinta na 50 metara, potrebno oko 6 minuta, pri čemu se 95% ukupnog oporavka realizuje za oko četiri

minuta. Tek nakon tog vremena sportista bi mogao ponovo da istrči istu deonicu maksimalnom brzinom.

Prilikom učestalog ponavljanja brzih kretnji preporučljivo je tokom pauza koristiti aktivan odmor. Na taj način se potrebna razdraženost centralnog nervnog sistema održava na visokom nivou. Za aktivni odmor koriste se vežbe malog intenziteta koje angažuju iste mišićne grupe kao i osnovna vežba. Kod trčanja, na primer, pauze bi trebalo ispuniti mirnim hodom ili sporim opuštenim trčanjem, a kod plivanja sporim pokretima u vodi. Što se tiče intervala aktivnog naprezanja u ponavljajućem metodu, jasno je da su ispunjeni maksimalno brzim kretnjama, pa se kao takve realizuju isključivo na račun anaerobnih izvora. U zavisnosti od specifičnosti sportske discipline u kojoj se brzina ispoljava, određuje se dužina intervala rada. Osnovno pravilo kojeg se valja držati je da intervali ne smeju suviše dugo da traju kako ne bi došlo do osetnog pada brzine izvođenja. Svako neodmereno produžavanje intervala rada, trening usmerava ka izdržljivosti, dok brzina ostaje zapostavljena.

U mnogim sportovima veoma značajnu ulogu igra **brzinska izdržljivost** koja se definiše kao sposobnost da se brzi pokreti što duže izvode. Rad na brzinskoj izdržljivosti takođe je baziran na ponavljajućem metodu i gotovo je identičan sa treningom za brzinu. Suštinska razlika je u trajanju intervala odmora. Dok prilikom rada na razvoju brzine pauze moraju da obezbede relativno potpun oporavak, dotle se u treningu za brzinsku izdržljivost primenjuju nešto kraće pauze koje potenciraju brzinu izvođenja u uslovima sve većeg kiseoničkog duga. Prema tome, kada se radi na brzinskoj izdržljivosti dovoljno je samo skratiti intervale odmora između deonica, a kasnije i produžavati intervale rada.

Kako je za usavršavanje brzine važan uslov optimalno stanje razdražljivosti centralnog nervnog sistema koje se može ostvariti samo kada sportista nije zamoren, rad na brzini se primenjuje na početku treninga. Krajnje laički pristup, nažalost ne redak u trenerskoj praksi, je davanje kratkih sprinteva na kraju treninga. U odnosu na raspored treninga, brzini je najbolje posvetiti pažnju u prvom ili drugom danu, nakon jednog dana odmora od prethodnog mikrociklusa.

11.4.1. METODIKA RAZVOJA MAKSIMALNE BRZINE TRČANJA

Brzina trčanja ili sprinterska brzina, osim u klasičnom i produženom atletskom sprintu (trčanje na distancama od 60 do 400 metara), često je presudna i u većini drugih sportova. Kada se govori o sprinterskoj brzini, neophodno je uočiti dve specifične faze tokom savladavanja određene distance. Prva se odnosi na uspostavljanje maksimalne brzine kretanja za što kraće vreme i označava se kao *startno ubrzanje*, dok se druga vezuje za održavanje dostignutog maksimuma i zove se *maksimalna brzina*. U atletskom sprintu, na primer trci na 100 metara, za krajnji rezultat značajne su obe brzinske faze, dok u sportskim igrama dominantnu ulogu igra startno ubrzanje.

Za bliže određenje startnog ubrzanja i maksimalne brzine, neophodno je izneti podatke iz relevantnih istraživanja čiji je cilj bio da se precizno utvrdi vremenska i prostorna granica koja ih razdvaja. Tako Otason (1975) navodi da se maksimalna brzina može realizovati samo nakon sprinta koji traje između 3 do 5 sekundi. To praktično znači da bi dostizanju maksimalne brzine prethodio izvestan zalet od 20-40 m. Slične podatke navodi i Stefanović (1993) u svojoj monografiji posvećenoj brzini trčanja u atletici. Kada se maksimalna brzina dostigne, moguće ju je održati: 5-10 sekundi (Friedl, 1968), odnosno 3-8 sekundi (Stefanović, 1993) 3-8 sekundi. Očuvanje maksimalne brzine iskazano dužinskim merama iznosi: 35-80 metara (Harre, 1973) , prema Zaciorskom (1975) 20-70 m, a prema Dintimanu (1975) 15-40 jardi (14-36 metara). Bez obzira od kog se kriterijuma pošlo, neosporno je da se maksimalna brzina, u najvećem broju slučajeva, ne može dostići pre dvadesetog metra (tabela 11-7). Sagledaju li se dimenzije, na primer košarkaškog ili rukometnog terena, jasno je da učesnici u ovim sportovima gotovo nikad ne razviju maksimalnu brzinu (osim u nekoj izrazito „dugoj kontri“). Čak se i u fudbalu, gde je teren znatno većih dimenzija, retko susreću tako dugi sprintevi. Dešava se istina da fudbaler sa loptom pretrči i čitavih 40 metara, ali ta deonica obično uključuje trčanje srednjom i submaksimalnom brzinom. Na osnovu iznetih podataka lako se zaključuje zašto je u sportskim igrama daleko značajnije startno ubrzanje od maksimalne brzine trčanja.

INDIVIDUALNA ANALIZA TRKE NA 100 METARA										
BOLT USAIN	9,58		Vreme trčanja(s)	Prosečna dužina koraka(m)	Prosečna frekvencija koraka(1/s)					
Vreme reakcije	0,146		-	-	-					
0-20m			2,89	1,78	3,89					
20-40m			1,75	2,52	4,54					
40-60m			1,67	2,67	4,49					
60-80m			1,61	2,77	4,49					
80-100m			1,66	2,85	4,23					
PROSEČNA BRZINA TRČANJA NA 10M, 20M,...100M										
m	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
m/s	5,29	10,10	11,11	11,63	12,05	12,20	12,35	12,20	12,05	12,05
km/h	19,04	36,36	39,99	41,87	43,38	43,92	44,46	43,92	43,38	43,38

Tabela 11-7 Bolt Usain - individualna analiza trke na 100 metara

U teorijskim raspravama o razvoju brzine zato zasebno se analiziraju metodika usavršavanja startnog ubrzanja i metodika usavršavanja maksimalne brzine (Stefanović, 1993). Istina rad na poboljšanju oba fizička svojstva deli slične methodske postupke i sredstva treninga. Kao dve dominantne varijante izdvajaju se: *metod postepenog i naglog opterećenja*. Obe varijante su zapravo modifikacije ponavljajućeg metoda.

Metod postepenog opterećenja sastoji se u primeni nekoliko uzastopnih ubrzanja između kojih postoji pauza dovoljna za relativno potpuni oporavak sportiste. Jedno ubrzanje podrazumeva progresivno uvećanje brzine iz metra u metar, sve do dostizanja maksimalne brzine. Istraživanja, kao i trenerska praksa, pokazali su da se najbolji efekti postižu kada se dostignuta maksimalna brzina zadrži jednu do dve sekunde (Stefanović, 1993). Dužina distance koja se tom prilikom pretrči je od 30 do 50 metara, što znači da se maksimalna brzina relativno kasno dostiže. Razlog za odlaganje brzinskog maksimuma je usredsređenost sportiste na tehniku trčanja, tj. primena kontrolišuće brzine.

Metod naglog opterećenja koristi maksimalna naprezanja od samog početka trčanja. To znači da sportista od prvog metra sprintuje, tj. nastoji da što pre dostigne maksimalnu brzinu, kao u realnim takmičarskim okolnostima. Budući da se naglim naprežanjem brzina dostiže već nakon 15 do 20 pretrčanih metara, logično je da ove deonice traju znatno kraće nego prilikom primene metoda sa postepenim opterećenjem. Otuda je najčešća organizaciona forma metoda naglog opterećenja trčanje maksimalnom brzinom na distancama od 20 do 30 metara. Ovakav rad podržan je prvenstveno fosfagenima, pa nije praćen stvaranjem mlečne kiseline. Zbog toga se deonice maksimalnog sprintovanja mogu ponoviti nekoliko puta, pri čemu optimalni broj ponavljanja varira između pet i osam.

Kao logično nameće se pitanje kom metodi bi trebalo dati prednost. Istraživanja Stefanovića (1978 i 1979) pokazuju da su oba metoda rada dala pozitivne efekte u poboljšanju startnog ubrzanja kao i maksimalne brzine. Otuda je nezahvalno favorizovati bilo metod sa postepenim ili naglim opterećenjem. Prilikom njihovog vrednovanja u obzir je neophodno uzeti niz faktora, od kojih su najznačajniji nivo treniranosti sportista i trenažni period u kojem se metod primenjuje. Što se tiče nivoa pripremljenosti, u radu sa početnicima i slabije treniranim osobama efikasnijim se pokazuje metod postepenih opterećenja budući da omogućava istovremeni rad i na usavršavanju tehnike trčanja. Tom prilikom se ubrzanja izvode iz različitih atletske vežbi kao što su džoging, poluskip, skiping, zabacivanje potkolenica i sl., pa se na samom početku čak izbegava maksimalna brzina i od sportista zahteva da ubrzanje prekinu po dostizanju submaksimalne brzine (oko 90% od maksimuma). S druge strane, metod naglih opterećenja više se primenjuje i bolje efekte daje u radu sa dobro treniranim sportistima koji su dostigli visok nivo tehnike. Što se tiče rasporeda opisanih metoda u godišnjem kalendaru treninga i takmičenja, metod postepenih opterećenja primenjuje se uglavnom u pripremnom i predtakmičarskom, dok u takmičarskom periodu dominira metod naglih opterećenja.

Pored ova dva metoda, za razvoj maksimalne brzine se u sportskoj praksi primenjuje i rad u olakšanim uslovima. To su one situacije u kojima se raznim spoljašnjim uticajima nastoji da se razbije izvesna brzinska barijera, naročito da se poveća frekvencija koraka. U tu svrhu koristi se trčanje niz padinu, trčanje niz vetar, trčanje na tredmilu ili uz

vučenje motorom. Efekti ovakvih treninga, međutim, još uvek su na nivou empirijskih objašnjenja bez egzaktno istraživačke potvrde.

Metod rada u olakšanim uslovima primenjuje se još i kada dođe to stabilizacije brzine, odnosno kada sportista dostigne plato u napredovanju. U teoriji je razrađeno nekoliko metoda borbe protiv stabilizacije brzine. Pored opisanog rada u olakšanim uslovima koji se označava i kao *razbijanje brzinske barijere*, koristi se i *metod gašenja brzine*. On se sastoji u privremenom prekidu bavljenja osnovnom disciplinom i upražnjavanjem drugih srodnih i nesrodnih aktivnosti. Praksa je pokazala da ukoliko se izvesno vreme ne vrši osnovna aktivnost, brzinska barijera može da iščezne, a da se pri tome sačuva tehnika kretanja. Ako se u tom periodu pomoću drugih sredstava poveća nivo snage, moguće je posle prekida očekivati novi porast brzine. Ova pojava se objašnjava time što su prostorne (koordinacijske) karakteristike kretanja postojanije od vremenskih, tako da nakon izvesnog perioda u nervnom sistemu dođe do gubitka tragova o stereotipnim vremenskim parametrima kretanja.

Metodički koraci za razvoj brzine (Dintiman, 1997).

1. *Bazični trening* - Razvijaju se sve sposobnosti, osobine i znanja na osnovu kojih se može unaprediti brzina u datim etapama, a to su: snažna svojstva, izdržljivost, voljne karakteristike...
2. *Funkcionalna snaga i eksplozivni pokreti sa srednjim i velikim opterećenjima* - Takve vežbe uključuju opterećenja u rasponu od 55-85% od 1RM (jednog maksimalnog ponavljanja).
3. *Balistika* - Naglašena je velika brzina pojedinačnih pokreta.
4. *Pliometrija* - Tehnika koja se bazira na brzom izmeni ekscentrične i koncentrične kontrakcije u pojedinačnim i ponavljajućim pokretima.
5. *Specifična opterećenja* - Naglašava se velika brzina u rasponu od 85-100% koja je odgovarajuća određenom sportu.
6. *Sprinterska izvedba i brzinska izdržljivost* - Usavršava se tehnika sprinta i zadržavanje maksimalne brzine kroz što duže vreme.
7. *Trening iznad maksimalne brzine* - Uključuje različite tehnike za razbijanje brzinske barijere i stabilizacije brzine.

Metodske smjernice za trening brzine (Weineck, 1994)

- S treningom brzine treba početi rano (od rane školske dobi) jer se na CNS i strukturu mišićnih vlakana u to vrijeme još može uticati.
- Elementi brzine i brzinske snage trebaju se naći u svakoj trenažnoj celini.
- Zbog prevencije povreda pre treninga brzine i brzinske snage treba redovno izvoditi zagrevanje. Što je ranije ujutro i što je niža temperatura, to se temeljnije i intenzivnije treba izvesti zagrevanje. Kod starijih igrača treba zagrevanje trajati duže nego kod mlađih.
- Efektivna profilaksa povreda: zagrevanje-istezanje-predopterećenje-opterećenje.
- Trening brzine izvodi se na početku trenažne celine (u odmornom stanju).
- Trening brzine biće efikasan samo ako se izvodi maksimalnim tempom. Uspeh treninga brzine primarno zavisi od intenziteta opterećenja povezanih s tačnošću radnje i preciznošću kretanja.
- Pojava umora je znak za prekid treninga.
- Treba paziti na optimalan odnos opterećenja i oporavka (npr. opterećenje 3-5", aktivan odmor 1-1.5')
- Kod ekipa koje treniraju dva puta dnevno ne treba izvoditi intenzivne treninge brzine u oba treninga.
- Trening brzine ne bi trebalo izvoditi dan posle utakmice.
- Dan pre utakmice može se izvesti kratka start celina (npr. 2x5-10m).
- Da bi se izbegla stagnacija trening treba biti raznovrstan i mnogostran.
- Treba paziti da opterećenja odgovaraju potrebama konkretnog sporta.
- Uz brzinu paralelno treba izvoditi treninge snage, koordinacije, izdržljivosti

11.5. METODIKA RAZVOJA SPOSOBNOSTI SA NEUROGENIM IZLAZOM

11.5.1. METODIKA RAZVOJA KOORDINACIJE

U predhodnim poglavljima smo objasnili da je koordinacija jako kompleksna sposobnost, a upravo ta kompleksnost otežava izbor sredstva i metoda za njeno usavršavanje. Svaki sport ima svoje specifičnosti, a usavršavanje tehničko-taktičkih zahteva u određenom sportu zavisi od usavršavanja pojedinih faktora koordinacije. Na primer, dobra koordinacija ruku je neophodna za jednog plejmejкера u košarci, dok u fudbalu taj faktor koordinacije nije neophodan za postizanje vrhunskih rezultata. Istraživanja su dokazala da osobe koje brže od drugih nauče određene pokrete mogu u drugim slučajevima, kada se obučavaju drugim pokretima biti među poslednjima. Na primer, brzo usvajanje pokreta u sportskim igrama ne garantuje i brzo usvajanje pokreta u gimnastici. Mnogo je ovakvih primera iz sporta, međutim ono što je zajedničko za bilo koji pokret ili kretanje ma koliko ono bilo novo, uvek se izvodi na osnovu starih koordinacijskih veza. Svaki novi pokret se organizuje iz velikog broja elementarnih koordinacijskih delova od kojih je svaki bio stečen i učvršćen tokom predhodnih pokušaja u motorici. Što je veći fond uslovnih refleksa iz motorike, odnosno što sportista ima veći broj naučenih pokreta to će lakše naučiti nove pokrete a njegova koordinacija biće veća (Zaciorski 1975). Cilj treninga koordinacije je učenje i stabilizacija novih veština te njihova automatizacija.

Za ostvarivanje ciljeva treninga usmerenog na poboljšanje koordinacije Drabik (1996) predlaže sledeće:

- da trening koordinacije sadrži velik broj raznolikih sadržaja
- koristiti različite prirodne oblike kretanja (hodanje, trčanje, skakanje, balansiranje, penjanje, bacanje, hvatanje) s ciljem planskog i sistematskog razvoja ove motoričke veštine
- usavršiti osnovne faktore koordinacije (kinestetičko diferenciranje, prostorna orijentacija, ravnoteža, osjećaj za ritam, reakcija na signal)

- treba krenuti od jednostavnijih vežbi prema složenijima, od poznatih prema nepoznatima
- poznate vežbe izvoditi iz novih pozicija, s dodatnim pokretima te u izmijenjenim uslovima. Nakon toga treba usavršavati koordinacione sposobnosti u ekstremnim uslovima i u uslovima u kojima postoji više rešenja motoričkih problema
- kada dete nauči grubu formu pokreta u zadanim koordinacionim vežbama, treba dodati nove elemente ili pokazati nove vežbe.
- koristiti odgovarajuće metode učenja tehnike sportske grane, kombinujući razvoj koordinacionih sposobnosti s učenjem sportskih veština
- kombinovati razvoj optimalnih kondicionih sposobnosti (snaga, brzina, izdržljivost) s koordinacijom
- u razvoju koordinacije dobro je koristiti metodu ponavljanja.

Jedan od osnovnih načina za usavršavanje koordinacionih sposobnosti sastoji se iz usvajanja raznovrsnih motoričkih navika i veština. Prema Zaciorskom (1975) osnovi metodike usavršavanja koordinacije sastoje se iz dve faze:

- prva faza, da se nauče koordinacijski složena kretanja
- druga faza, da se motorika usaglasa sa zahtevima izmenjenih okolnosti.

Metikoš i sar. (2003) navode da se prvi metodički pristup u razvoju koordinacije svodi na povećanje širine i dubine motoričkih znanja. To praktično znači sistematsko učenje i usavršavanje svih onih motoričkih znanja koja se mogu efikasno koristiti za ostvarivanje različitih trenajnih ciljeva. Sportovi se razlikuju po širini motoričkog znanja prvenstveno zbog specifičnih vrsta motoričkih programa i različitih zahteva u pogledu formiranja povoljne strukture sposobnosti, osobina i znanja. Međutim, ono što je zajedničko za sve sportove je zahtev da se sva potrebna motorička znanja usavrše do najvišeg mogućeg nivoa jer će se samo u tom obliku moći optimalno iskoristiti za ostvarenje najviših ciljeva treninga. U prvoj fazi gde se usavršavanje koordinacionih sposobnosti postiže učenjem novih, dovoljno složenih motoričkih radnji,

primenjuju se *standardno-ponavljajuće metode*, jer usvajanje takvih pokreta zahteva veliki broj ponavljanja u relativno standardnim uslovima (Željaskov 2004). Drugi metodički pristup u razvoju koordinacije može se definisati kao primena stečenog motoričkog znanja u varijabilnim uslovima. Ovaj pristup podrazumeva da su motorička znanja koja će se koristiti u novim situacijama, već jako dobro usvojena. Za usavršavanje sposobnosti za brzu i opravdanu rekonstrukciju motoričke aktivnosti koriste se vežbe koje zahtevaju brzo reagovanje u uslovima kada se situacija iznenadno menja. Osnovni zahtev u treningu je neprestano povećanje koordinacione složenosti, na koje vežbači treba da daju odgovore. Bez ovih vrsta aktivnosti nije moguće razviti specifičnu niti situacionu koordinaciju u smislu njihove realne upotrebljivosti. U drugoj fazi kada se usavršavanje koordinacionih sposobnosti izvodi pri naglašenoj varijabilnosti nervno mišićnog naprezanja, koriste se različiti oblici *intervalno-promenljivog metoda*. Posebno je efekasan *intervalno-promenljivi metod* uz čestu promenu situacije.

Prilikom izbora sredstava i metoda valja imati u vidu da je koordinacija sposobnost, za čiju je izgradnju potrebno mnogo vremena. Za uspešan trening koordinacije treba ispoštovati određene smernice.

Uopšteno, trebalo bi da se poštuje sledeći redosled:

- precizno izvođenje vežbe u odnosu na prostorne karakteristike - pravac, amplituda i dr.;
- povećanje koordinacione složenosti uvođenjem izmena u ritmičku strukturu vežbe;
- postepeno ubrzavanje izvođenja vežbi, vodeći računa o tome da ne dođe do poremećaja preciznosti izvođenja;
- uslozňjavanje situacije (u prostoru i vremenu);
- traganje za ekonomizacijom motoričkih radnji.

Motorička koordinacija u procesu treninga se stimuliše nizom metodičkih sredstava: korišćenjem neobičnih početnih položaja; promenom brzine i tempa kretanja; pomeranjem prostornih granica njihovog izvođenja; promenom načina izvođenja; uslozňjavanjem vežbi uvođenjem novih elemenata; promenom vrste otpora protivnika.

Potrebno je da se zna da koordinaciona složenost vežbe postavlja velike zahteve prema nervnom sistemu. Zbog toga je potrebno da ovi treninzi budu u većoj meri raznovrsni, sa većim emocionalnim nabojem,

posebno u pripremnom periodu, kada je u okviru opšte i specifične fizičke pripreme broj vežbi najveći.

11.5.2. METODIKA RAZVOJA AGILNOSTI

Uspeh u mnogim sportovima zavisi od pravovremenog i brzog premeštanja tela u prostoru. Prema misljenju mnogih stručnjaka iz prostora sportskih igara, kao i stručnjaka iz borilačkih sportova, agilnost je jedna od najvažnijih motoričkih sposobnosti koja doprinosi ostvarenju vrhunskih sportskih dostignuća. Agilnost kao pojam su različiti autori definisali na različite načine:

- Sposobnost brze promene pravca kretanja (Gredelj i sar. 1975)
- Sposobnost promene pravca kretanja bez gubitka ravnoteže, brzine, snage i kontrole pokreta (Pearson 2001)
- Sposobnost izvođenja brzih koordiniranih i povezanih pravaca kretanja (Drabik 1996)
- Sposobnost postizanja gibanja tipa: stani i kreni: a uključenje zaustavljanja, reaktivna-elastična gibanja i naglo ubrzanje (Flisk 2000)
- Agilnost dozvoljava sportisti da reaguje na stimulus, startuje brzo i efikasno, da se kreće u pravom smeru i da bude spreman da promeni smer kretanja, ili da se brzo zaustavi sa ciljem izvođenja sportske tehnike brzim, glatkim, efikasnim i ponovljivim načinom (Verstegen i Marcello 2001)
- Shepard i Young(2006) su na osnovu višegodišnjeg istraživanja dali definiciju da brza kretanja celog tela sa promenom brzine ili smera kretanja kao odgovor na stimulus, smatra agilnošću, ali kretanje ne treba samo da sadrži promenu brzine, ili smera kretanja, već mora da bude i otvorena veština, u kojoj je reakcija na stimulus uključena.

Pozicija agilnosti u generalnom motoričkom prostoru različito je razmatrana. Gredelj i sar. (1975) agilnost svrstavaju među sposobnosti koje su podređene mehanizmu za struktuiranje pokreta, odnosno podređena je generalnom prostoru koordinacije. Bompa (1999) tretira

agilnost kao kombinovanu sposobnost brzine i koordinacije. U novije vrijeme u literaturi koja tretira probleme kondicije pripreme agilnost se može pronaći u zajedničkom kontekstu sa sposobnostima brzine i eksplozivnosti (speed, agility and quickness - SAQ) (slika 11-6).



Slika 11-6 Trening agilnosti

Prema Jukiću i sar. (2003), analizom strukture agilnosti i faktora koji uslovljavaju njeno ispoljavanje u konkretnim motoričkim aktivnostima, agilnost se može podijeliti na više akcijskih faktora:

- sposobnost brze promene smera u frontalnom kretanju (napred - nazad)
- sposobnost brze promene smera u lateralnom kretanju (desno - levo)
- sposobnost brze promene smera u dijagonalnom kretanju (koso desno – koso levo)
- sposobnost brze promene smera u horizontalnom i vertikalnom kretanju (napred – nazad - desno - levo)
- sposobnost brze promene smera u polukružnom i kružnom kretanju
- sposobnost brze promene smera pod definisanim uglom kretanja.

Kada razmatramo svrhu agilnih kretanja, možemo razlikovati dva temeljna tipa agilnosti:

- agilnost u uslovima premeštanja tela sa svrhom ostvarivanja što veće frekvencije pokreta (ovaj tip agilnosti je najčešće vezan uz trenažne uslove)
- agilnost u uslovima premeštanja tela sa svrhom brzog jednokratnog savladavanja prostora (ovaj tip agilnosti manifestuje se i u trenažnim i u takmičarskim uslovima).

Veoma često se u trenažnom procesu usmerenom na poboljšanje agilnosti primenjuju sadržaji koji predstavljaju kombinaciju dva i više gore navedenih tipova agilnosti. Takva kombinovanja različitih tipova agilnosti omogućavaju postizanje visokog stepena agilnosti kod sportista. Upravo takvi kompleksni treninzi agilnosti daju sportistima bolji osećaj kontrole prilikom izvođenja brzih pokreta, a isto tako poboljšavaju kinestetički osećaj čime se bolje kontrolišu potencijalni mehanizmi koji mogu da prouzrokuju povrede prilikom izvođenja pokreta i kretanja.

Osnovni metodski zahtev prilikom usavršavanja agilnosti je minimalan gubitak brzine prilikom premeštanja težista tela u prostoru. Prema Flisku (2000) postoji nekoliko temeljnih pravila za trening agilnosti:

- ekstremni nervno-mišićni zahevi u treningu agilnosti zahtevaju primenu vežbi agilnosti na samom početku treninga (nakon uvodno pripremnog dela), kada je organizam sportiste još uvek odmoran
- trening bi trebao biti struktuisan od kratkih intervala intenzivnog rada (3-10") i čestih intervala odmora, zbog adekvatnog oporavka centralnog nervnog sistema
- idealna metoda za razvoj agilnosti je ponavljajuća, a ukoliko se želi unaprediti agilna (brzinska) izdržljivost, preporučuje se intervalna metoda..

Flisk (2000) upućuje na tri temeljne metode za unapređenje agilnosti: primarnu, sekundarnu i tercijarnu metodu.

- *Primarna metoda*- ovde je akcenat na učenju optimalne tehnike kretanja u uslovima promena smera kretanja, gde je brzina

izvođenja kretanja kontrolisana. Obično se ne radi sa maksimalnom brzinom. Kada se usavrše tehnike različitih tipova promene smera, dozvoljava se izvođenje kretanja maksimalnom brzinom.

- *Sekundarna metoda* uključuje trening agilnosti sa asistencijom, kao i trening agilnosti sa dodatnim opterećenjem
- *Tercijarna metoda* zasniva se na bazičnom treningu putem kojeg se razvijaju one bazične karakteristike (snaga, jakost i brzinska izdržljivost, fleksibilnost) koje će omogućiti sigurnije i efektivnije izvođenje vežbi agilnosti.

Gambetta & Winckler (2001) su sistem unapređenja agilnosti postavili kroz četiri koraka:

1. unapređenje elementarnih tehnika kretanja s promenama smera
2. daljnji razvoj elementarnih tehnika kretanja u varijabilnim uslovima
3. uvrstavanje reaktivnih zahteva
4. izvedba zadataka obogaćena manipulacijom objektima ili s protivnikom

Isti autori savetuju da se trening agilnosti treba provoditi zbog realne potrebe konkretnog sporta, a ne zbog atraktivnosti vežbi. Vežbe se moraju birati u skladu sa zahtevima sporta. Najbolje vreme za rad na razvoju agilnosti je kraj uvodno-pripremnog dela ili početak glavnog dela treninga. Nakon što su vežbe agilnosti usavršene, poželjno ih je uklopiti u tehničko taktički deo treninga. Intenzitet treninga agilnosti treba da odgovara intenzitetu koje odgovara takmičenju, dok se obim treninga temelji na analizi konkretne sportske aktivnosti. Interval odmora treba osigurati kvalitet i intenzitet kretanja, pa se optimalnim odnosom rada i odmora smatra 1: 2 ili 1 : 3.

Na osnovu dotadašnjih istraživanja Jukić i sar. (2003) su prikazali svoj niz metodskih postupaka pomoću kojih je moguće unaprediti agilnost (primer iz košarke). To su:

- *Učenje tehnika osnovnih kretanja pri malim brzinama.* Ove vežbe uključuju temeljne strukture kretanja pomoću kojih se realizuju različite promene smera kretanja. Važno je tokom postupka učenja sportistima naglasiti biomehaničke principe i detalje koji će njihova kretanja optimizovati i omogućiti iskorištavanje

nervno-mišićnih potencijala.

- *Postupno povećanje brzine osnovnih kretanja.* Prema fazama motoričkog učenja (usvajanje, usavršavanje, stabilizacija i automatizacija) potrebno je povećavati brzinu izvođenja. Posebno je važno ne dopustiti sportistima prelazak na sledeću fazu učenja, ukoliko prethodna nije dovršena.
- *Postupno povećanje kompleksnosti vežbi agilnosti.* Savladana osnovna kretanja namenjena promenama smera kretanja, uslov su za uvođenje novih vežbi. Strukture novih vežbi postupno se približavaju zahtevanim strukturama kretanja u konkretnom sportu. U ovoj fazi vežbe se dominantno izvode u maksimalnom intenzitetu kretanja, a mogu se izvoditi bez i sa dodatnim opterećenjem.
- *Unapređenje agilnosti u specifičnim uslovima.* Specifične vežbe agilnosti integrišu tehniku pojedinog sporta i unapređenje agilnosti. Strukture kretanja u ovim vežbama čine tehnički elementi konkretnog sporta bez uslova saradnje i suprotstavljanja. Vežbe se izvode u uslovima 1:0.
- *Unapređenje agilnosti u situacionim uslovima.* Situacione vežbe agilnosti integrišu taktiku određenog sporta i unapređenje agilnosti u uslovima saradnje i suprotstavljanja. Smisao ovih vežbi je daljnje unapređenje agilnosti kroz situacione uslove. U ovakvim uslovima se mogu jasno proceniti učinci prethodnih faza razvoja agilnosti.

11.5.3. METODIKA RAZVOJA RAVNOTEŽE

Uspeh nekog sportiste u velikoj meri zavisi od njegove sposobnosti da sačuva stabilan položaj tela prilikom izvođenja pokreta i kretanja. Budući da sport obiluje situacijama gde sportista treba da izvodi pokrete i kretanja u nestabilnim uslovima trening ravnoteže zauzima važno mesto u sistemu pripreme sportista. Sa aspekta biomehanike osnova održavanja i uspostavljanja ravnoteže je u usklađivanju unutrašnjih i spoljašnjih sila. Pod unutrašnjim silama se podrazumevaju sile mišića, a pod spoljašnjim silama sila zemljine teže, sila reakcija podloge, sile proizašle iz kontakta sa protivnikom... Korekcija ravnotežnog položaja prilikom izvođenja sportskih aktivnosti temelji se na mišićnoj sili, odnosno optimalnoj koordinaciji rada odgovarajućih

skeletnih mišića. Važnu ulogu u tom procesu, imaju različiti senzorni sistemi koji informacije o kretanju tela ili njegovih delova u vremenu i prostoru šalju u centralni nervni sistem na obradu, nakon obrade centralni nervni sistem mišićnom sistemu daje naredbe bitne za održavanje ravnotežnog položaja. Senzorni sistemi su sledeći:

- Vizuelni sistem, čulo vida najvažniji sistem za primanje informacija o prirodi pokreta koji se želi izvesti
- Vestibularni sistem, smešten u unutrašnjem uhu, a osigurava informacije o pokretima glave i položaju tela u prostoru.
- Somatosenzorni sistem, nadgleda položaj tela upotrebom receptora. Proprioceptori su specijalni receptori položaja tela u prostoru koji se nalaze u zglobovima, mišićima i tetivama, a koji su osetljivi na promene napetosti u ovim tkivima.

U fiziološkom smislu, cilj treninga ravnoteže jeste poboljšanje neuro- mišićne kontrole pokreta u neočekivanim i nestabilnim situacijama. To se postiže vežbama koje ciljano stimulišu rad prethodno navedenih senzornih sistema. Poslednjih godina se u kondicionoj pripremi sportista izdvojio proprioceptivni trening kao dominantan tip treninga usmerenog na poboljšanje ravnoteže (slika 11-7).

Osnovni smisao proprioceptivnog treninga je stavljanje tela sportiste u veliki broj trenažnih situacija, koje imaju za cilj da isprovociraju aktivaciju proprioceptora. Pravilnom informacijom proprioceptora osigurava se pravilan vremenski niz kontrakcija agonističko-antagonističkog para mišića koji koordinisano učestvuju u dinamičkoj stabilizaciji zgloba sprečavajući moguće povrede. Prema Jukiću i sar. (2002) primarni efekti proprioceptivnog treninga usmereni su na sprečavanje nastanka povreda, a sekundarni efekti proprioceptivnog treninga usmereni su na jačanje ligamentarno - tetivnog sistema i povećanje amplitude pokreta u zglobovima.



Slika 11-7 Proprioceptivni trening

Generalni metodski principi proprioceptivnog treninga:

- Bez obzira na atraktivnost ovakvih sadržaja, oni pre svega ne smeju ugroziti sigurnost sportista
- Proprioceptivni treninzi trebaju biti izazovni i zanimljivi
- Potrebno je orijentisati se prema višezglobnim sadržajima
- Tokom vežbanja potrebno je angažovati što više čulnih sistema (vidni, slušni, taktilni...)
- Poželjno je kombinovati elementarne i specifične oblike kretanja
- Temelj funkcionalne progresije odnosi se na izbor vežbi: od sporih prema brzim, od jednostavnih prema složenim, od poznatih ka nepoznatim, od statičkih do dinamičkih, od onih s manje ispoljene sile do onih s velikom ispoljenom silom, izvedenih s jednim pa s dva ekstremiteta, u stabilnim i nestabilnim uslovima, otvorenim i zatvorenim očima, sa i bez dodatnih vanjskih opterećenja, sa i bez manipulacije predmetima, sa i bez narušavanja ravnoteže, pruženim i zgrčenim ekstremitetima.

- Vežbe se ne bi trebale izvoditi duže od 10 minuta u kontinuitetu zbog prestanka nervno-mišićne razdražljivosti. Pojedinačni zadaci trebaju se izvoditi u trajanju od 30" do 2'.
- Poželjno je kombinovati proprioceptivne sadržaje sa sadržajima za razvoj drugih kondicionih i tehničko-taktičkih svojstava (npr. ispadni koraci na balans pločama, vežbe istezanja na velikim loptama, žongliranje fudbalske lopte na balans ploči, itd.).
- Proprioceptivne vežbe bi se trebale provoditi svakodnevno.
- Najveće učinke ovaj tip treninga ostvaruje ukoliko se takvi sadržaji provode na početku treninga, ali nije isključena njihova primena i u drugim delovima treninga.
- Periodizacija proprioceptivnog treninga poštuje princip uključivanja sadržaja od višestраних i bazičnih, prema specifičnim i situacionim, zavisno od razdoblja godišnjeg ciklusa treninga.

Prema Markoviću i Bradiću (2008) razlikujemo dve vrste treninga ravnoteže i funkcionalne stabilizacije zglobova:

- Statički trening
- Dinamički trening

Statički trening ravnoteže i funkcionalne stabilizacije zglobova. Ovaj se trening zasniva na zadržavanju stabilne pozicije tela, odnosno na stabilizaciji pojedinih zglobova u funkcionalno zahtevnim statičkim vežbama u mestu. Svaka se vežba ponavlja kroz 2-4 serije, a svaka serija traje između 20 i 60 sekundi. Trajanje intervala odmora između serija jednaka je trajanju intervala rada (20-60 sekundi), dok intervali odmora između vežbi traju ako 2 minuta. Broj vežbi u treningu se kreće između 4 i 8.

Dinamički trening ravnoteže i funkcionalne stabilizacije zglobova. Ovaj se trening temelji na neprestanom narušavanju i uspostavljanju ravnoteže tela prilikom izvođenja dinamičkih pokreta u nestabilnim uslovima, odnosno pri kretanju po nestabilnim površinama. Svaka se vežba ponavlja u 3-5 serija, pri čemu svaka serija traje između 10 i 30 sekundi, intervali odmora između serija traju između 30 i 60 sekunda, dok intervali odmora između vežbi traju oko 2 minuta. Kao i u statičkom treningu, i ovde se broj vežbi u treningu kreće između 4 i 8 (slika 11-8).

Pri oblikovanju treninga ravnoteže i funkcionalne stabilizacije zglobova možemo se rukovoditi sledećim principima progresije:

- statičke vežbe - dinamičke vežbe u mestu - dinamičke vežbe u kretanju
- bilateralne vežbe - unilateralne vežbe
- vežbe otvorenih očiju - vežbe zatvorenih očiju



Slika 11- 8 Dinamički trening ravnoteže i funkcionalne stabilizacije zglobova

11.5.4. METODIKA RAZVOJA PRECIZNOSTI

Preciznost se definiše kao sposobnosti za izvođenje tačno usmerenih i doziranih pokreta, odnosno preciznost je sposobnost da se aktivnostima gađanja (bacanja predmeta) ili ciljanja (vođenje predmeta) pogodi određeni statičan ili pokretan cilj, koji se nalazi na određenoj udaljenosti. Za dobru preciznost od presudnog je značaja dobra koordinacija, pa je mnogi autori i svrstavaju pod segment koordinacije. Jedan broj autora smatra da je preciznost posebna motorička sposobnost. Prema Nićinu (2000) precizni pokreti se ne mogu premestiti na pomoćne

senzorne nivoe, jer je vizuelna kontrola uslov njihovog izvršenja, pa se ti pokreti zbog toga ne mogu svrstati pod koordinaciju. Generalno istraživači su se složili da je preciznost za razliku od drugih motoričkih sposobnosti jedna od najnestabilnijih. Postoji veliki broj faktora koji utiču na preciznost, odnosno mogu je poremetiti što nije karakteristično za druge motoričke sposobnosti. Faktori od kojih zavisi ispoljavanje preciznosti su:

- Koordinacija;
- Dobro primanje i analiza vidnih signala (pecepcija celokupne situacije, podešavanje i organizovanje pokreta u skladu sa situacijom);
- Snaga (ima značajno učešće kada je cilj u koji se gađa udaljen npr. bacanje lopte na koš);
- Brzina protoka signala;
- Ravnoteža (u narušenoj ravnoteži otežani su uslovi izvođenja tačno doziranih i preciznih pokreta);
- Emotivno stanje (preveliko uzbuđenje može uticati na preciznost);

Koeficijent urođenosti ove sposobnosti je veoma visok, ali postoji mogućnost da se adekvatnim trenažnim procesom ta sposobnost popravi. Preciznost se može poboljšati ako se u pravo vreme započne s treningom, a to podrazumeva da se sa treningom započne još u predškolskom uzrastu. Najvažnije je u najmlađem uzrastu napraviti što bolju osnovnu (bazičnu) preciznost, a to se postiže izvođenjem velikog broja pokušaja gađanja i ciljanja. Dobra bazična preciznost predstavlja dobru osnovu za specifičnu preciznost. Specifična preciznost usko je vezana za pojedini sport, a svaki sport ima svoju tehniku i taktiku koje zahtevaju da se pri određenim pokretima ispoljava preciznost. Pre usavršavanja preciznosti pokreti iz određenog sporta moraju se biomehanički pravilno izvoditi. Prvo treba dobro usvojiti tehniku pojedinog sporta, pa onda pristupiti usavršavanju preciznosti. Na primer, prvo je potrebno košarkaša pravilno tehnički obučiti da šutira na koš, pa tek onda uvežbavati preciznost. Bez obzira da li želimo da usavršavamo opštu ili specifičnu preciznost u početku se koriste metode treninga preciznosti u jednostavnim, a kasnije u složenijim situacijama. Takođe se trening preciznosti prvo odvija u standardnim uslovima, a kasnije u varijabilnim.

11.5.5. METODIKA RAZVOJA GIPKOSTI

Gipkost (fleksibilnost) možemo definisati kao sposobnost lokomotornog aparata da ostvari pokrete maksimalne amplitude. U sportovima kao što su gimnastika, borilački sportovi, atletika... takmičarska efikasnost u mnogome zavisi od mogućnosti sportista da izvode pokrete velikim amplitudama, i za te sportove možemo reći da direktno zavise od gipkosti. U sportovima kao što su košarka, fudbal, odbojka, tenis... gipkost ne pripada grupi faktora koji direktno utiču na uspešnost u sportu, već pomaže u efikasnom ispoljavanju drugih motoričkih sposobnosti sportiste. Sportista koji ima razvijeniju gipkost pokrete će izvoditi brže, energičnije, lakše i izražajnije Bomp (2009).

Prema Željaskovu (2004) osnovni kriterijum efikasnosti trenažne metodike kod razvoja gipkosti je neophodni optimum amplitude pokreta, radi maksimalnog korišćenja motoričkog potencijala sportiste prilikom izvođenja specifičnih pokreta u određenom sportu. Ovo određuje i glavne zadatke u procesu višegodišnjeg treninga:

- obezbeđenje takvog nivoa gipkosti, koji odgovara zahtevima sportske specijalizacije;
- održavanje potrebnog optimuma pokazatelja gipkosti u procesu sportskog usavršavanja.

Prilikom rešavanja navedenih zadataka treba u obzir uzeti i faktore koji utiču na ispoljavanje gipkosti. Ti se faktori dele na unutrašnje i spoljašnje.

- Unutrašnji faktori: građa zgloba (oblik zglobnih tela u znatnoj meri određuje amplitudu pokreta), otpor unutar samog zgloba, koštana struktura koja ograničava pokret, elastičnost mišićnog tkiva, elastičnost tetiva i ligamenata, elastičnost kože.
- Spoljašnji faktori: temperatura mesta treninga (pri višoj temperaturi fleksibilnost je veća), doba dana (većina ljudi je fleksibilnija posle podne nego pre podne), stadijum procesa oporavka posle povrede zgloba (ili mišića) nakon povrede (povređeni zglob ili mišić obično ima manji stepen fleksibilnosti), uzrast (sa godinama mišićno i

tetivno tkivo imaju tendenciju smanjenja elastičnosti), pol (ženski pol je generalno fleksibilniji od muškoga).

Osnovno sredstvo za razvoj gipkosti su fizičke vežbe, koje se izvode povećanom amplitudom. Prema cilju i opsegu njihovog uticaja, one se dele u dve osnovne grupe: opšte-pripremne i specifično-pripremne.

Opšte-pripremne vežbe za gipkost su osnovne vežbe koje se koriste u skladu sa zadacima svestranog uticaja na organizam.

Specifično-pripremne vežbe za razvoj gipkosti imaju osnovni zadatak da obezbeđuju optimalnu amplitudu specifičnih pokreta u konkretnom sportu.

Poslednjih godina posebnu popularnost u treningu gipkosti su stekle strečing metode istezanja. U treningu sportista može se koristiti više vrsta strečing metoda. Izbor odgovarajuće metode zavisi od ciljeva i zadataka treninga, stanja i stepena pripremljenosti sportista. U praksi se najčešće koriste sledeće strečing metode: statička, dinamička, balistička i PNF (proprioceptivna neuromuskularna facilitacija).

Statički strečing sastoji se od istezanja mišića (ili grupe mišića) do njegove krajnje tačke u odgovarajućem vremenskom periodu od 5-10 do 25-30 sekundi. Ovaj metod se sastoji iz dve varijante: statičko-aktivno strečing i statičko-pasivni strečing.

Statičko-aktivni strečing se sastoji u postizanju najveće amplitude pokreta u zglobu, te zadržavanje istegnute pozicije bez pomagala ili partnera tj. zadržavanje pozicije samo aktivnošću mišićnih grupa koje prolaze preko tog zgloba. Napetost mišića agonista u aktivnom istezanju pomaže da se putem recipročne inhibicije, opuste mišići koji se istežu (antagonisti). Statičko-aktivnim istezanjem povećava se aktivna fleksibilnost i jačaju mišići agonisti. Prilikom ovog istezanje položaji se obično zadržavaju ne duže od 15 sekundi (slika 11-9).



Slika 11-9 Statički aktivni strečing

Statički-pasivni strečing se sastoji u zauzimanju i održavanju određenog položaja pomoću spoljašnjih sila (partner, trener ili drugi delovi tela). Ovo istežanje je korisno primeniti ne bi li se smanjili grčevi, bol i umor u mišićima u perioda oporavka (slika 11-10).



Slika 11-10 Statički pasivni strečing

Dinamički strečing se izvodi kontrolisanim zamahom delovima tela koji ne prelaze normalan opseg pokreta u pojedinom zglobnom sistemu (za razliku od balističkog strečinga). Dinamički strečing bi trebalo da se izvodi u serijama od 8-12 ponavljanja. Treba biti oprezan prilikom izvođenja ovog istežanja i stati kada dođe do zamora mišića, jer zamoreni mišići imaju tada manju elastičnost što dovodi do smanjenja amplitude pokreta u određenom zglobu (slika 11-11).



Slika 11-10 Dinamički strečing

Balistički strečing se izvodi korištenjem momenta pokrenutog tijela ili ekstremiteta s ciljem postizanja pokreta koji prelazi njegov normalni opseg. Ovaj metod ne bi smeli da koriste početnici ili slabo trenirane osobe, jer primena ovog metoda može dovesti do povreda.

PNF strečing Proprioceptivna Neuromuskularna Facilitacija. PNF istežanje je jedno od najefikasnijih metoda treninga fleksibilnosti. Ova tehnika predstavlja kombinaciju pasivnog istežanja mišića i voljnu izometrijsku kontrakciju mišića. Cilj PNF tehnike je podsticanje mišićne inhibicije. Mišićna inhibicija predstavlja refleksnu reakciju relaksacije mišića, kao odgovor na prethodnu stimulaciju. Izometrijska kontrakcija

mišića koja prethodi pasivnoj relaksaciji stimuliše inhibiciju mišića preko Goldžijevog tetivnog organa.

Najčešće vrste PNF strečinga su:

Kontrakcija-relaksacija. Nakon početnog pasivnog istežanja, istegnuti mišić se izometrijski kontrahuje 7-15 sekundi, nakon čega se 2-3 sekunde opusti i zatim se ponovo pasivno istegne, ali sa većom amplitudom nego na početku. Ta pozicija se zadržava 10-15 sekundi. Pauze između ponavljanja su 20 sekundi, isto kao i kod drugih PNF tehnika.

Kontrakcija-relaksacija-kontrakcija. Ova tehnika uključuje dve izometrijske kontrakcije: prvo antagonistu, a zatim agonistu. Prvi deo je jednak kao i kod tehnike kontrakcija-relaksacija, gde, nakon postizanja početne istegnute pozicije mišića, sledi njegova izometrijska kontrakcija 7-15 sek. Tada se mišić opusti, a sledi izometrijska kontrakcija agonističke mišićne skupine koja takođe traje 7-15 sek. Mišić se zatim relaksira 20 sekundi prije sledećeg ponavljanja.

Kontrakcija-relaksacija-zamah (dinamički ili balistički). Kod ovih tehnika početak je isti kao i kod prethodne dve tehnike. U drugoj se fazi, nakon postizanja početne istegnute pozicije i izometrijske kontrakcije izvodi zamah. Ovaj metod može biti veoma opasan te je najčešće koriste samo iskusni i dobro pripremljeni sportisti, najčešće plesači.

Prema Željaskovu (2004) doziranje i izbor vežbi za gipkost treba da bude individualan, naročito zbog individualnih razlika u tonusu mišića, odnosno u njihovoj napetosti. Prema razlikama u mišićnoj napetosti određivaće se i odgovarajuća metodika za njeno otklanjanje.

Pri tonusnoj napetosti vežbe za gipkost su usmerene ispunjenju dva zadatka: promeni elastičnih svojstava mišića i smanjenju nivoa refleksa na istežanje u uslovima mirovanja. U tom cilju, najveći efekat za opuštanje ima primena aktivnih i pasivnih vežbi (slobodni zamasi, plivanje, masaža i dr.). Poznato je da ove vežbe, osim svoje konkretne namene, potpomažu, takođe, bržem uklanjanju zamora. To je razlog zašto se one najčešće izvode u intervalima odmora, naročito u slučaju statičkih naprežanja.

Pri napetosti koja je uzrokovana brzim pokretima (zbog nedovoljnog vremena za relaksaciju mišića posle njihovog radnog napinjanja) preporučuju se vežbe u kojima je prisutno brzo naizmenično smenjivanje naprežanja i relaksacije. Najčešće su to skakačke vežbe, bacanje, hvatanje medicinski različite težine i dr. (insistira se na preciznom tehničkom izvođenju).

Pri koordinacionoj napetosti (kao posledice nedovoljne motoričke koordinacije, kod koje u fazi relaksacije mišić ostaje više ili manje nadražen) preporučuju se specijalne vežbe, kojima se razvija sposobnost za proizvoljno opuštanje mišića. Primenuju se i druge metode, kao autogeni trening, različita fizikalna sredstva i procedure (masaža, sauna, vodene procedure i dr.).

11.6. METODIKA RAZVOJA SPOSOBNOSTI SA ENERGOGENIM IZLAZOM

Izdržljivost je definisana kao tipično antropomotoričko svojstvo sa energogenim izlazom, budući da sposobnost lokomotornog aparata za dugotrajnim obavljanjem neke aktivnosti zavisi prevashodno od količine specifičnog energetskog supstrata i načina njegove hemijske razgradnje u aktivnim mišićima. Kako je vrsta i način korišćenja energetskog goriva determinisana najviše intenzitetom rada, moguće je razlikovati tri zone rada: aerobnu, mešovitu i anaerobnu. Osnovni problem kod treninga izdržljivosti odnosi se na određivanje radnih zona, koje nam pomažu da se potpunije otkriju veze između intenziteta opterećenja i energetike mišićnog rada (pogledati tabelu 11-8)

Za određivanje zona intenziteta koristi se više različitih kriterijuma. Oni se zasnivaju na parametrima koji mogu biti određeni direktnim ili indirektnim metodama. Ti parametri su:

- Intenzitet opterećenja pri aerobnom i anaerobnom pragu i maksimalna potrošnja kiseonika (određuju se direktnim merenjem ventilacijskih parametara ili koncentracije mlečne kiseline u krvi)

- maksimalna frekvencija srca i subjektivna procena opterećenja (izmerene ili procenjene manje pouzdanim indirektnim metodama).

ZONA	TRAJANJE SPORTSKE AKTIVNOSTI	INTENZITET OPTEREĆENJA	ENERGETSKI IZVORI ZA SPORTSKU AKTIVNOST	DOMINACIJA ENERGETSKIH PROCESA %	
				ANAEROBNI	AEROBNI
1	1-15sek	maksimalan (95-100%)	ATP CP	95-100	05-00
2	15-60sek	submaksimalan (85-95%)	ATP CP +G	80-90	20-10
3	1-6min	veliki (75-85%)	G+ aerobni UH	70-40	30-60
4	6-30min	srednji (60-75%)	aerobni UH+M	40-10	60-90
5	>30min	mali (30-60%)	aerobni UH+M	05	95

Legenda: ATP – adenzin trifosfat, CP – kreatin fosfat: fosfageni anaerobni proces, G – glikolitički anaerobni proces, UH – ugljenihidrati, M – masne kiseline

Tabela 11-8 Zone funkcionisanja energetskih mehanizama u sportskim aktivnostima

Doziranje i kontrolu intenziteta treninga izdržljivosti najbolje je određivati u odnosu na intenzitet pri anaerobnom pragu AnP (odnosno LTHR - zona praga bazirana na frekvenciji srca). Za primenu ove metode nužno je precizno odrediti anaerobni prag. Jedan od načina za određivanje anaerobnog praga je primena Konkonijevog testa. Talijanski fiziolog Konkoni otkrio je da od jedne tačke, na samom anaerobnom pragu (tačka defleksije), frekvencija srca više ne prati linearno porast intenziteta. Željaskov (2004) na osnovu bioenergetskih karakteristika odredio je pet radnih zona, a osnovni kriterijum za prepoznavanje radnih zona i upravljanje trenažnim opterećenjima jesu koncentracija laktata u krvi i frekvencija srca (tabela 11-9).

Prva zona (aerobno obezbeđenje). Trening u ovoj zoni karakteriše nizak intenzitet rada, što za posledicu ima angažovanje pretežno sporih mišićnih vlakana, koja su po svojim biohemijskim i fiziološkim karakteristikama predviđena za dugotrajane motoričke aktivnosti pri kojima je srčana frekvencija od 120-140 otkucaja u minuti, i

koncentracije laktata u krvi do 2 mmol/l. Gornja granica ove zone je poznata kao aerobni prag (AP). Osnovni substrati za resintezu ATP u ovoj zoni su: glikoza, glikogen i u najvećoj meri, slobodne masne kiseline, čiji su energetske resursi ogromni. Treninzi u ovoj zoni služe za razvoj bazične izdržljivosti, a često je zovu i zona oporavka, jer se treninzi u ovoj zoni primenjuju u oporavku sportista nakon teškog treninga ili takmičenja. Rad u ovoj zoni služi za stabilizaciju trenažnog efekta i pripremu za intenzivnija opterećenja.

Druga zona (aerobno-anaerobno obezbeđenje). Trening u ovoj zoni karakteriše intenzitet rada pri kojem se motoričke aktivnosti odvijaju u prostoru gde donju granicu predstavlja *aerobni prag (AP)*, a gornju granicu predstavlja tzv. *anaerobni prag (AnP)*. Tačnije intenzitet rada je oko 95% od anaerobnog praga. Anaerobni prag (AnP) je izuzetno važan kriterijum za maksimalni intenzitet opterećenja, koji može da se održava u stabilnom, pretežno aerobnom režimu. Frekvencija srca na anaerobnom pragu kod dobro pripremljenih sportista kreće se između 160 i 175 otkucaja u minuti, dok koncentracija laktata u krvi dostiže nivo od 4 mmol/l. Povećanje intenziteta u ovoj zoni dovodi do promena u energetskom obezbeđenju. Smanjuje se uticaj aerobnih procesa, a sve se više u obezbeđenje energije uključuju anaerobni procesi. Time se sve više uključuju brza mišićna vlakna oksidativno glikolitička i brza glikolitička, čime se povećava proizvodnja laktata. Samim time smanjuje se korišćenje masnih kiselina, a povećava se upotreba ugljenih hidrata kao substrata za resintezu ATP-a. Određivanjem anaerobnog praga ili, tačnije, zone tzv. "aerobno-anaerobnog" prelaza dobija se mogućnost za tačno određivanje kritičnih granica opterećenja, što omogućava precizno upravljanje procesom adaptacije, u skladu sa ciljevima u svakom izdvojenom slučaju.

Primenom treninga u ovoj zoni dešavaju se pozitivni fiziološki adaptacioni odgovori. Osnovni zadatak rada u ovoj zoni je povećati granicu anaerobnoga praga i ekonomičnost mišićnog rada.

Treća zona (anaerobno-aerobno obezbeđenje). Trening u ovoj zoni karakteriše intenzitet rada pri kojem se motoričke aktivnosti odvijaju neposredno iznad anaerobnog praga (AnP), ili od 80 do 85% od maksimalnog intenziteta. Ovakav intenzitet dovodi do uključivanja u rad sve većeg broja brzih glikolitičkih mišićnih vlakana, što neminovno utiče

na aktiviranje anaerobne glikolize i povećanje koncentracije laktata u krvi do 7 mmol/l. Povećana količina laktata u krvi dovodi do metaboličke acidoze, a ona je rezultat poremećene ravnoteže između proizvodnje i neutralizacije laktata. Taj poremećaj onemogućava rad velikog obima. Opterećenje u ovoj zoni (između AnP i $V_{O_2 \max}$) usmereno je na povećanje efikasnosti puferskih sistema, kao i na povećanje anaerobnog praga i glikogenske rezerve u krvi. U ovoj zoni se realizuju najveće prosečne vrednosti intenziteta godišnjeg ciklusa čime se izgrađuju osnove specifične izdržljivosti -brzinska, brzinsko-snažna i dr.

Četvrta zona (anaerobno-glikolitičko obezbeđenje). Ovo je zona u kojoj maksimalna potrošnja kiseonika ($VO_{2 \max}$) dostiže svoje maksimalne vrednosti ili 85-95% od maksimalnih mogućnosti. Ovu zonu karakteriše aktivno učešće brzih glikolitičkih mišićnih vlakana i izrazit nesklad između povećanih potreba za kiseonikom i ograničenih mogućnosti za njegovo obezbeđenje. Tipovi treninga u ovoj zoni su namenjeni maksimalnom razvoju glikolitičkog sistema za obezbeđenje ATP-a, povećanju anaerobnog praga, kao i povećanju tolerancije na laktate.

Peta zona (anaerobno-alaktatno obezbeđenje). Zona u kojoj intenzitet opterećenja dostiže svoje maksimalne vrednosti. Kada se primenjuje maksimalan intenzitet na kraju prethodnog submaksimalnog intenziteta (završnica trke), nivo laktata u krvi znatno premašuje vrednost od 10 mmol/l, tzv. razinu zakišeljavanja, a frekvencija srca je viša od 195 otkucaja/min. Ukoliko se maksimalan intenzitet opterećenja primenjuje u odvojenim intervalima (trajanja do 20 sec), nivo laktata je nizak, a acido-bazna ravnoteža (pH) ostaje nepromenjena. Kratko vreme rada ne utiče na povećanje srčane frekvencije preko 175-180 otkucaja u minuti. U ovoj zoni se sprovode treninzi za brzinu, snagu i eksplozivnu snagu. Oni su neodvojivi deo udarnih mikrociklusa na kraju pripremnog i na početku takmičarskog perioda. Njihov trenažni efekat je pretežno usmeren na brza mišićna vlakna.

ZONE	TRENAŽNO OPTEREĆENJE			TRENAŽNI EFEKAT		
	Usmerenost	Veličina	Osnovne metode	Energetski režimi	PF — otk.l/min	ha — mmol. l ⁻¹
I	Oporavak posle maksimalnog opterećenja. Stabilizacija efekta. Bazična izdržljivost.	Srednji obimi umerenog intenziteta na početku pripremnog perioda ili mezociklusa oporavka.	Ravnomerna i promenljiva, niskog intenziteta.	Aerobni režim	120-140	do 2
II	Razvoj aerobnih mogućnosti pri stabilnom stanju. Povećanje granica AnP.	Maksimalni obimi i srednji intenzitet. Bazični mezociklusi. Tonizirajući mikrociklusi.	Ravnomerna i promenljiva srednjeg intenziteta — 95 od AnP.	Mešoviti aerobno-anaerobni-Stabilno stanje	140-165	do 4
III	Najintenzivniji razvoj aerobnih procesa. Stimuliranje glikolize. Izgradnja specifične izdržljivosti.	Veliki obim i maksimalan intenzitet. Kraj pripremnog Perioda i specijaliziranih mezociklusa.	Promenljiva i intervalna sa intenzitetom 80-85% od maksimalnog.	Mešoviti anaerobno-aerobni nekompensiran zamor	165-180	do 7
IV	Maksimalan razvoj glikolitičkih mogućnosti u granicama "kritičnih brzina". Specifična izdržljivost.	Srednji obim i submaksimalan intenzitet. Specijalizirani mikrociklusi.	Intervalna sa intenzitetom 85-95% od maksimalnih mogućnosti.	Anaerobno-glikolitički-visoka acidoza	180-195	preko 10
V	Maksimalna koncentracija mišićnog rada. Usavršavanje KrP mehanizama — brzina, snaga.	Mali i srednji obim Maksimalnog intenziteta. Takmičarski mikrociklusi.	Intervalna sa intenzitetom 95-10%od maksimuma, stresna opterećenja.	Anaerobni — alaktatni	170-175	do 2-3

Tabela 11-9 Zone funkcionisanja energetske mehanizama u sportskim aktivnostima

11.6.1. METODIKA RAZVOJA AEROBNE IZDRŽLJIVOSTI

Aerobna izdržljivost se u literaturi naziva i opštom ili kardio-vaskularnom izdržljivošću. Nivo aerobnih sposobnosti čoveka procenjuje se maksimalnom potrošnjom kiseonika. Da bi aktivni mišići bili u stanju da troše što više kiseonika neophodno im je stvoriti optimalne uslove koji podrazumevaju dugotrajni rad intenzitetom nižim od submaksimalnog. U takvim okolnostima omogućeno je dostizanje visokih vrednosti kardio-vaskularnih (udarnog i minutnog volumena) i respiratornih funkcija (plućne ventilacije, disajnog volumena i difuzije kiseonika u alveolama), te visoke vrednosti ćelijskog metabolizma u aktivnim mišićima (difuziju kiseonika u kapilarima i njegovo dopremanje do mitohondrija). Maksimalne vrednosti navedenih fizioloških parametara izmerene su u trenutku dostizanja stabilnog stanja. Za razvoj aerobne izdržljivosti u savremenom treningu najviše se koriste dva modela: *intervalni* i *kontinuirani* trening.

11.6.1.1. INTERVALNI TRENING

Krajnji cilj svakog intervalnog treninga je postizanje nadopterećenja odnosno, ostvarenje velikog obima rada za kratko vreme. Drugim rečima, intervalni trening omogućava visok intenzitet rada koji je osnovni stimulus za većinu adaptacionih promena u lokomotornom sistemu sportiste. Zasniva se na fiziološkim mogućnostima organizma da ostvari veliki broj ponavljanja određenih deonica nakon relativno kratke pauze. Na taj način sportista na jednom treningu može nekoliko puta da premaši obim opterećenja svoje osnovne takmičarske discipline. Uzme li se za primer atletska disciplina trčanje na 1500 metara koja zahteva veliki energetske rashod i otplatu velikog kiseoničkog duga u periodu oporavka, jasno je da se u toku dana može istrčati samo jedna kvalitetna trka. Ukoliko se, međutim, ta distanca podeli na nekoliko manjih (15 x 100 m; 5 x 300 m ili 3 x 500 m), moguće je ostvariti isti obim, a da intenzitet pri tome bude mnogo veći nego tokom jedne trke. Radi se, naime, o tome da se jedna deonica intervalnog treninga pretrči većom brzinom od prosečne brzine tokom trke na 1500 metara. U toj deonici ne stvori se toliko mlečne kiseline koliko na kraju kompletne trke, a kiseonički dug se u

velikoj meri otplati za vreme pauze. Optimalnom pauzom smatra se ona koja traje dva do dva i po puta duže od trajanje intervala rada. Ukoliko na primer, sportista pretrči deonicu od 300 metara za 50 sekundi, pauza bi trebalo da traje oko dva minuta (100-120 sekundi). Više intervala rada se često povezuje u blokove i na jednom treningu se mogu realizovati 2-3 bloka. Pauza između blokova duža je od pauza između intervala rada četiri do pet puta. U odnosu na pređašnji primer sa trčanjem deonice od 300 m, pauza između blokova trebalo bi da traje između 8 i 10 minuta.

Sagleda li se intenzitet rada tokom jedne deonice, lako se zaključuje da je po sredi anaerobni rad. Intervalni trening u suštini je kombinacija anaerobnih opterećenja isprekidanih intervalima odmora u kojima dominiraju aerobni biohemijski mehanizmi. Eksperimenti sa sportistima su pokazali da intervalni trening daje efikasne rezultate, kako u povećanju aerobnih, tako i anaerobnih sposobnosti.

Prilikom realizacije intervalnog treninga najveću primenu imaju ciklični oblici kretanja, poput trčanja i plivanja. Trenerska praksa, kao i brojni teorijski radovi, pokazuju da su trkačke deonice oko 4 puta duže od ekvivalentnih deonica u plivanju (trčanje na 100 približno je ekvivalentno plivanju na 25 m, a trčanje na 200 m odgovara plivanju na oko 50 m).

Za pravilno doziranje intervalnog treninga neophodno je precizno odrediti intenzitet rada u jednoj deonici. Bogat naučno-istraživački materijal i vodeća praksa pokazali su da je ovaj trening, bez obzira na individualne osobine sportista, veoma efekasan onda kada pojedinačne komponente opterećenja imaju približno sledeće vrednosti (Željaskov 2004):

Intenzitet opterećenja - oko 75-85 % od maksimalnog, tj. iznad kritičnog intenziteta (u zoni frekvencije pulsa od 150-180 ud./min). Pri većem intenzitetu potrošnja kiseonika opada zbog suzbijajućeg uticaja veoma snažnih glikolitičkih reakcija.

Trajanje opterećenja - oko 60 - 90 sec, što uslovljava da se rad odvija u uslovima kiseoničnog duga, dok se pojačana potrošnja kiseonika uočava u periodima odmora.

Intervali odmora - od 45 do 90 sec, u zavisnosti od individualnih kompenzatornih mogućnosti organizma. Osnovni princip jeste stvaranje povoljnih uslova za rad koji će uslediti. Odmor ne treba da traje duže od 3 minuta zbog postepenog sužavanja krvnih sudova u mišićima, što stvara izvesne poteškoće za krvotok prilikom sledećeg ponavljanja.

Broj radnih intervala (ponavljanja) - u skladu je sa individualnim

mogućnostima sportiste, do onog momenta do kojeg je moguće održavanje stabilne potrošnje O₂ na visokom nivou. Poremećaj tzv. stabilnog stanja, koji je posledica neuklonjenih produkata metabolizma, služi kao osnovni signal za prekid odgovarajuće serije. Nakon dužeg odmora od 8 do 12 min može početi sledeća radna serija:

Karakter odmora - poželjno je da bude aktivan, jer takav odmor ubrzava procese oporavka i služi kao neka vrsta regulatora za duže održavanje ravnoteže. Upravo takav karakter odmora omogućava prelazak od ponavljajućeg rada ka radu promenljivog intenziteta.

Tokom vremena, primećene su određene negativne posledice totalne primene intervalnog treninga. Stereotipna primena intervalnog rada velikog obima i intenziteta, dovodi do iscrpljivanja adaptivnih rezervi organizma te dolazi do usporavanja, pa čak i prekida kumulativne adaptacije. Proučavanja adaptivnih promena u organizmu pri različitim formama intervalnog rada, otkrivaju visoku efikasnost intervalne metode u varijanti sa kratkotrajnim periodima rada i odmora (30 sec rada i 30 sec odmora). Visoka efikasnost ovakvog rada temelji se na mioglobinskim rezervama kiseonika u mišićima koji rade. Veoma brzo, u prvim sekundama rada potroše se mioglobinske rezerve kiseonika u mišićima, ali se istom brzinom popunjavaju u prvim sekundama odmora. Učešće deponovanog kiseonika u mioglobinu mišića povećava deo aerobnog metabolizma u ukupnoj energetici opterećenja, što daje ovoj vrsti intervalnog rada sledeće prednosti: visoku efikasnost i manji zamor (Željaskov 2004).

U stručnoj literaturi (Stefanović, 1993; Lekić, 1997) se mogu naći i podaci o jednoj specifičnoj formi intervalnog treninga, nazvanoj – *fartlek*.³³ Reč je isključivo o trčanju koje se sprovodi na otvorenom terenu sa prirodnim preprekama (najčešće drvećem). Sportisti imaju zadatak da na ograničenom prostoru, slobodno menjajući pravac i brzinu, trče različitim tempom od 45 do 90 sekundi. Ukoliko je intenzitet fartlek deonica blizak submaksimalnom, između njih postoje pauze tokom kojih ispitanici mogu da šetaju ili da nastave sa laganim trčanjem. U praksi se primenjuje i fartlek koji nema jasno izdvojene brže i sporije deonice, već se realizuje kontinuirano u dužem vremenskom intervalu, a promene pravca i brzine uslovljene su položajem prepreke na koju se naiđe. Primera radi, sportista tokom trčanja kroz šumu povremeno ubrzava ili

³³ **Fartlek** je švedska kovanica koja se doslovno prevodi kao *igranje brzinom*.

menja pravac, obilazeći oko drveta. Ova varijanta fartleka približava se kontinuiranom treningu (tabela 11-10).

VARIJANTE FARTLEKA	
FARTLEK VATSONA	<p style="text-align: center;">TRENING PRIKLADAN ZA 10, 5 I 3 KM I KROS —KONTRI.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 10 min zagrevanja sa laganim trčanjem • Trčanje dugim koracima 4 min posle 1 min oporavljajućeg trčanja - <i>8ponavljanja</i> • 10 min laganog trčanja za relaksaciju
FARTLEK SALTINA	<p style="text-align: center;">TRENING PRIKLADAN ZA 1 500 M, 5 I 3 KM.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 10 min zagrevanja laganim trčanjem • Trčanje dugim koracima 3 min posle 1 min oporavljajućeg trčanja. Ovaj obrazac se ponavlja 6 puta • 10 min laganog trčanja za relaksaciju
FARTLEK ASTRANDA	<p style="text-align: center;">TRENING PRIKLADAN ZA 1 800 M.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 10 min zagrevanja laganim trčanjem • Trčanje sa maksimalnim intenzitetom 75 sek posle kojeg sledi 150 sek laganog trčanja, trčanje s maksimalnim intenzitetom 60 sek, zatim 120 sek laganog trčanja. Ovaj obrazac se ponavlja 3 puta • 10 min laganog trčanja za relaksaciju
FARTLEK GERŠLERA	<p style="text-align: center;">TRENING PRIKLADAN ZA RAZVOJ BRZINE U KOMBINACIJI SA TRČANJEM U STANJU DINAMIČNE RAVNOTEŽE</p> <ul style="list-style-type: none"> • 10 min zagrevanja laganim trčanjem • Trčanje dugim koracima 30 sek, zatim lagano trčanje 90 sek. Ovaj obrazac se ponavlja, pri čemu se posle svakog brzog trčanja, vreme za oporavljajuće trčanje skraćuje za 15 sek / npr., 30-75, 30-60, 30-45, 30-30, 30-15/. Ovaj obrazac se ponavlja 3 puta • 10 min trčanja za relaksaciju
FARTLEK SA OTPOROM	<ul style="list-style-type: none"> • 10 min zagrevanja laganim trčanjem • 2 milje trčanja (uzbrdo/nizbrdo) prema sledećoj šemi: brzo trčanje uzbrdo-nizbrdo dva puta pre prelaska na sledeći nagib; između nagiba lagano trčanje. Ovaj obrazac se ponavlja 3 puta • 10 min trčanja za relaksaciju
FARTLEK POSLE SIGNALA	<ul style="list-style-type: none"> • 10 min zagrevanja laganim trčanjem • Piramidalne serije, i to: <i>4,3,2,1,2,3,4 min</i> posle signala, posle prvog signala trčanje u brzom tempu, posle drugog signala — lagano trčanje. Isto ponavljati u svakoj seriju, trajanje odmora - 60 sek • 10 min trčanja za relaksaciju

Tabela 11-10 Varijante fartlek treninga

11.6.1.2. KONTINUIRANI (NEPREKIDNI) TRENING

Kontinuirani trening, kao što mu ime kaže, sastoji se od dugotrajnog neprekidnog rada umerenog intenziteta. Iskazano utroškom kiseonika, opterećenje tokom ovakvog rada trebalo bi iznosi između 60 i 80% maksimalne potrošnje. Tokom treninga primenjene aktivnosti ni jednog trenutka ne prelazi prag anaerobnog metabolizma.

Aktivnosti koje se najviše primenjuju za kontinuirani (neprekidni) trening su cikličnog karaktera (trčanje, plivanje i vožnje bicikla). Trajanje rada može da iznosi i više od dva sata, ali u svakom slučaju ne bi trebalo da bude kraće od 60 minuta. S obzirom na nivo primenjenog opterećenja, tokom ovakvog rada stvaraju se svi uslovi za brzo dostizanje i očuvanje stabilnog stanja do kraja aktivnosti. To praktično znači da se sva energija za mišićni rad obezbeđuje iz aerobnih izvora i to u prvih 20-30 minuta potpunom razgradnjom glukoze, a kasnije sve više iz masti. Prema tome, stimuli kontinuiranog treninga usmereni su ka tipičnim oksidativnim enzimima i ka većem uključenju lipolize u ukupnu energetske produkcije.

Najvažniji parametar doziranja neprekidnog aerobnog, kao i bilo kog drugog rada, je intenzitet i dužina njegovog trajanja. Od presudnog je značaja da se izabrana aktivnost odvija u senzitivnoj zoni koja potencira aktivnost aerobnih metaboličkih procesa. Što rad duže traje više je izraženo dejstvo trenažnih stimulusa usmerenih na razvoj aerobnih funkcija. Trenerska iskustva pokazuju da je kontinuirani trening veoma delotvoran u pogledu razvoja opšte izdržljivosti, pa se otuda dosta primenjuje, naročito u pripremnom periodu. Kontinuirani trening ne upražnjavaju samo učesnici u sportovima tipa aerobne izdržljivosti (poput maratonaca, trkača na duge staze isl), već i oni u čijim sportskim naporima dominiraju anaerobni mehanizmi (sprinteri, srednjeprugaši, fudbaleri, košarkaši). Razlog za to je brz porast aerobne moći organizma što je od značaja za brzinu oporavka u anaerobnim oblicima vežbanja, naročito u intervalnom treningu. Da bi sportista bio u stanju da podnese veliki obim intermitentnog anaerobnog rada, mora posedovati dobru aerobnu bazu i dosta visok prag anaerobnog metabolizma. To mu omogućava ne samo efikasnije korišćenje intervala oporavka, već i efikasnije trošenje glikogena tokom naprezanja.

Promene nastale pod uticajem kontinuiranog treninga su stabilnije i dugotrajnije od onih koje nastaju kao posledica intervalnog treninga. Osim toga, kontinuirani trening ne iziskuje veliku psihološku aktivaciju.

11.6.2. METODIKA RAZVOJA ANAEROBNE IZDRŽLJIVOSTI

Anaerobna izdržljivost prisutna je u radu maksimalnog i submaksimalnog intenziteta, bilo da je reč o savladavanju (sub)maksimalnog spoljašnjeg otpora ili da se pokret izvodi (sub)maksimalnom brzinom. Što su naprezanja bliža maksimumu njihovo trajanje je sve kraće. Tako rad maksimalnog intenziteta može da potraje svega nekoliko sekundi, s obzirom na to da je podržan energijom dobijenom razgradnjom fosfagena kojih u mišićima ima veoma malo. Sa produžavanjem rada opada njegov intenzitet, a energetska dominaciju sve više preuzima anaerobna glikoliza. Prema tome, u okviru aktivnosti zasićenih anaerobnom izdržljivošću mogu se razlikovati dva tipa: one koje se odvijaju isključivo na račun fosfagenskog sistema i one koje kao dominantan koriste laktacidni sistem. Otuda se u okviru metoda za razvoj anaerobne izdržljivosti može raspravljati posebno o onim usmerenim na razvoj fosfagenskog i laktacidnog sistema.

Fosfageni (ATP i CP) aktuelni su kao osnovni izvor energije u sportovima sa maksimalnim naprežanjem (podizanje maksimalnog tereta ili maksimalni sprint). Razvoj ovog energetskeg sistema ostvaruje se *nadopterećenjem* aktuelnih mišićnih grupa što se postiže primenom ponavljajućeg modela rada. Preciznije, izvodi se ponavljanje jednokratnog kratkotrajnog opterećenja maksimalnim intenzitetom u trajanju od 5-10 sekundi što približno odgovara trčanju od 20-80 metara. Takav rad stvara veoma malo mlečne kiseline i omogućava veoma brz oporavak, tako da pauze između maksimalnih naprežanja traju svega 30 do 60 sekundi. Ponavljanje naprežanja izvodi se sve do osetnog pada radne efikasnosti, tačnije do trenutka kada sportista više nije u stanju da ponovi maksimalno naprežanje (nije u stanju da podigne maksimalni teret ili pokret ne može da izvede maksimalnom brzinom). Treba voditi računa i da su rezerve kreatinfosfata u mišićima male pa već u trećem-četvrtom ponavljanju fosfokreatinski mehanizam iscrpi svoje mogućnosti. Zbog toga planirani obim rada na treningu treba rasporediti nekoliko serija od 4-5 ponavljanja u svakoj. Odmor između serija je 7-10 minuta. Na taj način intervali odmora su dovoljno dugi da se oksidiše znatni deo stvorene mlečne kiseline, a u isto vreme i da se očuva povišena razdražljivost nervnih centara. Da se ne bi smanjila razdražljivost CNS-a korisno je vreme između serija ispuniti drugom vrstom rada malog

intenziteta u kome učestvuju iste mišićne grupe koje su bile opterećene u osnovnom radu. Ako je osnovni rad bilo trčanje, ne treba sedeti već lagano hodati. Ovaj metod primenjuje se na početku treninga zato što ovako visok intenzitet pokreta zahteva visok nivo razdraženja centralnog nervnog sistema. Kada dođe do pada radne efikasnosti, trening može biti nastavljen radom na razvoju nekog drugog fizičkog svojstva zasićenog mišićnom izdržljivošću (na primer: razvojem izdržljivosti u snazi ili laktatnog energetskog sistema).

Ukoliko se rad maksimalnog i submaksimalnog intenziteta produži više od deset sekundi, dominantnu ulogu u obezbeđivanju energije preuzima anaerobna glikoliza. Tačnije, već nakon šest sekundi maksimalno teškog rada fosfageni bivaju toliko iscrpljeni da bez angažovanja glikogena nije moguć nastavak aktivnosti. Anaerobna razgradnja glukoze praćena je stvaranjem velike koncentracije laktata koji otežavaju rad enzima i umanjuju kontraktilne sposobnosti mišićnih vlakana. Oporavak od tako teškog kontinuiranog rada traje veoma dugo i da bi bio ponavljen, sa približno istom efikasnošću, potrebno je da prođe nekoliko desetina minuta. Zbog toga se nadopterećenje tokom treninga za razvoj glikolitičkih mehanizama ostvaruje intermitentnim (intervalnim) radom, a shodno tome, osnovni metod za razvoj ovog energetskog sistema označava se kao intervalni.

Najčešći model intermitentnog rada usmerenog na razvoj anaerobne izdržljivosti laktacidnog tipa je primena intervala submaksimalnog maksimalnog naprezanja (90-95% od maksimuma) u trajanju od 20-60 sekundi. Ukoliko je reč o trčanju uglavnom se pretrčavaju deonice od 200 do 800 metara. Intervale odmora određuje dinamika glikolize o čemu govori sadržaj mlečne kiseline u krvi. Maksimum sadržaja laktata ne pojavljuje se odmah posle rada već nekoliko minuta kasnije pri čemu se od ponavljanja do ponavljanja vreme maksimuma približava momentu završetka rada. Zbog toga se preporučuje da se intervali odmora postepeno skraćuju. Između prvog i drugog ponavljanja odmor je 5-8 minuta, između drugog i trećeg 3-4 minuta a između trećeg i četvrtog 2-3 minuta. U takvim uslovima sportista u svaki naredni interval rada ulazi sa većom količinom mlečne kiseline i većim kiseoničkim dugom. Intervale odmora nije potrebno ispuniti drugom vrstom rada.

Intervalni trening je veoma zahtevan, kako u energetskom tako i psihološkom smislu. Jedan dobar anaerobni trening može toliko da iscrpi energetske rezerve u mišićima i da stvori tako visoku koncentraciju

metabolita da je za potpun oporavak potrebno da protekne minimalno 48 sati. Zbog toga u nedeljnom mikrociklusu ima mesta za samo dva (kod vrhunskih sportista eventualno tri) anaerobna treninga.

Visoka koncentracija laktata umanjuje kontraktilne sposobnosti aktivnih mišića i narušava koordinaciju pokreta. Doda li se tome i psihički zamor, jasno je da se nakon teškog anaerobnog treninga ne može usavršavati sportska tehnika, pa je otuda pogrešan manir nekih trenera da ovakav trening završavaju uvežbavanjem slobodnih udaraca, izvođenjem trojki i uopšte preciznim i koordinacijski zahtevnim kretnjama. Nakon anaerobnog treninga najbolje je primeniti pasivni odmor uz eventualne vežbe istezanja i labavljenja. Što se tiče dva naredna dana, preporučljivo je primeniti aktivan odmor ispunjen cikličnim vežbama umerenog intenziteta (na primer lagano istrajno trčanje) ili pak primeniti nesrodne aktivnosti koje anagažuju manje aktivne mišiće (na primer plivanje ukoliko se trening sastojao od trčanja). Poslednjih godina se za ubrzavanje oporavka koriste hiperbarične komore kojima se ubrzava oksigenacija metabolita.

Literatura

- Adem, A. et al. (1989): Insulin-like growth factor I (IGF-1) receptors in the human brain: Quantitative autoradiographic localization. *Brain research*, 503: 299-303
- Agaard, P. et al. (1994): Effects of different strength training regimes on moment and power generation during dynamic knee extensions. *European Jour. of appl. physiology*, 69: 382-386
- Allen, R.E. & Boxhorn, L.K. (1988): Regulation of skeletal muscle satellite cell proliferation and differentiation by transforming growth factor.β, Insulin-like growth factor I, and fibroblast growth factor. *Jour. of Cell Physiol.*, 138: 311-315
- Allen, R.E., Merkel, R.A. & Young, R.B. (1979): Cellular aspects of muscle growth: Myogenic cell proliferation. *Journal of animal science*, 49: 115-127
- Alway et al. (1990): Muscle cross-sectional area and torque in resistance-trained subjects. *European journal of applied physiology*, 60: 86-90
- Arey, L.B. (1968): *Human histology*. W.B. Sanders Company, Philadelphia
- Assmusen, G. & Marechal, G. (1989): Maximal shortening velocities, isomyosins and fibre types in soleus muscle of mice, rats and guinea-pigs. *Jour. of Physiology*, 416: 245-254
- Astrand, P.O. & Rodahl, K. (1977): *Textbook of work physiology (2nd ed)*. McGraw-Hill Book Company, New York
- Bakker, G.K. (1968): *Factors associated with success in volleyball. Unpublished master's*. Illinois state university
- Bakker, D., Wilson, G. & Carlyon, B. (1994): Generality versus specificity: A Comparison of dynamic and isometric measures of strength and speed-strength. *European journal of applied physiology*, 68: 350-355
- Baldwin, K.M. et al. (1973): Glycolytic enzymes in different types of skeletal muscle: Adaptation to exercise. *American journal of physiology*, 225: 962-966
- Barnard, R.J., Edgerton, V.R. & Peter, J.B. (1970): Effects of exercise on skeletal muscle. II Contractile properties. *Journal of applied physiology*, 28: 767-770
- Barry, A.J. & Cureton, T.K. (1961): Factor analysis of physique and performance in prepubescent boys. *Research quarterly*; XXXII, 283
- Basmajian, J.V. (1962): *Muscles alive*. Williams & Wilkins Co., Baltimore
- Bass, R.I. (1939): An analysis on the components of semicircular canal function and of static and dynamic balance. *Research quarterly*; X, 33
- Binkhorst, R.A., Hoofd, L. & Vissers, A.C.A. (1977): Temperature and force-velocity relationship of human muscle. *Journal of applied physiology*, 42: 471-475

- Birch, K. et al. (1994): The relation between isometric lifting strength and muscular fitness measures. *Ergonomics*, 37: 87-93
- Bosco, C. & Komi, P.V. (1979): Mechanical characteristics and fiber composition of human leg extensor muscles. *European journal of applied physiology*, 41: 275-284
- Bošković, M.S. (1982): *Anatomija čoveka (XIV izd)*. Medicinska knjiga, Beograd
- Braith, R.W. et al. (1993): Effects of training on the relationship between maximal and submaximal strength. *Medicine and science in sports and exercise*, 25: 132-138
- Brogden, H., Burke, L. & Lubin, A. (1952): A factor analysis of measures of physical proficiency. *Press research section report*; 937
- Brooke, M.H. & Kaiser, K.K. (1970): Muscle fiber types: How many and what kind? *Arch. Neurology*, 23: 369
- Buckler, J.M.H. (1971): The relationship between exercise, body temperature and plasma growth hormone levels in a human subject. *Journal of Physiology* 214: 25-26
- Burke, R.E. & Edgerton, V.R. (1975): Motor unit properties and selective involvement in movement. In *Exercise and sport sciences reviews (J.H. Wilmore and J.F. Koegh, eds)*, vol. 3 Academic Press, New York, pp. 31-38
- Cabri, J.M.H. (1991): Isokinetic strength aspects of human joints and muscles. *Critical reviews in biomedical engineering*, 19: 231-259
- Carpenter, A. (1941): An analysis of the relationships of the factors velocity, strength and dead weight to athletic performance. *Research quarterly*; XII, 34
- Chang, F. et al. (1985): The acute effects of exercise on prolactin and growth hormone secretion: Comparison between sedentary women and women runners with normal and abnormal menstrual cycles. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 62: 551-556
- Close, R.I. (1972): Dynamic properties of mammalian skeletal muscles. *Physiol. Rev.* 52:129
- Costyl, D.L., Fink, W.J. & Pollock, M.L. (1976): Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female trade athletes. *Journal of applied physiology*, vol. 40, No 2
- Cousins, G.G. (1955): A factor analysis of selectid wartime fitness tests. *Res. Quart*; XXVI
- Cumbee, F.Z. and Hariss, C.W. (1953): The cimposite criterion and its relation to factor analysis. *Research quarterli*; XXIV
- Cumbee, F.Z. (1954): A factor analysis of motor coordination. *Research quarterly*; vol. 25, No 4
- Cumbee, F.Z., Meyers, M. & Peterson, G. (1957): Factorial analysis of motor coordination variables for thirt and forth grade girls. *Research quarterly*; XXVIII, 100
- Danoff, J.V. (1978): Power produced by maximal velocity elbow flexion. *Journal of Biomechanics*, 11: 481-486
- DeVris, H.A. (1976): *Fiziologija fizičkih napora u sportu i fizičkom vaspitanju*. NIP Partizan, Beograd
- DeVris, H.A. (1980): *Physiology of exercise (3rd ed)*. Wm.C. Brown Company Publishere Dubuque, Iowa
- Dintiman, G.B. (1975): Faktori koji utiču na sprintersku brzinu. *Atletika, ASS i Sport indok centar instituta za fizičku kulturu JZFKMS, Beograd, sveska 1*

- Dintiman, G.B.; Ward, B. & Telliz, T. (1997): *Sports speed*. Human Kinetics, Champaign, Illinois
- Drabik, J. (1996): *Children and sports training*. Stadion Publ., Island Pond, Vermont.
- Dukovski, S. (1984): *Struktura i razvoj morfoloških i biomotoričkih dimenzija dece predškolskog uzrasta u Skopju (Doktorska disertacija)*. Fakultet za fizičko vaspitanje, Beograd
- Duthie, G.M., Young, W.B. & Aitken, D.A. (2002): The acute effects of heavy loads on jump squat performances: An evaluation of the complex and contrast methods of power development. *J Strength Cond Res*, 16: 530–538
- Ebben, W.P. & Watts, P.B. (1998): A review of combined weight training and plyometric training modes: complex training. *Strength Cond*; 20:18–27
- Engel, W.K. (1962): The essentiality on histo and cytochemical studies of skeletal muscle in the investigation of neuromuscular disease. *Neurology*, 12: 778-794
- Enoka, R.M. (1994): *Neuromechanical basis of kinesiology (2nd ed)*. Human Kinetics Books, Champaign, Windsor, Leeds, Edwardsrdstown, Auckland
- Fiatarone, M.A. et al. (1990): High-intensity strength training in nonagenarians. *Journal of American medical association*, 263: 3029-3034
- Fleishman, E.A. (1954): Dimensional analysis of psychomotor abilities. *Jour. Exp. Psychology*; XLVIII, 437
- Fleishman, E.A. (1964): *The structure and measurement of physical fitness*. Englewood cliffs, Prentice-Hall
- Fleishman, E.A. & Hempel, W.E. (1956): Factorial analysis of complex psychomotor performance and related skills. *Journal of applied psychology*; XL, 96
- Fleishman, E.A., Thomas, P. & Munroe, P. (1961): The dimensions of physical fitness; A Factor analysis of speed flexibility, balance and coordination test. *Office of Naval research, Contract 609 (32), Technical Report 3, Yale University*
- Flisk, S. S. (2000): Speed, Agility, and Speed Endurance Development. In: *Essentials of Strength Training and Conditioning (2nd ed.)*. T.R. Beachle and R.W.Earle, Eds., Champaign, IL: Human Kinetics, 2000, pp. 471-491.
- Florini, J.R. (1985): Hormonal control of muscle cell growth. *Jour. of animal science*, 61: 20-27
- Florini, J.R. (1987): Hormonal control of muscle growth. *Muscle and Nerve*, 10: 577-598
- Forbes, A. (1922): Spinal reflex. *Physiological Reviews*, 2: 401
- Friedel, A. (1968): *Neki osnovni problemi sprinta*. Prevodi iz strane stručne literature br. 6, Atletski savez Srbije, Beograd
- Frontera, W.R. et al. (1991): A cross-sectional study of muscle strength and mass in 45-to 78-old men and women. *Journal of applied physiology*, 71: 644-650
- Gambetta, V. & Winckler, G. (2001): *Sport Specific Speed*. Gambetta Sports Training Systems, Sarasota, Fl.
- Gabrijević, M. (1966): *Metode za selekciju i orijentaciju kandidata za dečje i omladinske sportske škole*. Fakultet fizičke kulture, Zagreb

- Gans, C. & DeVree, F. (1987): Functional bases of fiber length and angulation in muscle. *Journal of Morphology*, 192: 63-85
- Glenmark, B. et al. (1994): Muscle strength from adolescence to adulthood-relationship to muscle fiber types. *European Journal of Applied Physiology*, 68: 9-19
- Golnick, P.D. et al. (1973): Effect of training on enzyme activity and fiber composition of human skeletal muscle. *Journal of applied physiology*, 34: 107-111
- Grassi, B. et al. (1991): Peak anaerobic power in master athletes. *European journal of applied physiology*, 62: 394-399
- Griffin, J.W. et al. (1993): Eccentric muscle performance of elbow and knee muscle groups in untrained men and women. *Medicine and science in sports and Exercise*, 25: 936-944
- Grigs, R.C. et al. (1989): Effects of testosterone on muscle mass and muscle protein synthesis. *Journal of applied physiology*, 66: 498-503
- Gredelj, M., Metikoš, D., Hošek, A. i Momirovic, K (1975): Model hijerarhijske strukture motorickih sposobnosti (rezultati dobiveni primjenom jednog neoklasicnog postupka za procjenu latentnih dimenzija). *Kineziologija*, 5(1-2), 7-82.
- Grupa autora (1964): *Fizički razvitak i fizička sposobnost školske omladine SFRJ (Sveska I)*. Savezni zavod za fizičku kulturu, Beograd
- Grupa autora (1965): *Fizički razvitak i fizička sposobnost školske omladine SFRJ (Sveska II)*. Savezni zavod za fizičku kulturu, Beograd
- Guyton, A.C. (1985): *Medicinska fiziologija*. Medicinska knjiga, Beograd-Zagreb
- Gužalovskiy, A.A. (1987): Itogi i perspektivi izučenia zakonomernosti čeloveka. *Teorija i prakatika fizičeskoj kulturi*, 12: 31-34
- Hakkinen, K. & Keskinen, K.L. (1989): Muscle cross-sectional area and voluntary force production characteristics in elite strength-and-endurance trained athletes and sprinters. *European journal of applied Physiology*, 59: 215-220
- Han, V.K.M, D'Eecole, A.J. & Lund, P.K. (1987): Cellular localization of somatomedin (Insuline-like growth factor) messenger RNA in the human fetus. *Science*, 236: 193-196
- Hanson, J. & Huxley, H.E. (1960): *The structure and function of muscle*. G.H. Bourne
- Harre, D. (1973): *Priručnik za trenere*. Sportska knjiga, Beograd
- Harries, U.J. & Bassey, E.J. (1990): Torque-velocity relationships for the knee extensors in women in their 3rd and 7th decades. *European journal of applied physiology*, 60: 187-190
- Hariss, J.E. (1937): The diferential measurment of force and velocity for junior high school girls. *Research Quarterly*; VIII
- Hariss, M. (1969): A Factor analytic study of flexibility. *The Resear. Quart.*; No 1
- Hather, B.M. et al. (1991): Influence of eccentric action of sceletal muscle adaptations to resistance training. *Acta physiologica scandinavica*, 143: 177-185
- Hellebrandt, F.A., Parrish, A.M. & Houtz, S.J. (1947): Cross education: the influence of unilateral exercise on the contralateral limb. *Arch. of Physical Medicine*, 28: 76-84
- Hellebrandt, F.A., Houtz S.J. & Kirkorian, A.M. (1950): Influence of bimanual exercise on unilateral work capacity. *Journal of applied physiology*, 2: 446-452

- Hellebrandt, F.A. (1951): Cross education: ipsilateral and contralateral effects of unimanual training. *Journal of applied physiology*, 4: 136-144
- Henneman, E. & Olson, C.B. (1965): Relations between structure and function in the design of skeletal muscles. *Journal of neurophysiology*, 28: 599-620
- Henry, F.M. (1960): Influence of motor and sensory sets on reaction latency and speed of discrete movements. *Research quarterly*, 31: 459-468
- Henry, F.M. & Rogers, E.D. (1960): Increased response latency for complicated movements and "memory drum" theory of neuromotor reaction. *Research quarterly*, 31: 448-458
- Herman, E.A. et al. (1990): The Effects of arms and countermovement on vertical jump. *Medicine and science in sports and exercise*, 22: 825-833
- Hickson, R. (1981): Skeletal muscle cytochrome C and myoglobin, endurance and frequency of training. *Journal of applied physiology; Respirat. Environ. Ex. Physiol.*, 51: 746-749
- Hickson, R. & Rosenkoetter, M.A. (1981): Separate turnover of cytochrome C and myoglobin in the red types of skeletal muscle. *Amer. Jour. of Physiology*, 241 (Cell Physiol., 10), C140 - C 144
- Highmore, G. (1956): A Factorial analysis of athletic ability. *Research quarterly*; XXVII, 1
- Hill, A.V. (1939): The Heat of shortening and dynamic constants of muscle. *Proceeding of royal society B, London*, 126: 136-195
- Hill, A.V. (1970): *First and last experiments in muscle mechanics*. Cambridge Press
- Holloszy, J.O. (1967): Effects of exercise on mitochondrial oxygen uptake and respiratory enzyme activity in skeletal muscle. *Jour. Biol. Chem.*, 242: 2278-2282
- Holloszy, J.O. (1975): Adaptation of skeletal muscle to endurance exercise. *Med. Sci. Sports*, 7: 155-164
- Holloszy, J.O. & Booth, F.W. (1976): Biochemical adaptations to endurance exercise in muscle. *Ann. Rev. Physiology*, 38: 273-291
- Hopler, H. et al. (1973): The Ultrastructure of the normal human skeletal muscle (a morphometric analysis on untrained men, women and well trained orienteers). *Pflug. Arch.*, 344: 217-232
- Horikaea, R. et al. (1989): Growth hormon and insulin-like growth factor I stimulate leydig cell steroidogenesis. *European journal of pharmacology*, 166: 87-94
- Hortobagyi, T. & Katch, F.I. (1990): Eccentric and concentric torque-velocity relationships during arm flexion and extension. *European journal of applied physiology*, 60: 395-401
- Hutto, L.E. (1938): Measurement of the velocity and athletic power in high school boys. *Research quarterly*; IX, 109
- Huxley, H.E. (1971): The structural basis of contraction. *Proceedings of the royal society of medicine*, 178:131
- Huxley, A.F. (1974): Muscular contraction. *Journal of physiol.*, 243: 1
- Huxley, H.E. (1978): *The Structural basis of muscular contraction*. Proceeding of royal society B, London
- Ingjer, F. (1979): Effects of endurance training on muscle fibre ATP-ase activity, capillary supply and mitochondrial content in man. *Journal of Physiology*, 294: 419-432
- Ismail, A.H. & Cowell, S.C. (1961): Factor analysis of motor aptitude of pre-adolescent boys. *Research quarterly*; 32: 507

- Ismail, A.H. & Gruber, J. (1967): *Motor aptitude and intellectual performance*. Ch. merrill books, Columbus, Ohio
- Jacobson, E. (1943): Innervation and tonus of striated muscle in man. *Journal of nervous and mental disease*, 97: 197-203
- Jakovljević, N.N. (1979): *Biohemija sporta*. NIP Partizan, Beograd
- Jakovljević, N.N. i Makarova, T.N. (1980): Obzor: Funkcionalnaja i metaboličeskaja diferencijacija volakan skeletnih mišic. *Fiziološki žurnal*, 66: 1129-1144
- Jansson, E. Sjödin, B. & Tesch, P. (1978): Changes in muscle fibre type distribution in aeter physical training. A Sign of fibre type transformation. *Acta physiol. Scand.*, 104: 235-237
- Jarić, S. (1993): *Biomehanika humane lokomocije sa biomehanikom sporta*. Fakultet fizičke kulture, Beograd
- Jarić, S., Ristanović, D. & Gavrilović, P. (1981): The Force-velocity relation in quadriceps muscle shortening. *Periodicum biologorum*, 83: 153-155
- Jarić, S. et al. (1985): *A New method for determining the force-velocity relationship in human quadriceps muscle*. In international series on biomechanics - Biomechanics IX-A (eds. D. Winter et al.). Human kinetic publishers, Champaign, Illinois, pp. 82-86
- Jarić, S., Ristanović, D. & Corcos, D.M. (1989): Relations between kinetic parameters of active muscle groups and kinematics variables of a complex movement. *European journal of applied physiology*, 59: 370-376
- Jarić, S. i Kukolj, M. (1996): Sila (jačina) i snaga u pokretima čoveka. *Fizička kultura, Beograd*, vol. 50, No 1-2, str. 15-28
- Jarić, S. (1997): *Biomehanika humane lokomocije sa biomehanikom sporta*. Dosije, Beograd
- Johnes, D.A. and Rutherford, O.M. (1987): Human muscle strength training: The Effects of three different regimes and the nature of the resultant changes. *Journal of hysiology*, 391: 1-11
- Jukić, I., Milanović, D., Vuleta, D., Komes, Z., Harasin, D. i Nakić, J. (2002): Prevenijski kondicijski trening. Zbornik radova znanstveno stručnog skupa "Dopunski sadržaji sportske pripreme", Zagreb, 22 - 28.
- Jukić, I., Nakić, J., Milanović, L. i Marković, G. (2003): Metodika treninga agilnosti. *Zbornik radova: kondicijska priprema sportaša*. Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagrebački športski savez. Zagreb
- Jukić, I., Milanović, D., Marković, G. i Šimek, S. (2004): Pretvarajući podražaji u kondicijskoj pripremi. *Kondicijski trening, Zagreb* 2(2):44-53.
- Kaiser, H.F. (1958): The Varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychomotorica; XXIII*, 187
- Kanehisa, H. & Myashita, M. (1983): Effects of isometric and isocinetic muscle on static strength and dynamic power. *European journal of applied physiology*, 50: 365-371
- Kanehisa, H., Ikegawa, S. & Fukunaga, T. (1994): Comparasion of muscle cross-sectional area and strength between untrained women and men. *Europ. Jour. of Applied Physiology*, 68: 148-154
- Kannus, P. (1992): Normality, variability and predictability of work, power and torque acceleration energy with respect to peak torque in isokinetic testing. *International journal of sports medicine*, 13: 249-256

- Kelton, I.W. & Wright, R.D. (1949): The mechanism of easy standing by man. *Australian journal of experimental biology and medical science*, 27: 505-515
- Koc, J.M. (1982): *Fiziologija mišićnoj dejateljnosti*. Fizkultura i sport, Moskva
- Komi, P.V. et al. (1977): Anaerobic Performance Capacity in Athletes. *Acta Physiol. Scand.*, 100: 163-172
- Komi, P.V. & Karlsson, J. (1979): Physical performance, skeletal muscle enzyme activities and fibre types in monozygous and dizygous twins of both sexes. *Acta Physiol. Scand., suppl.*, 462
- Komi, P.V. (1992): *Strength and power in sport (Vol. III of the Encyclopaedia of sport medicine)*. An IOC medical commission publication in collaboration with the International Federation of Sports Medicine; Marston Book Services Ltd, Oxford, Cambridge
- Kramer, W.J. (1992): Endocrine responses to resistance exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 20 (supplement): S152-157
- Kukulj, M., Jovanović, A. i Ropret, R. (1993): *Osnovi antropomotorike – operativno-metodički aspekti*. Fakultet fizičke kulture, Beograd
- Kuoppasalmi, K. & Adlercreutz, H. (1985): *Interaction between catabolic and anabolic steroid hormones in muscular exercise*. In exercise endocrinology (eds. K. Fotherby & S.B.Pal), Walter de Gruyter, Berlin, pp. 65-98
- Kurelić, N. (1957): Prilog proučavanju problema uticaja sistematskog telesnog vežbanja na neke fizičke sposobnosti i fizički razvitak sportista. *Fizička Kultura, Beograd*; 3-4 i 5-6
- Kurelić, N. i saradnici (1975): *Struktura i razvoj morfoloških i motoričkih dimenzija omladine*. Institut za naučna istraživanja Fakulteta fizičke kulture, Beograd
- Kurz, T. (1994). *Stretching scientifically*. 3 rd ed. Island Pond, VT Stadion.
- Laforsset, S. et al. (1990): Effects of age and regular exercise on muscular strength and endurance. *European journal of applied physiology*, 60: 104-111
- Lamb, D.R., Peter, J.B. & Jeffress, H.A. (1969): Glycogen, hexokinase and glycogen synthetase adaptations to exercise. *American journal of physiology*, 217: 1628-1632
- Larson, L.A. (1941): A Factor analysis of motor ability variables and tests with tests for college men. *Research quarterly*; XII, 499
- Larson, L. (1983): Histochemical characteristics of human skeletal muscle during aging. *Acta physiologica Scandinavica*, 117: 469-471
- Larson, L., Grimby, G. & Karlsson, J. (1979): Muscle strength and speed of movement in relation to age and muscle morphology. *Journal of applied physiology*, 46: 451-456
- Lekić, D.M. (1997): *Fiziologija sporta sa osnovama biohemije i anatomije*. Sportska Akademija, Beograd
- Lukman, L. i Lukman, A. (1997): Savremene tendencije učenja i obučavanja u sportu. *Saopštenje na Saveznom seminaru za Ski-učitelje i trenere. Ski savez Jugoslav.*
- Marković, G i Bradić, A.(2008): *Nogomet - integralni kondicijski trening*. Tjelesno vježbanje i zdravlje, Zagreb
- Marpurgo, B. (1987): Ueber aktivität – hypertrophie der wirllkurlichen muskeln. *Virchows Archiv für Pathologische Anatomie und Physiology und für Kinische Medizin*, 150: 522-554
- McCloy, C.H. (1934): The Measurment of general motor capacity and general motor ability. *Research quarterly*; vol. 46

- McCloy, C.H. (1940): The Measurement of speed in motor performance. *Psychomotor*; v. 173
- McCloy, C.H. (1941): The Factor analysis as a research technique. *Research quarterly*; XII, 22
- McCloy, C.H. (1942): *Tests and measurements in health and physical education*. Appleton-century-crofts, New York
- McCloy, C.H. (1956): A Factor analysis of tests endurance. *Research quarterly*; XXVII, 213
- McDougall, J. (1986): *Morphological changes in human skeletal muscle following strength training and immobilization*. In Human Muscle Power (eds. N.L. Jones, N. McCartney & A.J. McComas). Human Kinetics, Champaign, Illinois, pp. 269-284
- McDougall, J. (1992): *Hypertrophy or hyperpalsia*. In Strength and Power in Sport (P. Komi, eds). Marston Book Services LTD, Oxford, Cambridge, pp. 230-238
- Medved, R. (1980): *Sportska medicina*. Jgoslovenska medicinska naklada, Zagreb
- Mejovšek, M. (1950): Fizički status naših vojnika šestobojaca. *Fizička kultura, Beograd*; 5-6: 274; 7-8: 375
- Mero, A.; Komi, P.V. & Gregor, R.J. (1992): Biomechanics of sprint running. *Sports Medicine*, 13: 376-392
- Metikoš, D. i Hošek, A. (1972): Faktorska struktura nekih testova koordinacije. *Kineziologija, Zagreb*; II, 43
- Metikoš, D., Milanović, D., Prot, F., Jukić, I. i Marković, G. (2003): Teorijske i metodičke osnove razvoja koordinacije. *Zbornik radova: kondicijska priprema sportaša*. Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagrebački športski savez. Zagreb
- Methany, E. (1938): Studies of the johnson test as a test of motor Educability. *Research quarterly*; IX, 105
- Mihovilović i saradnici (1948): *Izveštaj o fizičkom odgoju*. Filozofski fakultet, Zagreb
- Miler, B. (1963): *Faktorska analiza nekih testova fizičke kondicije (Diplomski rad)*. Fakultet fizičke kulture, Zagreb
- Momirović, K, Maver, H. i Pađen, R. (1958): Faktorska analiza nekih terenskih testova fizičke kondicije. *Zbornik radova III sastanka stručnjaka za higijenu rada, Zagreb*
- Momirović, K, Maver, H. i Pađen, R. (1960): Faktorska analiza kombiniranog mišićnog testa. *Vojno-sanitetski pregled*
- Momirović, K. (1970): *Faktorska struktura nekih testova motorike*. Republički zavod za zapošljavanje radnika, Zagreb
- Momirović, K. i sar. (1970-a): Osnovni parametri i pouzdanost merenja nekih testova motorike. *Fizička kultura, Beograd*; 24: 42
- Momirović, K. i sar. (1970-b): *Faktorska struktura nekih testova motorike*. Republički zavod za zapošljavanje radnika, Zagreb
- Momirović, K. i sar. (1972): Utjecaj kriterija za zaustavljanje ekstrakcije faktora na strukturu dobivenu oblimin i varimax transformacijom značajnih glavnih osovina. *Kineziologija, Zagreb*; 2: 7-11
- Morgan, T.E. et al. (1971): *Effects of long-term exercise on human muscle mitochondria*. In muscle metabolism during exercise (B. Pernow and B. Saltin, eds). Plenum Press, New York, pp. 87-95

- Narici, M.V., Bordini, M. & Cretelli, P. (1991): Effect of aging on human adductor pollicis muscle function. *Journal of applied physiology*. 71: 1277-1281
- Nicks, D.C. and Fleishman, E.A. (1960): *What do physical fitness tests measure*. A Review of Factor analytic studies, New Haven
- Okayama, T. (1972): Factors which regulate growth hormone secretion. *Med. journal*, 17: 13-19
- Opavsky, P. (1982): *Osnovi biomehanike, IV izd.* Naučna knjiga, Beograd
- Opavsky, P. (1998) : *Uvod u biomehaniku sporta*. Beograd
- Otason, J. (1975): Sprint u Finskoj. *Atletika, ASS i sport indok centar Instituta za fizičku kulturu JZFKMS, Beograd, sveska 2*
- Ozolin, N.G. (1966): *Sportski trening*. NIP Partizan, Beograd
- Pearson, A. (2001): *Speed, agility and quickness for soccer*. A & C Black, London
- Perić, D. (1991): *Komparativna analiza metodoloških sistema eksplikacije biomotoričkog statusa dece predškolskog uzrasta (doktorska disertacija)*. Fakultet fizičke kulture, Beograd
- Perić, D. (1994): *Operacionalizacija istraživanja u fizičkoj kulturi*. Autorsko izdanje, Beograd
- Perić, D. (1995): Relationship between arm strength parameters and some specific personality traits. *The Proceedings of the 9th Congress of the Association of Sports Medicine of Balkan, The Book of Abstracts, Beograd, pp. 99-100*
- Perić, D. i Suzović, D. (1995): *Aktuelizovanje relacija perceptivnih sposobnosti i situacione preciznosti košarkaša*. Godišnjak br. 7, Fakultet fizičke kulture, Beograd, str. 72-79
- Perić, D. (1995): The Possibilities of estimation of functional abilities of young sportsmen by modified step-test. *The Proceedings of the 9th Congress of the Association of Sports Medicine of Balkan, The Book of Abstracts, Beograd, pp. 133-134*
- Perić, D. (2006): *Metodologija naučnih istraživanja*. tims., Novi Sad
- Philips, M. (1949): Study of a series physical education tests by factor analysis. *The Research quarterly; XX, 1*
- Peter, J.B. et al. (1972): Metabolic profiles of three fibre types of skeletal muscle in guinea pigs and rabbits. *Biochemistry, New York, 11: 2627-2633*
- Piehl, K., Gollnick, P.D. & Saltin, B. (1973): Selective glycogen depletion in muscle fibres during prolonged exercise. *Acta physiologica Scandinavica, suppl., 396, 73*
- Platonov, V.N. (1984): *Teorija i metodika sportivnoj trenirovki*. Viša škola, Kiev
- Pokrajac, B. (1983): *Telesni i motorički status rukometaša u odnosu na njihov takmičarski nivo (doktorska disertacija)*. Fakultet fizičke kulture, Beograd
- Polić, B. i sar. (1955): Fizički razvitak i fizičke sposobnosti srednjoškolske omladine Beograda i Niša. *Fizička kultura, Beograd; 5-6*
- Poscer, S. (1967): Studie nekatorych vybranych ukazatelju telesne vykonnosti 15-16 letykh chlapec. *Telovychozny Sbornik; 12: 143*
- Pruett, E.D. (1985): *Insulin and exercise in nondiabetic and diabetic man*. In Exercise endocrinology (eds. K. Fotherby č S.B. Pal). Walter de Gruyter, Berlin, pp. 1-24

- Rajtmajer, A. i Proje, S. (1989): Analiza zanesljivosti in faktorska struktura motoričkih kompozitnih testov za spremljanje motoričnega razvoja prešolskih otrok. *Telesna Kultura, Ljubljana; 1-2*
- Rajtmajer, A. (1989): Analiza zanesljivosti in latentna struktura nekaterih kompozitnih testov za merjenje psihomotorne koordinacije prešolskih otrok. *Zbornik na trudi XI letna škola pedagoga fizičke kulture Jugoslavije, Ohrid; str.101-103*
- Ralston, H.J. & Libet, B. (1953): The question of tonus in skeletal muscle. *American journal of physical Medicine, 32: 85-92*
- Rarick, L. (1947): An Analysis of the speed factor in simpl athletic activities. *Research quarterly; VIII, 89*
- Roman, W.J. et al. (1993): Adaptation in the elbow flexors of elderly males after havy resistance. *Journal of applied physiology, 74: 750-754*
- Salamons, S. (1980): Functional adaptation in skeletal muscle. *TINS, 3: 134-137*
- Sale, D.G., Martin, J.E. & Morez, D.E. (1992): Hypertrophy without inceased isometric strength after weight training. *European journal of applied physiology, 64: 51-55*
- Sale, D.G. (2002). Postactivation potentiation: role in human performance. *Exercise and Sport Sciences Reviews, 30 (3), 138-143.*
- Salmons, S. (1994): Exercise, stimulation and type transformation of skeletal muscle. *Inter. jour. of sports medicine, 15: 136-141*
- Saltin, A.S. (1977): Cytological differentiation of human fatel skeletal muscle. *American journal of anatomy*
- Saltin, B. & Karlsson, J. (1971a): *Muscle glycogen utilization during work of different intensities.* In *Muscle Metabolism During Exercise* (B. Pernow and B Saltin, eds). Plenum Press, New York, pp. 289-299
- Saltin, B. & Karlsson, J. (1971b): *Muscle ATP, CP and lactate during exercise after physical conditioning.* In *Muscle Metabolism During Exercise* (B. Pernow and B Saltin, eds). Plenum Press, New York, pp. 395-399
- Seashore, H.G. (1942): Some Relationships of fine and gross motor abilities. *Research quartrly; XIII, 260*
- Seger, J.Y. & Thorstenson, A. (1994): Muscle strength and myoelectric activity in prepubertal and adult males. *European journal of applied physiology, 69: 81-87*
- Scherer, J., Bourguignon, A. & Monod, H. (1960): *Fatigue in sports.* *France journal of physiology, vol. 60, No 716, p. 357*
- Shephard, R.J. & Astrand, P.O. (1992): *Endurance in sport. (Vol. II of the Encyclopaedia of Sport Medicine).* An IOC Medical Commission Publication in collaboration with the International Federation of Sports Medicine). Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh, Boston, Melbourne, Paris, Berlin, Vienna
- Sheppard, J. M. & Young, W. B. (2006): Agility literature review: Classification, training and testing. *Journal of Sport Sciences, 24 (9): 919-932.*
- Sherington, C.S. (1923): *Integrative action of the nervous system.* Yale University Press, New Haven

- Silles, F.D. (1950): A Factor analysis of somatotypes and of their relationships to achievement in motor skills. *Research quarterly*; 28: 1
- Simons, J. (1969): Construction d'une batterie de tests d'aptitude motorice pour garçons de 12 a 19 ans par la methode de l'analyse factorielle. *Kinanthropologie*; 1: 323
- Schmidtbleicher, D. (1985). Klassifizierung der Trainingsmethoden im Krafttraining. *Lehre der Leichtathletik*; 24, 25-30.
- Sonntag, W.E. et al. (1982): *Growth hormon secretion and neuroendocrine regulation*. In Handbook of Endocrinology (eds. G.H. Gass & H.M. Kaplan). CRC Press, Boca Rat., pp. 35-39
- Spector, S.A. et al. (1980): Muscle architecture and force-velocity characteristics of cat soleus and medial gastrocnemius: Implications for motor control. *Journal of neurophysiology*, 44: 951-960
- Stefanović, Đ. (1978): Prilog proučavanju postepenog i naglog opterećenja radi poboljšanja maksimalne brzine trčanja kod srednje treniranih sportista. *Fizička kultura, Beograd, No 3, str. 192-197*
- Stefanović, Đ. (1979a): Metodi i sredstva treninga za poboljšanje startnog ubrzanja kod sprintera na 100 m. *Fizička kultura, Beograd, god. XXII, br. 5, str. 9-14*
- Stefanović, Đ. (1979b): Metodi treninga za poboljšanje faze maksimalne brzine trčanja kod sprintera na 100m. *Fizička kultura, Beograd, god. XXIII, br. 5, str. 383-390*
- Stefanović, Đ. (1984): Effects of specific combinations of progresive and highly intensive work loads upon improvement of maximum speed phase in the short sprint. *Olimpic Scientific Congres, Oregon (pp. 50-51)*
- Stefanović, Đ. (1988): A New aproach in the utilization of strenght exercises for the improvement of start acceleration stage in a 100m Sprinters. *XI World I.T.F.C.A. Congres, Barcelona*
- Stefanović, Đ. (1993): *Brzina trčanja u atletici*. Fakultet fizičke kulture, Priština
- Stein, J.M. & Padikula, H.A. (1962): Histochemical classification of individual muscle fibres of the rat. *American journal of anathomy*, 110: 103-124
- Šturm, J. (1969): Faktorska analiza nekaterih testov telesne moči. *Zbornik visoke šole za telesno kulturo, Ljubljana; sv. 3*
- Šturm, J. (1970): Zanesljivost in faktorska struktura 28 testov telesne zmogljivosti 8 in 12-letnih učenik in učencev nekaterih ljubljanskih osnovnih šol. *Zbornik visoke šole za telesno kulturo, Ljubljana; br. 4*
- Taylor, N.A.S. et al. (1991): Functional torque-velocity and power-velocity characteristics of elite athletes. *European journal of applied physiology*, 62: 116-121
- Thorstensson, A., Grimby, G. & Karlsson, J. (1976): Force-velocity relations and fiber composition in human knee extensor muscles. *Journal of applied physiology*, 40: 12-16
- Thurstone, L.L. (1947): *Multiple factor analysis*. University of Chicago press
- Tihanyi, J., Apor, P. & Fekete, G. (1982): Force-velocity-power characteristics and fiber composition in human knee extensor muscles. *Eur. jour. of pppl. physiology*, 48: 331-343
- Todorović, B. i Brdarić, R. (1982): Promene fizioloških i biohemijskih karakteristika skeletnih mišića tokom sistematske fizičke aktivnosti. *Zbornik radova XII Kongresa Saveza društava fiziologa Jugoslavije; S-28, str. 9-12*

- Tomić, D. (1978): *Relacije antropometrijskih i motoričkih karakteristika odbojkaša u odnosu na njihov takmičarski nivo (doktorska disertacija)*. Fakultet fizičke kulture, Beograd
- Ugarković, D. (1996): *Biologija razvoja čoveka sa osnovama sportske medicine*. Fakultet fizičke kulture, Beograd
- Verhošanski, J.V. i saradnici (1992): *Specifična snaga u sportu – teorija i metodika*. Prometej & Fakultet fizičke kulture, Novi Sad
- Vestergren, M. & Marcello, B. (2001): Agility and Coordination. *High-performance Sports Conditioning*, ed. by B. Foran. Human Kinetics, Champaign, IL
- Vilijanen, T., Vitasalo, J.T. & Kujala, U.M. (1991): Strength characteristics of a healthy urban adult population. *European journal of applied physiology*, 63: 43-47
- Walters, C.E. (1955): The effect of overload on bilateral transfer of motor skill. *Physical therapy review*, 35: 567-569
- Wendler, A.J. (1938): A Critical analysis of test elements used in physical education. *Research quarterly*; LX, 64
- Weineck, J., (1994): *Entrenamiento optimo*, Editorial Hispano Europea, Barcelona
- Westing, S.H., Seger, J.Y. & Thorstensson, A. (1990): Effects of electrical stimulation on eccentric and concentric torque-velocity relationship during knee extension in man. *Acta physiologica scandinavica*, 140: 17-22
- Wolitz, R.D. et al. (1984): A Three-dimensional muscle model: A Quantified relation between form and function of skeletal muscle. *Journal of morphology*, 182: 95-113
- Yates, J.W. & Kamon, E. (1983): A Comparison of peak and constant angle torque-velocity curves in fast and slow-twitch populations. *European journal of applied physiology*, 51: 67-74
- Young, I.R. et al. (1989): Growth hormone and testosterone can independently stimulate the growth hypophysectomized prepubertal lambs without any alteration in circulating concentrations of insulin-like growth factors. *Journal of endocrinology* 121: 563-570
- Zaciorski, V.M.(1975): *Fizička svojstva sportiste*. NIP Partizan, Beograd
- Zaciorski, V.M. & Kramer , V.J. (2009). *Nauka i praksa u treningu snage*. Data status, Beograd
- Željaskov, C. (2004): *Kondicioni trening vrhunskih sportista*. Sportska akademija. Beograd

CIP - Каталогизација у публикацији

Народна и универзитетска библиотека
Републике Српске, Бања Лука

796.012.1:612.766(075.8)

ПЕРИЋ, Душан

Antropomotorika : zakonitosti razvoja motoričkih sposobnosti
čoveka / Dušan Perić, Borko Petrović. - Banja Luka : Univerzitet u Banjoj
Luci, Fakultet fizičkog vaspitanja i sporta, 2015. - 276 str. : ilustr. ; 25 cm

Tiraž 300. - Bibliografija: str. 265-276.

ISBN 978-99938-38-39-5
1. Петровић, Борко [аутор]

COBISS.RS-ID 5047320