

Stručni članak***Savremeni trendovi u analizi telesne strukture sportista******Sergej M. Ostojić***

Zavod za medicinu sporta, SPORTSKA AKADEMIJA, Beograd

Sažetak

Određivanje telesne strukture humanih subjekata česta je metoda ne samo u različitim medicinskim disciplinama već i u sportskim naukama, antropologiji i pedagogiji. U ovom radu osvrnućemo se na glavne metode, razvrstati ih po hijerarhiji validnosti i osobito kada se radi o antropometrijskim metodama, pružiti preporuke za praktičan svakodnevni rad. Za antropometrijsko procenjivanje gustine tela i sadržaja masti u strukturi sastava tela sportista preporučuje se upotreba jednačina po Jacksonu i Pollocku (1978) za populaciju muškaraca (od 18 do 29 godina), po Jackson i sar. (1980) za populaciju žena (od 18 do 29 godina), po Forsythu i Sinningu (1973) za populaciju dečaka (14 do 19 godina). Mada ne postoje specifične validne metode za procenu mase mišićnog tkiva kod sportista u savremenoj antropometriji uglavnom se preporučuje procenjivanje mase mišićnog tkiva po Martinu i saradnicima (1990). Procena sadržaja kostiju u strukturi sastava tela dobija se korišćenjem jednačina po Drinkwater i sar. (1986). Specifičnosti antropometrijskog rada na populaciji sportista zahtevaju korišćenje navedenih protokola koji bi zamenili dugogodišnje i prevaziđene modele.

Ključne reči: telesna struktura, antropometrija, sportisti

Current trends in body composition analysis of athletes**Abstract**

Body composition assessment of human subjects is common method not only in different medical disciplines but in sports sciences, anthropology and pedagogy. In this article we will deal with main methods of body composition assessment, sort them by hierarchical validity and propose guidelines for everyday work. For anthropometrical estimation of body density and fatness we propose equation of Jackson and Pollock (1978) for men aged 18 to 29 years, Jackson et al. (1980) for women aged 19 to 29 years and Forsyth and Sinning (1973) for boys aged 14 to 19 years. Although there is no specific and valid anthropometric method to estimate muscle mass percentage in athletes, we propose application of equation by Martin et al. (1990). Anthropometric method for estimation of skeletal mass is developed by Drinkwater et al (1986). Specificity of anthropometric assessment in athletes demands application of mentioned protocols instead of old and expired models.

Key words: body composition, anthropometry, athletes

UVOD

Određivanje telesne strukture humanih subjekata česta je metoda ne samo u različitim medicinskim disciplinama već i u sportskim naukama, antropologiji i pedagogiji. Najviše pažnje usmerava se na određivanje sadržaja masne komponente, pre svega u cilju procenjivanja zdravstvenog rizika ili kvaliteta sportskog nastupa, međutim postoje i opravdani razlozi za utvrđivanje sadržaja i ostalih komponenti u strukturi sastava tela. Kao rezultat ovih potreba u prethodnim godinama porastao je interes za nove tehnike i metode u određivanju telesne kompozicije kako vrhunskih sportista tako i ostale populacije. Nekada metodu zlatnog standarda u određivanju telesne strukture, hidrodensitometriju, zamenile su nove modernije i preciznije metode. Međutim, bez obzira na sve veći broj tehničkih rešenja, validnost izmerenih rezultata i dalje je ključni problem u određivanju strukture sastava tela. Često je prisutna konfuzija koja se odnosi na izbor odgovarajuće metode, njenu tačnost i preciznost, komparacija sa drugom metodom u cilju definisanja validnosti. U ovom radu osvrnućemo se na glavne metode, razvrstati ih po hijerarhiji validnosti i osobito kada se radi o antropometrijskim metodama, pružiti preporuke za praktičan svakodnevni rad.

MORFOLOŠKI NIVOI ORGANIZACIJE

Česta je praksa da se objašnjavanje strukture organizma čoveka posmatra kroz kompleksnost celog organizam od atoma i molekula do anatomskih struktura, opisanih kroz hijerarhijsku strukturu ćelija, tkiva, organa, sistema i čitavog organizma. Telesna struktura se može posmatrati kao problem kvantitativne anatomije koja može biti analizirana na bilo kom hijerarhijskom nivou zavisno od potreba analizatora. Na prvom nivou telesne strukture nalaze se mase oko 50 hemijskih elemenata koje predstavljaju tzv. atomski nivo. Oko 98% ukupne mase odraslog čoveka izgrađeno je od kombinacije kiseonika, ugljenika, vodonika, azota, kalcijuma i fosfora a ostalih 44 hemijska elementa čine manje od 2% ukupne telesne mase. Tehnologija za određivanje atomske strukture svih ključnih gradivnih elemenata *in vivo* sastoji se u izlaganju subjekta jonizujućem zračenju koje je ekstremno invazivno i stoga retko u upotrebi. Primeri su korišćenje radioaktivnog kalijuma 40 (K-40) koje se koristi u određivanju ukupne količine kalijuma u organizmu ili neutronske aktivacije za određivanje nivoa azota ili kalcijuma. Primarna upotreba analize telesne strukture na nivou atoma, sa stanovišta sportskog lekara, odnosi se pre svega na indirektnu procenu drugih nivoa organizacije - sadržaj azota se koristi u proceni ukupne količine proteina u organizmu (Eston i Reilly 2001). Međutim, invazivnost metode ograničava upotrebu samo u akademske svrhe.

Molekularni nivo organizacije podrazumeva raščlanjivanje telesne strukture na više od 100.000 različitih hemijskih jedinjenja koje se uglavnom grupišu na pet glavnih jedinjenja - masti, voda, proteini, ugljeni hidrati i minerali. Oko termina lipidi ima dosta konfuzije a ovde se misli pre svega na hemijska jedinjenja nerastvorljiva u vodi bez obzira na lokalizaciju ili funkciju. Iako u organizmu postoji mnoštvi različitih formi lipida, najčešći su trigliceridi koji predstavljaju znatan kalorijski depo sa relativno konstantnom hemijskom gustinom od 0.900 g/ml (Heyward i Stolarczyk 1996). Ostale forme lipida, ukupno manje od 10%, imaju gustinu koja varira od 1.035 g/ml (fosfolipidi) do 1.067 g/ml (holesterol). Lipidi se često kategorišu kao esencijalni i neesencijalni na osnovu metaboličkih i drugih uloga u organizmu. Esencijalni (ne-

adipozni) lipidi su oni neophodni za optimalnu funkciju drugih strukturnih elemenata (ćelijska membrana, neuron) za razliku od ne-esencijalnih koji se pre svega deponuju kao rezerve energije. Iako se smatralo da vrednosti esencijalnih masti iznose od 3 do 5%, istraživanja na kadaverima pokazala su znatno veću varijabilnost (Martin i Drinkwater 1991). Svako procenjivanje ukupnih telesnih masti (podvodnim merenjem ili metodom kožnih nabora) daje jedinstvenu vrednost koja predstavlja ukupnu količinu lipida (masti) u organizmu bez obzira na funkciju (esencijale/neesencijalne). Ostatak strukture nakon uklanjanja masti naziva se bezmasna telesna masa ("fat free mass-FFM") koju treba razlikovati od mršave mase tela ("lean body mass - LBM") u koju su uključene i esencijalne telesne masti a koje se nažalost često koriste kao sinonimi. Treba posebno naglasiti da nema direktnog *in vivo* metoda za merenje segmenta masti u strukturi sastava tela i ovaj segment strukture se uvek procenjuje indirektnim putem. Ostali molekularni segmenti mogu se procenjivati dilucijom izotopa (ukupna telesna voda), DEXA (minerali) ili neutronsom aktivacionom analizom azota (proteini).

Na trećem, ćelijskom nivou organizacije, organizam je podeljen na ukupnu ćelijsku masu, ekstracelularnu tečnost i ekstracelularni matriks. Ukupnu masu ćelija čine sve ćelije organizma bez obzira na poreklo, funkciju ili strukturu. Za sada, ne postoje direktne metode za određivanje ukupne mase ćelija. Ekstracelularna tečnost podrazumeva intravaskularnu plazmu i intersticijalnu tečnost. Ovaj kompartment se sastoji uglavnom od vode i minerala i služi kao medijum za razmenu metabolita pa se njegova veličina može proceniti metodama dilucije izotopa. Ekstracelularni matriks se sastoji od organskih materija kakve su npr. kolagen i elastin u vezivnim tkivima i neorganskih elemenata kao što su kalcijum i fosfor u kostima. Ceo ekstracelularni matriks se ne može direktno izmeriti ali se metodama neutronske aktivacione analize mogu proceniti neki njegovi delovi.

Četvrti nivo organizacije podrazumeva tkivni nivo tj. tkiva, organe i sisteme koji mada različitog nivoa kompleksnosti poseduju slične funkcionalne karakteristike. Tkiva se dele na vezivna, epitelijalna, mišićna i nervna. Adipozno i koštano tkivo spadaju u vezivna tkiva i zajedno sa mišićnim čine oko 75% ukupne telesne mase. Adipozno tkivo se sastoji od ćelija adipocita zajedno sa kolagenim vlaknima i elastinom. Uglavnom se nalazi u potkožnom sloju ali i u manjim količinama oko organa, unutar mišića i u koštanoj srži. Gustina masnog tkiva varira od 0.92 g/ml do 0.96 g/ml zavisno od glavnih konstituenata masti i vode i gustina opada sa povećanjem sadržaja masnog tkiva (Mohacs i Meszaros 1986). Ne postoji direktan način za *in vivo* merenje količine adipoznog tkiva ali napredne metode vizuelizacije (ultrazvuk, NMR, CT) omogućavaju relativno preciznu procenu zona masnog i drugih tkiva analizom snimaka poprečnog preseka određenih regiona organizma. Slike poprečnih preseka definisanih regiona se geometrijskim modelovanjem obrađuju u cilju dobijanja vrednosti za čitav organizam (Heyward i Stolarczyk 1996). Iako su ove metode relativno skupe i nedostupne široj populaciji, one poseduju potencijal za procenu validnosti jeftinijih i pristupačnijih tehnika. Kost predstavlja vezivno tkivo sa elastičnim proteinskim matriksom koji sekretuju osteociti a u koji se deponuje hidroksiapatit, mineralni kompleks kalcijuma i fosfata koji kosti daje čvrstinu i snagu. Gustina koštanog tkiva varira zavisno od starosti, pola i nivoa prethodne fizičke aktivnosti. Drinkwater i saradnici (1986) su pokazali varijacije gustine kostiju od 1.18 do 1.33 g/ml. Procenjivanje mase kostiju može se odrediti indirektnim putem korišćenjem DEXA ali izmerene vrednosti gustine

odgovaraju segmentalnim preseccima (g/cm^2) i mogu izmeniti stvarne vrednosti koštane gustine. Mišićno tkivo se nalazi u organizmu u tri različita vida kao skeletna, visceralna i kardijalna muskulatura. Gustina mišićnog tkiva je relativno konstantna i iznosi oko $1.065 \text{ g}/\text{ml}$, mada prisustvo adipoznog intersticijalnog tkiva može uticati na izvesnu varijabilnost (Mendez i Keys 1960). Postoji više metoda za procenu mišićne mase mada su se metode vizuelizacije (CT, NMR) pokazale kao najvalidnije. Sa nešto manjom učestalošću (i validnošću) se koriste i antropometrijske metode kao i merenje urinarne ekskrecije kreatinina. Ostala tkiva sa stanovišta analize telesne strukture uglavnom nisu interesantna i uglavnom se nazivaju rezidualnim tkivima i sama se pojedinačno ne analiziraju.

Poslednji peti nivo organizacije predstavlja čitav organizam određene veličine, oblika, površine, gustine i drugih osobina koje se najčešće dostupne merenju i uključuju visinu, telesnu masu, površinu, zapreminu. Pet nivoa hijerarhijske strukture ljudskog organizma su pogodno tlo za različite metode analize telesne kompozicije. Evidentno je postojanje veze između različitih nivoa koja je često razlog za postojanje grešaka u analizi podataka na različitim nivoima. Na primer, telesne masti se analiziraju na molekularnom nivou a količina mišićnog tkiva na tkivnom nivou a oba koriste slične npr. antropometrijske metode. Same vrednosti se ne trebaju aditivno analizirati jer obe sadrže element intersticijalnog adipoznog tkiva. Pošto poslednji nivo nije striktno strukturalni a atomski i celularni od relativno malog značaja za većinu istraživača, organizaciona šema se svodi na dva bitna hijerarhijska nivoa - molekularni i tkivni (Martin i Drinkwater 1991) koji će detaljnije biti analizirani.

VALIDNOST METODA

Validnost metoda podrazumeva stepen u kome metoda precizno i tačno meri vrednost koja je poznata. Analiza telesne strukture je specifična analiza jer samo disekcija kadavera može dati prave vrednosti željenih varijabli. Sa druge strane broj studija koji je komparirao direktne vrednosti nastale obdukcijom ispitanika i parametre nastale indirektnim merenjima je zanemarljivo mali pa nedostaju i podaci o validnosti i najkvalitetnijih metoda. Za sada, putem disekcije i ekstrakcije nisu prikupljeni direktni podaci o ukupnoj gustini tela niti vrednost ukupnih telesnih masti. Shodno tome, poznata je činjenica da je denzitometrija prihvaćana kao fundamentalni indirektni metod za procenjivanje količine lipida u organizmu.

Postoje tri nivoa validnosti različitih metoda analize telesne kompozicije. Na primer, prilikom određivanja ukupne masne komponente u organizmu, na nivou validnosti I stepena, ukupna masna masa bi bila dobijena disekcijom kadavera ili ekstrakcijom svih lipida iz tela. Na nivou validnosti II stepena, neki drugi parametar je direktno meren (gustina ili slabljenje X zraka kod DEXA) a iz merenog parametra dobija se procenjena vrednost ukupne masti organizma. Nivo III stepena validnosti podrazumeva indirektno merenje (debljina kožnih nabora ili bioimpedanca) i korišćenje regresione jednačine izvedene iz metode II stepena validnosti pa se na taj način procenjuje ukupna količina lipida u organizmu. Tako je nivo III stepena validnosti zapravo *dvostruko* indirektnan inkorporirajući u svoju metodu sve pretpostavke metoda II stepena validnosti prema kojem su "kalibrisani" kao i svoje sopstvena ograničenja. Regresioni pristup znači i da metoda kao što je npr. debljina kožnih nabora ima visok

stepen uzorak-specifičnosti, jer kvantitativni odnos između debljine kožnih nabora i telesne gustine zavisi od mnogo varijabli kao što su hidriranost organizma, gustina kostiju, relativna muskularnost, pritisak krajeva kalipera, obrazac nagomilavanja masti, količina intraabdominalne masti itd (Burke 1986; Bangsbo i Mizuno 1988; Ostojic 2002). Ovo su razlozi zbog kojih postoji nekoliko stotina različitih formula za procenu količine masti u telu putem merenja debljine kožnih nabora. Shodno svemu pomenutom, značaj metoda III nivoa validnosti u naučnom smislu je pod znakom pitanja i sve metode pre izbora adekvatne formule i protokola da odgovore na nekoliko pitanja kao što su izbor referentnog metoda koji je korišćen pri razvijanju formule, veličina uzorka za dobijanje formule, vrednost standardne greške za formulu, izbor populacije, izbor merenih varijabli, unakrsna validnost formule na drugom uzorku iste populacije, korelacija između varijabli formule i referentne metode (srednja vrednost) i ukupna greška metode (Wilmore i Behnke 1969; Heyward i Stolarczyk 1996). Iako je validnost metoda iz III grupe validnosti diskutabilna sve ove metode i dalje su široko zastupljene zbog svoje jednostavnosti, cene i dostupnosti. Ukratko će biti pomenute najznačajnije metode svih modela sa posebnim akcentom na antropometrijske metode.

MODELI I METODI STRUKTURISANJA

Denzitometrija - podvodno merenje težine i pletizmografija

Hidrodenzitometrija ili podvodno merenje težine tela predstavlja u hijerarhiji indirektnih metoda za određivanje telesne kompozicije jednu od najpreciznijih procedura. Udeo masti u sastavu tela se meri uranjanjem kompletnog tela u vodu. Bazirana je na Arhimedovim principima istiskivanja tečnosti i razlici u gustini između masti sa jedne i mišićnog i koštanog tkiva sa druge strane. Iako veoma tačna, metoda je komplikovana, dugotrajna, skupa i zahteva specijalnu opremu i treniranog tehničara. Pletizmografija je metoda slična hidrodenzitometriji samo se umesto vodenog medijuma koristi gas i merenja se obavljaju u posebnoj komori čime je komfor za ispitanika značajno unapređen. I ova metoda je vrlo precizna ali se pojavila tek u poslednjih nekoliko godina (BOD POD, Life Measurement Instruments Inc., Concord, California) i relativno je malo zastupljena i analizirana na većoj populaciji.

Dvostuko-energetska apsorpciometrija X zraka (DEXA)

Koštana denzitometrija je evoluirala od pojedinačne preko dvostruko-fotonske do dvostuko-energetske apsorpciometrije X zraka (DEXA) tokom poslednjih trideset godina i ova nekada ekskluzivna metoda postala je pristupačna širom sloju korisnika. Satoji se u propuštanju jonizujućeg zračenja kroz telo ispitanika i beleženu skretanja i slabljenja primljenog signala iznad čitavog tela ili pojedinih segmenata. Postala je referentni metod u istraživačkim studijama analize telesne kompozicije a njene prednosti su pre svega kratko trajanje merenja, sigurnost i bezbednost za subjekta, minimalna kooperaciju ispitanika. U budućnosti se očekuje da će DEXA zameniti denzitometriju kao referentna metoda za validnost procedura III nivoa validnosti.

Analiza bioelektrične impedance (BIA)

Analiza bioelektrične impedance je brza, neinvazivna i relativno jeftina metoda za evaluiranje telesne kompozicije u terenskim i kliničkim uslovima. Pionirski radovi ranih 60-ih godina dvadesetog veka udarili su temelje savremenoj BIA. BIA metod procenju strukturu sastava tela emitovanjem niske, bezbedne doze struje (800 μ amp) kroz ljudski

organizam. Struja prolazi kroz telo - bez otpora kroz mišiće, dok otpor postoji pri prolazu kroz masno tkivo. Ovaj otpor se zove bioelektrična impedanca i meri se monitorima telesne masti. Kada se podesi za izabranog pojedinca (visina i težina), aparat na osnovu instaliranog softvera, izračunava procentualni sadržaj masti u strukturi sastava tela. BIA je u prethodnih desetak godina zadobila poverenje i podršku medicinskih i sportskih eksperata i danas je prisutna dostupna aparatura za merenje procenta masti i u uslovima sopstvenog doma bez potrebe za skupom i složenom opremom. Napredna tehnologija i tradicionalna BIA ujedinjeni su u običnu kućnu vagu. Savremeni monitori telesne masti pružaju tačnost uporedivu sa standardima u merenju procenta masti u telu. Glavne prednosti BIA metode su što ne zahteva skupu opremu niti obučenog tehničara, najkomfortnija je metoda koja ne ugrožava privatnost i intimu osobe koja se meri, i može se koristiti i kod vrlo gojaznih osoba.

Preinfracrvena reaktanca (NIR)

Preinfracrvena reaktanca ("Near Infrared Interactance - NIR") je metoda proizašla iz poljoprivrede gde je korišćena za analiziranje strukture useva a koja se zasniva na principu apsorpcije i refleksije svetlosti. Sonda emituje svetlost blisku infracrvenom zračenju (940 nm) na posebno označenom mestu (prednja strana bicepsa dominantne ruke) a detektor meri intenzitet reemitovane svetlosti izraženu kao optička gustina. Promena frekvencije emitovane svetlosti u skladu sa prethodno definisanim parametrima (telesna masa, visina, pol, nivo fizičke aktivnosti) korišćenjem prediktivne formule dovodi do izračunavanja sadržaja masti u strukturi sastava tela. Slično BIA i ova metoda je relativno brza, bezbedna, jeftina i ne zahteva obučenu osobu pa je njena popularnost kao i popularnost drugih metoda III nivoa validnosti velika. Ipak najnovija saznanja ne smatraju NIR validnom metodom određivanja telesne strukture (Heyward i Stolarczyk 1996; Eston i Reilly 2001).

Kompjuterizovana tomografija (CT) i nuklearna magnetna rezonanca (NMR)

CT i NMR su metode vizuelizacije koje emitovanjem zračenja različite vrste i frekvencije proizvode regionalne ili kompletne radiografske zapise ispitivanog subjekta. Korišćenjem kompjuterskog softvera, CT sken daje piktografsku i kvantitativnu analizu ukupne tkivne površine, površine regiona masti i muskulature i debljinu i volumen snimljenog tkiva po "kriškama". Nova NMR tehnologija daje korisne informacije o mnogim telesnim departmanima. Za razliku od CT koji koristi jonizujuće zračenje, elektromagnetna radijacija NMR uz korišćenje adekvatnog softvera takođe daje precizne slike o segmentarnoj strukturi (masti, mišići, kosti) ispitivanog dela tela. Ipak obe metode imaju brojne druge segmente primene u medicini i u nalaizi telesne kompozicije se srazmerno retko koriste. Daleko najčešće korišćene metode u terenskim i laboratorijskim uslovima u cilju određivanja telesne strukture fizički aktivne populacije predstavljaju pre svega antropometrijske metode (Ramadan i Byrd 1987; Green 1992; Dowson i sar. 1999). Ove metode merenjem dimenzija ljudskog tela (telesna visina, telesna masa, debljina kožnih nabora, obim i dijametar ekstremiteta) i korišćenjem adekvatnih jednačina, na relativno jednostavan način daju indirektnu procenu o sadržaju masti, mišićnog i koštanog tkiva sportista i u narednom poglavlju biće detaljnije objašnjeni.

SAVREMENA ANTROPOMETRIJA U SPORTSKOJ MEDICINI

Kinantropometrija je definisana kao kvantitativna veza između anatomije i fiziologije odnosno između strukture i funkcije. Ona je istovremeno važna veština neophodna svakom ko meri veličinu, oblik, proporciju, strukturu, stepen maturacije dela tela ili čitavog organizma i na taj način kvantitativno definiše parametre vezane za rast i razvoj, fizičku aktivnost i trening, ishranu svojih ispitanika (Rico-Sanz 1998). Antropometrija stavlja pojedinačnog sportistu u objektivni fokus i pruža jasan uvid u njegov strukturalni morfološki status u određenom trenutku i što je za sportskog lekara značajno, pruža kvantitativne podatke o uticajima treninga ili ishrane na organizam sportiste. Mada na prvi pogled jednostavna u realnosti antropometrija je zahtevna i složena disciplina. Antropometrijski protokoli zahtevaju rigorozni trening i striktno pridržavanje uputstava kako bi dobijeni rezultati merenja imali maksimalnu validnost za šta se stara Međunardona asocijacija za razvoj kinantropometrije (ISAK) koja organizuje adekvatne kurseve za obučavanje osoba koje izvode antropometrijska merenja.

Specifičnosti antropometrijskog rada na populaciji sportista zahtevaju stvaranje posebnih preporuka i protokola koji bi zamenili dugogodišnje i prevaziđene modele. Telesna kompozicija sportista predstavlja interes za sporskog lekara, trenera i samog sportistu jer je poznato da je nizak procenat masti u strukturi sastava tela poželjan u mnogim sportovima kako sa aspekta estetizacije i stvaranja tzv "atletske kompozicije" u sportovima kakvi su npr. "body-building" ili atletska gimnastika ali i u sportovima povezanim sa pomeranjem organizma nasuprot gravitaciji (trčanje, skakanje) (Dowson i sar. 1999; Reilly i sar. 2000). Sa druge strane mišićna masa poboljšava sportsko postignuće u aktivnostima koje zahtevaju mišićnu snagu i izdržljivost ali i u onima koje zahtevaju zavidnu aerobnu sposobnost (Ramadan i Byrd 1987; Green 1992; Rico-Sanz 1998). Tipično, sportisti imaju manje masti u strukturi sastava tela u poređenju sa neaktivnim pojedincima, sa najnižim vrednostima u sportovima izdržljivosti (triatlon, maraton, skijaško trčanje, biciklizam) (Heyward i Stolarczyk 1996). Kod muškaraca donja fiziološka granica masti u strukturi sastava tela iznosi oko 5% a kod žena sportista između 12 do 16% masti. Mišićna masa takođe je veća kod sportista i kod muškaraca često prelazi 55 pa i 60% ukupne mase tela (Martin i sar. 1990). Pored toga, gustina bezmasne telesne mase fizički aktivnih pojedinaca je veća nego kod sedentarnih osoba sa većim sadržajem minerala i koštanom gustinom i mišićnom masom sportista (Heyward i Stolarczyk 1996). Upravo zbog toga pri analiziranju telesne kompozicije sportista antropometrijskim metodama potrebno je koristiti validne i specifične protokole za ovu populaciju. Za određivanje gustine tela i sadržaja masti u strukturi sastava tela sportista najveći broj autora preporučuje upotrebu sledećih protokola i jednačina:

Jackson i Pollock (1978) muškarci (18 do 29 godina)
 $BD = 1.12 - 0.00043499 \cdot \Sigma 7 + 0.00000055 \cdot (\Sigma 7)^2 - 0.00028826 \cdot ST$

Jackson i sar. (1980) žene (18 do 29 godina)
 $BD = 1.096095 - 0.0006952 \cdot \Sigma 4 + 0.0000011 \cdot (\Sigma 4)^2 - 0.0000714 \cdot ST$

Forsyth i Sinning (1973) dečaci (14 do 19 godina)
 $BD = 1.10647 - 0.00162 \cdot SSKn - 0.00144 \cdot AKn - 0.00077 \cdot TKn + 0.00071 \cdot MAKn$

Siri (1957)

$$\text{Mast (\%)} = [(4.95/\text{BD}) - 4.5] \cdot 100 \quad \text{muškarci}$$

$$\text{Mast (\%)} = [(5.01/\text{BD}) - 4.57] \cdot 100 \quad \text{žene}$$

Gde je BD = telesna gustina; $\Sigma 7$ = suma sedam kožnih nabora (mm): tricepsni, grudni, srednji aksilarni, trbušni, suprailiačni, subskapularni i natkoljeni kožni nabor; $\Sigma 4$ = suma četiri kožna nabora (mm): tricepsni, suprailiačni, trbušni i natkoljeni kožni nabor; ST = starost (godine); SSKN = subskapularni kožni nabor; Akn = trbušni kožni nabor; TKn = tricepsni kožni nabor; MAKn = midaksilarni kožni nabor.

Sadržaj mišićnog tkiva u strukturi sastava tela relativno je malo ispitan u poređenju sa sadržajem masti. Ranije korišćeni protokoli (Matiegka 1921) su pokazali brojna odstupanja u validnosti pri poređenju sa referentnim metodama pa je njihovo korišćenje uglavnom prestalo. Široka zastupljenost pomenute metode verovatno je bila posledica činjenice da je isti autor objedinio svojim regresionim jednačinama sve aspekte telesne kompozicije merene antropometrijskim procedurama. Međutim ekstremno mali broj ispitanika-kadavera na kojim je studija bila izvedena, izolovana populacija, diskutabilna metodologija disekcije stavili su metodu po Matiegka-i u istorijske okvire. Mada ne postoje specifične validne metode za procenu mase mišićnog tkiva kod sportista u savremenoj antropometriji uglavnom se preporučuje određivanje mase mišićnog tkiva po Martinu i saradnicima (1990) koja je niže navedena ali koja se odnosi samo na populaciju muškaraca.

Martin i sar. (1991) muškarci

$$\text{MM} = [\text{TV} \cdot (0.0553 \cdot \text{CTG}^2 + 0.0987 \cdot \text{FG}^2 + 0.0331 \cdot \text{CCG}^2) - 2445] \cdot 0.001$$

$$\text{Mišići (\%)} = (\text{MM}/\text{TM}) \cdot 100$$

Gde je MM = mišićna masa (kg); TV = telesna visina (cm); CTG = korigovan obim nadkolenice (cm) [obim (cm)-3,14*(DKN natkolenice (mm)/10)]; FG = maksimalan obim podlaktice; CCG = korigovan obim potkolenice [obim (cm)-3,14*(DKN potkolenice (mm)/10)]; TM = telesna masa (kg).

Još je Matiegka (1921) pokazao da skeletna "robusnost" korelira sa dijametrima kostiju posebno kolena, lakta, ručnog i skočnog zgloba a sportisti u većini slučajeva imaju veću koštanu masu u poređenju sa neaktivnim osobama (Eston i Reilly 2001). Mada je značaj procenjivanja koštane mase antropometrijskim metodama u drugom planu u odnosu na procenjivanje sadržaja masti i mišićnog tkiva, količina koštanog tkiva opsobito je značajna u praćenju rasta i razvoja sportista i predselekciji dece za sport (MacDougall i sar. 1991) a greške pri proceni koštane mase u poređenju sa referentnim metodama su najmanje u odnosu na antropometrijska merenja drugih strukturnih segmenata. Iako ne postoje specifični protokoli za sportiste uobičajeno je da se sadržaj kostiju u strukturi sastava tela dobija korišćenjem regresionih jednačina po Drinkwater i sar. (1986).

Drinkwater i sar. (1986) muškarci i žene

$$\text{KM} = [(\text{HB} + \text{WB} + \text{FB} + \text{AB})/4]^2 \cdot \text{TV} \cdot 0.92 \cdot 0.001$$

$$\text{Kosti (\%)} = (\text{KM}/\text{TM}) \cdot 100$$

Gde je KM = koštana masa (kg); HB = humerusni biepickondilarni dijametar (cm); WB = bistiloidni dijametar (cm); FB = femoralani biepickondilarni dijametar (cm); AB = bimaleolarni dijametar (cm); TV = telesna visina (cm); TM = telesna masa (kg).

Značaj korišćenja aktuelnih formula za procenu masti, mišića i kostiju u strukturi sastava tela najbolje se može uočiti na sledećoj Tabeli (tabela 1) na kojoj su prikazane vrednosti pomenutih parametara dobijene korišćenjem različitih protokola (Ostojic 2002; Ostojic i sar. 2004). Mada nije merena statistička signifikantnost, jasno se vidi da su razlike u svim pomenutim parametrima značajne kada se koriste aktuelni protokoli koji se odnose na sportsku populaciju (sadržaj masti) ili populaciju uopšte (mišići, kosti) u poređenju sa nespecifičnim protokolima.

Tabela 1 Komparacija različitih antropometrijskih protokola u procenjivanju telesne strukture (masti, mišići, kosti) sportista.

Sadržaj masti u strukturi sastava tela

	<i>N</i>	Jackson i Pollock	Matiegka	Durnin i Womersley
Fudbaleri	32	7.1 ± 2.3	12.1 ± 3.5	10.7 ± 2.3
Košarkaši	90	9.1 ± 3.5	14.3 ± 3.5	12.1 ± 4.1
Ostali	20	8.5 ± 2.7	12.5 ± 5.1	11.5 ± 3.1

Sadržaj mišića u strukturi sastava tela

	<i>N</i>	Martin i sar.	Matiegka
Fudbaleri	32	53.1 ± 5.5	46.5 ± 5.1
Košarkaši	90	50.7 ± 4.8	45.2 ± 4.8
Ostali	20	52.1 ± 7.8	48.2 ± 6.1

Sadržaj kostiju u strukturi sastava tela

	<i>N</i>	Drinkwater i sar.	Matiegka
Fudbaleri	32	16.3 ± 1.5	18.1 ± 2.1
Košarkaši	90	17.6 ± 2.2	18.8 ± 1.5
Ostali	20	16.9 ± 2.5	17.6 ± 2.3

ZAKLJUČAK

U sintetizovanju i sumiranju znanja za ovaj rad nekoliko ključnih činjenica potrebno je ponoviti. Antropometrija je nauka i veština koja je aktuelna i dinamična a korišćenje multi-komponentnog modela telesne kompozicije (masti, mišići, kosti) obavezan vid analize telesne strukture aktivne populacije. Neophodno je pratiti savremene trendove i aktuelne tokove, shvatiti ograničenja terenskih metoda i validnost izabranih tehnika i koristiti one protokole kod sportista koji su testirani i validni upravo na ovoj aktivnoj populaciji. Stvaranje ujednačenih antropometrijskih protokola prilikom praćenja sportista i aktivne populacije na jednoj zajedničkoj teritoriji, omogućilo bi stvaranje nacionalnih standarda u ovoj oblasti (npr. prema polu, starosti, različitoj vrsti aktivnosti

sportista) što je slučaj sa mnogim sredinama u okruženju ali i na izvestan način bilo uvod u definisanje optimalnog obrazca za morfo-funkcionalna testiranja u sportu, čiji su antropometrijska merenja segment koji je možda i najlakše standardizovati.

LITERATURA

Bangsbo, J., Mizuno, M. (1988) Morphological and metabolic alterations in soccer players with detraining and retraining and their relation to performance. In: Science and Football. Eds: Reilly, T., Less, A., Davies, K., Murphy, W.J. London: E & FN SPON. 114-124.

Burke, L.M., Gollan, R.A., Read, R.S. (1986) Seasonal changes in body composition in Australian Rules footballers. *British Journal of Sports Medicine*, 20, 69-71.

Dowson, M.N., Cronin, J.B., Presland, J.D. (1999) Anthropometric and physiological differences between groups of New Zealand national soccer players based on sex and age. *Journal of Sports Sciences*, 17, 810-811.

Drinkwater, D.T., Martin, A.D., Ross, W.D., Clarys, J.P. (1986) Validation by cadaver dissection of Mateigka's equations for the anthropometric estimation of anatomical body composition in adult humans. In: The 1984 Olympic Scientific Congress Proceedings – Perspectives in Kinanthropometry. Ed: Day, J.A.P. Champaign, IL: Human Kinetics. 221-227.

Durnin, J.V.G.A., Womersley, J. (1974) Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *British Journal of Sports Medicine*, 32, 77.

Eston, R., Reilly, T. (2001) *Kinanthropometry and exercise physiology laboratory manual: Tests, procedures and data*. 2nd ed. Routledge: London.

Forsyth, H.L., Sinning, W.E. (1973) The anthropometric estimation of body density and lean body weight of male athletes. *Medicine and Science in Sports*, 5, 174-80.

Green, S. (1992) Anthropometric and physiological characteristics of south Australian soccer players. *Australian Journal of Science and Medicine in Sport*, 24, 3-7.

Heyward, V., Stolarczyk, H. (1996) *Applied Body Composition Assessment*. Human Kinetics: Champaign.

Jackson, A.S., Pollock, M.L. (1978) Generalized equations for predicting body density of men. *British Journal of Nutrition*, 40, 497-504.

Jackson, A.S., Pollock, M.L., Ward, A. (1980) Generalized equations for predicting body density of women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12, 175-182.

Martin, A.D., Drinkwater, D.T. (1991) Variability in the measures of body fat. *Sports Medicine*, 11, 277-288.

Martin, A.D., Spent, L.F., Drinkwater, D.T., Clarys, J.P. (1990) Anthropometric estimates of muscle mass in man. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22, 729-733.

Matiegka, J. (1921) The testing of physical efficiency. *Americaj Journal of Physical Anthropology*. 4, 223-230.

Mendez, J., Keys, A. (1960) Dersnity and composition of mammalian muscle. *Metabolism*, 9, 184-187.

Mohacsi, I., Meszaros, I. (1986) Body build and relative fat content in qualified soccer players. *Hungarian Review of Sports Medicine*, 27, 287-290.

Ostojic, S.M. (2002). Changes in body fat content of top-level soccer players. *Journal of Sports Science and Medicine*, 1, 54-55.

Ostojic, S.M., Mazic, S., Dikic, N. (2004) Profiling in basketball: physical and physiological characteristics of elite players. *Jopurnal of Strength and Conditioning Research (in publishing)*.

Ramadan, J., Byrd, R. (1987) Physical characteristics of elite soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 27, 424-428.

Reilly, T., Bangsbo, J., Franks, A. (2000) Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *Journal of Sports Sciences*, 18, 669-683.

Rico-Sanz, J. (1998) Body composition and nutritional assessments in soccer. *International Journal of Sport Nutrition*, 8, 113-123.

Siri, W.E. (1956) Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. University of California Radiation Laboratory Report UCRL no. 3349.

Wilmore, J.H., Behnke, A.R. (1969) An anthropometric estimation of body density and lean body weight in young men. *Journal of Applied Physiology*, 27, 25-31.

KONTAKT:

Sergej M. Ostojic
Zavod za medicinu sporta, SPORTSKA AKADEMIJA
Deligradska 27/II, Beograd 11000

Telefon (011) 3611455
Fax (011) 644584
E-mail ostojic@zms.edu.yu