doi:10.5937/pramed1604071K

PREGLEDNI ČLANCI

METODE ZA PROCENU TELESNE KOMPOZICIJE

KORESPONDENT

DEA KARABA JAKOVLJEVIĆ

Zavod za fiziologiju, Medicinski fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija

dea.karaba-jakovljevic@mf.uns.ac.rs

AUTORI

Karaba Jakovljević Dea
Zavod za fiziologiju, Medicinski fakultet Univerziteta u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija

SAŽETAK

Procena telesne kompozicije zauzima važno mesto u proceni zdravstvenih rizika u brojnim medicinskim granama, kao i u oblasti fiziologije sporta kao važna komponenta fiziološkog profila sportiste. Postoje brojni pristupi proceni telesne kompozicije, koji se mogu grubo podeliti na direktne i indirektne. Danas se u kliničkoj praksi koriste indirektni modeli, koji na relativno jednostavan i brz način mogu dati podatke o udelu pojedinih komponenti telesnog sastava. Najjednostavnija, i za širu populaciju najdostupnija metoda je antropometrijska, dok se kao metodom rastuće pouzdanosti označava metoda bioelektrične impedance. Hidrodenzitometrija, iako pouzdana, nije metod izbora u većim studijama zbog nekomformnosti samog postupka i zahtevnijih uslova po pitanju opreme. DXA metoda zbog svoje velike pouzdanosti ima potencijal primene kao zlatnog standarda za procenu komponenata telesnog sastava, a uključuje relativno malu dozu zračenja. CT i NMR su najsofisticiranije metode kojima se egzaktno može proceniti masna masa različitih regiona tela, visceralna masna masa kao i mišićna masa tela. Međutim zbog male dostupnosti i visoke cene nemaju primenu u široj populaciji, ali su veoma važne u raličitim kliničkih studijama. Možda najbolji pristup procene telesne kompozicije je kombinacijom više jednostavnih i dostupnih metoda čime se može povećati pouzdanost dobijenih podataka i adekvatnije proceniti zdravstveni rizici vezani za specifični telesni sastav.

Ključne reči: telesna kompozicija, sportisti, antropometrija, indeks telesne mase.

UVOD

Telesna struktura čoveka kao jedinstvo konstitutivnih elemenata ljudskog tela ima veliki značaj u različitim medicinskim disciplinama, kada se prate faktori rizika za nastanak i razvoj bolesti, ali i za razumevanje procesa rasta i razvoja ljudskog organizma [1]. Posebno mesto zauzima analiza telesne kompozicije u sportskim naukama jer je ona jedan od elemenata koji čine fiziološki profil spotiste, i ima značajnu ulogu u postizanju vrhunskih rezultata. Istorijski gledano, interes za telesnu kompoziciju narastao je sa potrebom da se proceni masna masa tela. U tom kontekstu, najviše pažnje u ovoj oblasti usmereno je na kvantitativnu procenu masne i mišićne mase tela.

Martin i Drinkwater [2] su 1991 godine predložili tri pristupa proceni telesne kompozicije. Metodom prvog nivoa mere se direktno komponente telesne strukture, a baziran je na podacima dobijenim disekcijom kadavera gde se ukupna masna masa tela određuje ekstrakcijom svih lipida iz tela. Prvi podaci o telesnom sastavu dobijenom na ovaj način potiču iz rada nemačkih anatoma koji su objavili prve podatke o direktnoj analizi telesne kompozicije [3]. Do osamdesetih godina prošlog veka izvedeno je samo nekoliko studija sa relativno malim brojem kompletnih disekcija kadavera [4,5].

Sve druge metode procene telesne kompozicije su zapravo indirektne metode, i mogu biti indirektne metode drugog ili trećeg nivoa (dvostruko indirektne). Procene stukture na drugom ili trećem nivou bazirane su na pretpostavkama i izvedenim jednačinama. Drugi nivo podrazumeva merenje nekog drugog parametra direktno nakon čega se vrši procena veličine masne mase na osnovu uspostavljene kvantitativne povezanosti posmatranih parametara. U radu Behnke-a i sar. [6] na roniocima, po prvi put se povezuje telesna gustina i telesna kompozicija, u cilju procene masne mase tela. Polazi se od pretpostavke da se ljudsko telo grubo može podeliti na masnu (FM) i bezmasnu masu (FFM), i da je gustina svakog od ovih odeljaka poznata i ista za sve individue. Bazirana na ovom principu, hidrodenzitometrija ili metoda podvodnog vaganja dugo je smatrana zlatnim standardom za procenu validnosti ostalih metoda. Međutim, danas druge tehnike procene telesne kompozicije, kao što su određivanje ukupnog telesnog kalijuma (TBK), ukupne telesne vode (TBW), DXA i magnetna rezonanca zauzimaju vodeće mesto u proceni telesnog sastava. Takođe postoje i multikomponentni hemijski metodi koji uključuju više od jedne metode procene i korisni su za aplikaciju u primenjenim istraživanjima [7].

METODE ZA PROCENU TELESNE KOMPOZICIJE

ANTROPOMETRIJSKA MERENJA

Antropometrijska merenja predstavljaju skup relativno jednostavnih procedura za procenu pojedinih komponenti telesne strukture, gde se merenjem dimenzija ljudskog tela (telesne visina, telesna masa, debljina kožnih nabora, telesni obimi i dijametri) i korišćenjem adekvatnih jednačina, na relativno jednostavan način dobijaju podaci o telesnoj gustini, veličini masne i bez-

masne mase tela. Utvrđeno je da čitav niz antropometrijskih parametara korelira sa metaboličkim i drugim faktorima rizika za razvoj pre svega masovih nezaraznih bolesti [8]. U okviru fiziologije sporta i sportske medicine morfološka antropometrija omogućava objektivno praćenje opšteg telesnog razvoja, kontrolu stanja uhranjenosti i evaluaciju funckionalnih sposobnosti sportista uključenih u aerobne i anaerobne sportove [9,10] . Ovim relativno jednostavnim metodama moguće je pratiti i adaptacione promene koje nastaju u organizmu, kod osoba uključenih u organizovanu, doziranu fizičku aktivnost tipa treninga [11,12] .Najjednostavnija procedura u okviru antropometrijskih merenja je određivanje telesne mase i telesne visine. Merenje telesne mase koje se vrši medicinskom decimalnom vagom sa pokretnim tegovima nije samo po sebi dovoljno za procenu telesne kompozicije i definiciju stepena uhranjenosti. Pitanje idealne telesne mase je kompleksno i u mnogome zavisi od niza konstitucionalnih obeležja, od kojih su neka konstantna, poput rasne i etničke pripadnosti, dok su druga promenljiva, kao uzrast i nivo fizičke aktivnost. Zato ukupnu masu tela treba posmatrati imajući u vidu i druge parametre. Iz podataka o telesnoj masi i telesnoj visini može se izvesti novi pokazatelj koji govori o stanju uhranjenosti i zdravstevnim rizicima, indeks telesne mase (BMI).

Svetska zdravstvena ogranizacija [13] preporučuje izračunavanje indeksa telesne mase (body mass index, BMI), kao dobar osnov za procenu gojaznosti. Međutim njegova vrednost nije egzaktno merilo masne mase, ali je od izuzetnog je značaja u proceni stepena uhranjenosti u opštoj populaciji. Indeks telesne mase korelira sa veličinom masne mase tela, i sa faktorima rizika komplikacija gojaznosti [14]. Formula za izračunavanje indeksa telesne mase (BMI) predstavlja količnik telesne mase (TM) i kvadrata telesne visine (TV) izražene u metrima:

$$BMI=TM\ (kg)/(TV(m))^2$$

Normalno uhranjene osobe imaju vrednosti između 18.5-24.9kg/m2. Međutim, limitacije primene BMI odnose se na osobe kod kojih se može naći povećan procenat masne mase u okviru normalne telesne mase i fizioloških vrednosti BMI, kod kojih ova gojaznost u normalnoj telesnoj masi može proći nezapaženo, ako nosi izvesne zdravstvene rizike. Isto tako osobe sa razvijenim muskuloskeletnim sistemom (sportisti) imaju često veće vrednosti BMI ali na račun mišićne a ne masne mase, pa posmatrajući samo BMI mogu biti pogrešno kategorisani kao prekomereno uhranjeni ili gojazni. Zbog toga je uvek poželjno uz izračunavanje indeksa telesne mase, izmeriti i masnu masu tela.

Debljina nabora potkožnog masnog tkiva se smatra korisnim parametrom u proceni ukupne veličine masne mase tela kao i regionalne distribucije masnog tkiva, odnosno u definisanju androidnog i ginoidnog tipa gojaznosti. Prema Hayes-u i saradnicima, [15] debljina potkožnog masnog tkiva korelira sa vrednostima dobijenim nuklearnom magnetnom rezonancom (NMR). Analiza ukupne masne mase tela zasniva se na činjenici da je najveći deo masne mase u sastavu potkožnog masnog tkiva, uz biološke varijacije uslovljene polom, starošću i stepenom uhranjenosti. Merenjem debljine kožnih nabora u određenim regionima tela, a na osnovu specifičnih jednačina, izračunava se telesni denzitet a potom i masna masa tela. Postoji velik broj formula i nomograma za procenu masne mase ovom metodom, specifičnih za uzrast, rasnu pripadnost ili novi fizičke aktivnosti. Debljina nabora potkožnog masnog tkiva meri se kaliperima, konstruisanim po principu mikrometra, koji mere rastojanje između dve tačke (Harpenden, Lange, John-Bull, Holtain, Lafayette). Merenje se vrši iznad referentnih tačaka u različitim delovima tela [16].

ANALIZA METODOM BIOELEKTRIČNE IMPEDANCE (BIA)

Analiza telesne kompozicije metodom bioelektrične (BIA) impedance je brz, neinvazivan i relativno jeftin način procene telesne strukture, kako u terenskim tako i kliničkim uslovima. Procena telesne strukture metodom bioelektrične impedance smatra se bezbednom iz više razloga: primenjena struja je veoma slabog intenziteta, ispod praga percepcije, bezbedna je, komforna, brza i neinvazivna. Ovom metodom procenjuje se struktura sastava tela emitovanjem niske doze struje (800 μamp) kroz ljudski organizam. Noviji uređaji bazirani na ovom principu imaju velik značaj u kliničkim istraživanjima jer pružaju tačnost merenja uporedivu sa zlatnim standardima za procenu telesnog sastava. Glavne prednosti BIA metode su što ne zahteva skupu opremu, komforna je za ispitanika, i može se koristiti i kod vrlo gojaznih osoba.

Pored masne mase, na ovaj način se meri i ukupna telesna voda (total body water, TBW) kao i bezmasna masa tela (fat free mass, FFM). Princip se zasniva na određivanju otpora tkiva pri prolasku slabe naizmenične električne struje kroz telo, pri čemu veći otpor protoku pružaju tkiva sa manjim sadržajem vode. Da bi se dobila tačna vrednost bioelektrične impedance potrebno je odrediti otpore različitih delova tela poznavajući njihovu dužine i poprečni presek. Izmerena vrednost bioelektrične impedance najbolje korelira sa vrednošću ukupne telesne vode, te su na toj osnovi kreirane formule za izračunavanje ukupne telesne vode. Bezmasna masa tela (FFM) procenjuje se, potom, na osnovu prethodno izračunate vrednosti ukupne telesne vode, a koristeći konstantnu vrednost procentualnog sadržaja vode u bezmasnoj masi tela. Masna masa dobija se na kraju kao razlika ukupne telesne mase i bezmasne mase tela [12].

Ova metoda ne preporučuje se osobama sa pacemaker-om, zbog mogućnosti izazivanja nepravilnosti u njegovom radu. Dnevna kolebanja sadržaja telesne vode uslovljenih unosom hrane, vode i fizičkom aktivnošću [18] mogu imati uticaja na preciznost i tačnost metode. Pouzdanost dobijenih vrednosti zavisi i od drugih faktora-položaja tela, trajanja merenja, hidriranosti, faze mensturalnog ciklusa kod žena i dr. Metoda ima svoju primenu u različitim populacijama zdravih i bolesnih ljudi, kada se može koristiti i za procenu malnutricije kod kritično obolelih [19,20].

METODA PODVODNOG MERENJA (HIDRODENZITOMETRIJA)

Denzitometrija je pristup proceni telesnog sastava zasnovan na teoretskom principu da se procenat telesnih masti i procenat bezmasne mase tela mogu izračunati iz poznatih specifičnih gustina ova dva kompartmana i izmerene gustine celog tela [3]. Ovo podrazumeva primenu tzv. dvokompartmanskog hemijskog denzitometrijskog modela po kojem je telesni sastav uprošćeno predstavljen masnom komponentom koja ima malu gustinu i bezmasnom komponentom tela koja ima veću gustinu. Behnke i saradnici su još 1942. razvili metodu podvodnog

vaganja koja je u sebi sadržala korekciju za gustinu rezidualnog vazduha u disajnim putevima [6]. On je razvio i kvantitativni dvokompartmanski model za primenu na ljudima gde je telo sastavljeno od masne mase sa jedne strane i bezmasne mase sa druge.

Da bi se odredila ukupna gustina tela pomoću podvodne metode, izvedena je sledeća formula [21,22,23]:

$$Db = \frac{Wa}{\frac{(Wa - Ww)}{Dw} - (RV + 100\ ml)}$$

gde su Db – gustina tela, Wa – težina tela na suvom, Ww – težina pod vodom, Dw – gustina vode, RV – rezidualni volumen a 100ml predstavlja procenjeni volumen vazduha u gastrointestinalnom traktu [23] . Siri je došao do formule pomoću koje je moguće izračunati relativnu vrednost masnog tkiva (%BF) iz ukupne gustine tela (Db) [24]:

$$\%BF = \left(\frac{4{,}95}{Db} - 4{,}5\right) x\ 100$$

Brožek i saradnici su ponudili sličnu formulu koja uzima neznatno drugačije vrednosti gustine FM i FFM i iz koje se dobijaju vrednosti %BF zanemarljivo različite od Sirijeve[22]:

$$\%BF = \left(\frac{4{,}57}{Db} - 4{,}142\right) x\ 100$$

Hidrodenzitometrija se zasniva na Arhimedovom zakonu. Osnovni fizički princip je da na telo koje je uronjeno u neku tečnost deluje sila potiska zbog koje će telo izgubiti onu težinu koja je jednaka težini istisnute tečnosti. Gustina koštanog i mišićnog tkiva (1.200 do 3.000 g/cm3) je veća od gustine vode, dok gustina masnog tkiva ima prilično konstantnu vrednost (0.900 g/cm3) i manja je od gustine vode budući da je masno tkivo sastavljeno dominantno od triglicerida koji imaju konstantnu gustinu [25]. Postoje male količine drugih vrsta lipida, pre svega u nervnom sistemu i membrani svih ćelija čija je gustina veća od one kod triglicerida ali zbog male količine, ova vrsta lipida ima vrlo malo uticaja na prosečnu gustinu telesnih masti. Stoga je gustina telesnih masti relativno konstantna i iznosi 0.900 g/ml. Druga pretpostavka na kojoj je ova metoda zasnovana je da je gustina bezmasne mase tela 1.100 g/ml što je generalno prihvaćeno iz Behnkeovog rada [6]. Na vrednosti masne mase mogu uticati različiti faktori: kod vrhunskih sportista kod kojih je gustina FFM nešto veća od podrazumevane, mogu se dobiti različite vrednosti u odnosu na ostalu populaciju. Rasna pripadnost takođe ima uticaja na izračunavanje %BF kako je utvrđeno u radu Schutte-a i saradnika [26]. Nasuprot tome, starije osobe, pogotovo ženskog pola, imaju manju gustinu FFM pa će njihov izračunati procenat masnog tkiva biti precenjen [27]. Ovo se takođe odnosi na sportistkinje sa malim udelom masne mase i hroničnom amenorejom i posledičnim gubitkom koštane mase.

Podvodna metoda određivanja procenta telesnih masti se smatra referentnom metodom za procenu telesnog sastava jer ima veliku pouzdanost i validnost [28]. Godinama je smatrana zlatnom metodom zbog moguće male greške u proceni Db (0,0015 g/ml ili oko 0,7 %BF). Velika mana ove metode, koja može dovesti do ne tako malih grešaka u procenjivanju %BF, je što je ona zasnovana na pretpostavljenim vrednostima gustine FFM koje pokazuju varijacije u odnosu na etničku pripadnost, pol, starost ili gojaznost. Denzitometrija je takođe neprikladna za primenu kod pacijenata kod kojih može da dođe do promena u mršavoj (lean) masi tela. Česte posledice bolesti, preterano zadržavanje tečnosti i gubitak minerala, mogu da smanje gustinu FFM i time dovedu do povišenih vrednosti %BF [29]. Takođe, neophodna je puna saradnja sa ispitanikom kao i višestruki pokušaji da bi se tačno odredila težina tela pod vodom.

PLETIZMOGRAFIJA ISTISKIVANJEM VAZDUHA (BOD POD)

Iako u principu odličan pristup proceni telesne kompozicije, hidrodenzitometrija je u praksi limitirana metoda jer zahteva posedovanje bazena sa vodom. Alternativno, zapreminu tela je moguće izmeriti koristeći metodu pletizmografije istiskivanjem vazduha (eng. air-displacement plethysmography). Poredeći ovu metodu sa hidrodenzitometrijskom, BOD POD omogućuje mnogo brže određivanje telesne kompozicije koje je pri tom i mnogo manje zahtevno od strane pacijenta, automatizovano je, neinvazivno i praktično može da se primeni na bilo koju populaciju (deca, gojazni, stariji, osobe sa posebnim potrebama). Princip je sličan podvodnoj metodi, zasnovan na merenju telesne mase preciznom vagom i zapremine tela tokom sedenja u komori. Iz proste jednačine gustina tela=masa/zapremina, dobije se podatak o ukupnoj gustini tela i, koristeći podrazumevane vrednosti gustine dva kompartmana, relativni odnos masne mase tela i bezmasne mase. Oprema se sastoji od prednje komore za testiranje koja je dovoljno prostrana da u nju može da sedne odrasla osoba i zadnje (referentne) komore od koje je odvojena posebnom membranom (dijafragmom). Na osnovu obrnuto srazmernog odnosa pritiska i zapremine (Bojl-Mariotov zakon) a uvek konstantne zapremine referentne komore, moguće je izračunati zapreminu vazduha u prednjoj komori. Zapremina tela se dobija oduzimanjem zapremine vazduha prazne komore i kada je u komori ispitanik.

Nekoliko studija je ispitivalo validnost ove metode koristeći do tada suverene metode procene telesne kompozicije i pokazalo oprečne rezultate [30]. Pouzdanost metode je velika [31] i pokazano je da ona detektuje promene u masnoj masi i u bezmasnoj masi [32]. Pletizmografska metoda je podložna istim greškama kao i hidrodenzitometrijska ako se koristi Sirijeva ili neka druga jednačina za preračunavanje procenta telesnih masti iz procenjene gustine tela. Kao alternativa podvodnoj metodi, pletizmografija istiskivanjem vazduha ne zahteva potapanje subjekta pa je samim tim komfornija.

Danas zlatni standard za neinvazivno određivanje telesne kompozicije odojčadi (do šest meseci starosti i telesne mase od 1 – 8 kg) predstavlja PEA POD, sistem takođe zasnovan na pletizmografiji istiskivanjem vazduha proizveden od strane iste firme kao i BOD POD. Velika pouzdanost i tačnost ove metode u određivanju %BF kod odojčadi je značajna u praćenju promena u njihovom telesnom sastavu tokom rasta i razvoja, a koristi se kako u istraživačke, tako i u kliničke svrhe [33].

Zbog nepostojanosti u vezi sa pretpostavljenom gustinom FFM i mogućih velikih grešaka u vezi toga, nije

pouzdano oslanjati se samo na denzitometriju. Budući da trenutno ne postoji adekvatna metoda koja bi mogla da je zameni, mnogi istraživači se slažu da bi DXA uz neka buduća poboljšanja mogla da ispuni tu ulogu u skorijoj budućnosti [34]. Iako postoji mogućnost da se dobiju više vrednosti %BF pomoću pletizmografske metode u odnosu na DXA-u i četvorokompartmanski model, metod na kojem se zasniva BOD POD se smatra validnom metodom kod odraslih zdravih individua [35].

DVOSTUKO-ENERGETSKA APSORPCIOMETRIJA X ZRAKA (DXA)

Poznato je da se DXA klinički primenjuje kao zlatni standard za postavljanje dijagnoze osteopenije i osteoporoze kao i za praćenje efekata terapije ovih oboljenja. DXA aparati takođe omogućavaju procenu telesnog sastava, u čitavom telu ili u pojedinim delovima tela, mereći tri glavne komponente: sadržaj minerala u kostima, bezmasnu masu tela i masnu masu tela [36].

Svaki sistem koristi izvor koji generiše jonizujuće X zrake kroz telo ispitanika, detektor i pristup kompjuterskom sistemu za analizu slika snimljenih područja [37,38]. Beleženje različitog skretanja i slabljenja primljenog signala se koristi za određivanje telesnog sastava. Metoda je bazirana na energiji zavisno od slabljenja apsorpcije u različitim tkivima [36] .

Tokom ispitivanja osoba leži leđima na krevetu i snima se pravolinijski, pri čenu je izvor X zraka je smešten ispod kreveta za skeniranje. Snimanje obično traje od 5 do 20 minuta zavisno od tipa snimanja i odabranog softvera, a doza zračenja pacijenta je veoma mala [38]. Hologic aparati imaju pulsni sistem koji brzo naizmenično menja voltažu X zraka generatora, proizvodeći dva snopa visoke i niske energije. Oslabljeni X zraci koji prolaze kroz telo pacijenta bivaju redom izmereni detektorom koji je smešten na skenirajućem stalku iznad pacijenta [36]. Ova tehnika je prihvaćena kao neinvazivna metoda za procenu telesnog sastava u svim starosnim dobima [37]. Vrlo je laka za izvođenje i pogodna za starije i bolesne osobe, a zbog male doze zračenja primenjuje se i kod dece [39]. Snimanje i merenje kratko traje, metoda je pouzdana i bezbedna, a potrebna je minimalna kooperacija ispitanika. Ispitivanje može biti vršeno na pacijentima koji nisu u mogućnosti da podnesu druge tehnike merenja telesnog sastava kao što je podvodno merenje-hidrodenzitometrija ili MR. Prednost metode je i što DXA ne zavisi od drugih dodatnih merenja (telesna visina, telesna masa i dr.)[39]. Preciznost svih DXA merenja je velika ali varira u odnosu na region koji se ispituje. Bolja je za mlade zdrave osobe ali je manje validna za gojazne osobe i osobe sa osteoporozom [37]. Nedostaci DXA metode obuhvataju i ograničenje telesne mase ispitanika zbog granice izdržljivosti kreveta za snimanje ili nosača za snimanje i polje snimanja čitavog tela ne može se prilagoditi za osobe sa velikom telesnom masom [40]. Merenja uz pomoć DXA aparata mogu biti teška za izvođenje na veoma maloj deci koja ne mogu mirno ležati na stolu i kod osoba koje imaju bolove u leđima pa im ne odgovara položaj ležanja na leđima pri snimanju [39].

ULTRAZVUČNA METODA

Upotreba ultrazvučne metode uglavnom se vezuje za njenu primenu u okviru različitih dijagnostičkih postupaka[41]. Međutim, poslednjih decenija sve je značajnija i primena za određivanje telesnog sastava, odnosno merenje debljine masnog i mišićnog tkiva kod ljudi.

Mnoga od istraživanja koja su sprovedena za analizu telesnog sastava su usredsređena na podelu masnog tkiva na subkutano masno tkivo i intraabdominalno odnosno visceralno masno tkivo.Kardiometabolički rizici povezani više sa visceralnim masnim tkivom pa je odnos između visceralnog i subkutanog masnog tkiva važan pokazatelj ovih rizika [42]. Ultrasonografijom je moguće precizno izmeriti i debljinu mišićnog i koštanog tkiva podjednako efikasno kao i debljinu subkutanog i intraabdominalnog masnog tkiva [43]. Određivanje potkožnog i visceralnog masnog tkiva ultrazvukom se zasniva na emisiji ultrazvučnih talasa koji prodiru kroz kožu i strukture ispod nje. Na graničnim površinama između tkiva različitih karakteristika, kao što su masno i mišićno tkivo dolazi do odbijanja ultrazvučnih talasa. Supkutano masno tkivo se može meriti na trbuhu kao i na mestima gde se meri uz pomoć kalipera [43].

Procedura ultrasonografske dijagnostike je neinvazivna i jednostavna, sprovodi se brzo i bezbedno. Mala veličina aparata i mogućnost lakog prenošenja ultrasonografiji daju prednost u odnosu na druge veće i nepokretne metode kao što su DXA, CT, MRI. Nema jonizujućeg zraćenja kod ultrasonografije koje postoji kod DXA i CT pa se smatra metodom minimalnog zdravstvenog rizika [44]. Ultrazvučna metoda je skuplja od antropometrijske ili jednostavnijih BIA uređaja, međutim nudi nekoliko prednosti u odnosu na ove metode [42]. Nije ograničena debljinom subkutanog masnog tkiva, konzistencijom vezivnog tkiva ili statusom hidracije. Kada se primenjuje pravilno skoro da ne postoji pritisak tkiva koji je sastavni deo metode merenja kaliperom [44]. Uprskos mnogim prednostima ultrasonografije nad drugim metodama, postoje i neki nedostaci. Iako je snimanje jednostavna procedura, interpretacija je mnogo složenija i subjektivna [45]. Neki artefakti su nerazdvojan deo ultrasonografske metode [44], a interpretacija ultrazvučnih nalaza iziskuje stručnost i iskustvo [42,45].

MAGNETNA REZONANCA

Ova metoda omogućava preciznu vizualizaciju preseka bilo kog dela tela. Volumen masnog tkiva izmeren ovim metodama predstavlja vrlo precizan indikator rizika metaboličkih komplikacija gojaznosti, kardiovaskularnih i drugih bolesti [46]. Magnetna rezonanca predstavlja najpreciznijiju, ali i najmanje dostupnu metodu za procenu telesnog sastava, regionalnih skeletnih mišića, subkutanog i visceralnog, belog i mrkog masnog tkiva [47]. Prethodne studije su zasnovane na činjenici da se mrko masno tkivo razlikuje od belog po frakciji zasićenih i nezasićenih masnih kiselina, kao i sadržaju vode [48]. Smatra se da se volumen ukupnog supkutanog masnog tkiva može se proceniti jednim poprečnim presekom na nivou L5-S1 ili 5 cm ispod [47,49]. Razlikujemo nekoliko vrsta magnetne resonance, koje se koriste u zavisnosti od ciljeva istraživanja i dostupnosti same metode. Danas se magnetna rezonanca jačine 1,5 do 3 Tesla koristi u većini kliničkih istraživanja, dok se skeneri jačine 7 Tesla sve više koriste u specijalizovanim centrima, gde se sprovode imidžing i spektorskopske eksperimentalne studije. Selektivna magnetna rezonanca u kombinaciji sa magnetnom rezonancom celog tela može da razdvaja i kvantifikuje volumene grupa adipocita pronađenih u skeletnom

mišićnom kompartmanu, kao i količinu triglicerida u i izvan skeletnih mišićnih vlakana [49]. Kvanititativna magnetna rezonanca je dragocen metod za kvantifikovanje malih promena u masnoj masi [50].

Za razliku od kompjuterizovane tomografije, koja koristi jonizujuće zračenje, što ograničava njenu primenu, magnetna rezonanca uz korišćenje adekvatnog softvera daje precizne slike o segmentarnoj strukturi (masti, mišići, kosti) ispitivanog dela tela. Magnetna rezonanca je metoda velike preciznosti, ali spada u red manje dostupnih i skupih metoda za procenu telesne kompozicije u široj populaciji, zbog manje dostupnost i cene. Njena upotreba je stoga ograničena na specifične kliničke studije kojima se procenjuje telesna struktura određene populacije [47].

LITERATURA

1. Bjorntorp P. Portal adipose tissue as a generator of risk factors for cardiovascular disease and diabetes. Atherosclerosis 1990; 10:493-496.
2. Martin, AD, Drinkwater DT. Variability in the measures of body fat. Sports Medicine 1991; 11: 277-88.
3. Keys A, Brozek J. Body fat in adult man. Physiol Rev.1953 Jul;33(3):245-325.
4. Forbes RM, Cooper AR, Michell HH. The composition of the adult human body as determined by chemical analysis. J Biol Chem 1956: 203:359-66.
5. Clarys JP, Martin AD, Drinkwater DT. Gross issue weights in the human body by cadaver dissection. Hum Biol 1984; 56:459-73.
6. Behnke AR, Feen B, Welham WC. Specific gravity of healthy man. J Am Med Assoc 1942; 118: 495-8.
7. Heymsfield SB, Ebbeling CB, Zheng J, Pietrobelli A. Multicomponent molecular-level body composition reference methods: evolving concepts and future directions. Obes Rev 2015 Apr: 16(4):282-294.
8. Srdic B, Stokic E, Tomic-Naglic D, Karaba Jakovljevic D. Antropometrijske odlike metabolički zdravih žena sa prekomernom telesnom masom i gojaznošću. Journal of the Anthropological Society of Serbia 2011; 46: 41-47.
9. Karaba Jakovljevic D, Lukac D, Grujic N, Drapsin M, Klasnja A. Parametri anaerobnog fiziološkog profila vrhunskih sportista. Srp Arh Celok Lek. 2015 Jul-Aug;143(7-8):423-428.
10. Barak O, Popadić Gaćeša J, Drapšin M, Karaba Jakovljević D, Klašnja A. Promene antropometrijskih parametara natkolenice u toku programiranog treninga snage. Praxis medica, 2007; 35(1-2), 45-49.
11. Popadić Gaćeša J, Barak O, Drapšin M, Klašnja A, Srdić B, Karaba Jakovljević D. Komparativna analiza antropometrijskih i spirometrijskih parametara kod sportista. Praxis medica 2008; 35(3-4), 57-61.
12. Popadic Gacesa J, Barak O, Karaba Jakovljevic J, Klasnja A. Body mass index and body fat content in elite athletes. EQOL 2011;3(2):43-48
13. World Health Organization (WHO). Obesity-preventing and managing the global epidemic. Report of WHO consultation on obesity. Geneve: 1997; 7-17.
14. Heyward HV, Stolarczyk ML. Applied Body Composition Assessment. Human Kinetics 1996: 4-19.
15. Hayes PA, Sowood PJ, Belyavin A. Subcutaneous fat thickness measured by magnetic resonance imaging, ultrasound and calipers. Med Sci Sport Exerc 1988; 20(3):303-9.
16. Harrison GG, Buskirk ER, Lindsay Carter JE et al. Skinfold thickness and measurement tehnique (1988). In: TG Lohman, AF Roche (Eds). Anthropometric standardization reference manual (pp55-70). Champaign, IL:Human Kinetics.
17. Khaled MA, McCutcheon MJ, Reddy S, Pearman PL, Hunter GR. Electrical impedance in assesing human body composition: The BIA method. Am J Clin Nutr. 1988;47:789-92
18. Deurenberg, P Weststrate JA, Hautvast JG, Van der Kooy I. Is the bioelectrical impedance method valid? American Journal of Clinical Nutrition, 1991;59:179.
19. Lee Y, Kwon O, Shin C, Mi Lee S. Use of Bioelectrical Impedance Analysis for the Assessment of Nutritional Status in Critically Ill Patients. Clin Nutr Res. 2015 Jan; 4(1): 32–40.
20. Kutac P, Kopecky M. Comparison of body fat using various bioelectrical impedance analyzers in university students. Acta Gymnica 2015, 45(4):177-186.
21. Behnke AR, Wilmore JH. Evaluation and regulation of body build and composition. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall; 1974.
22. Brozek J, Grande F, Anderson T, Keys A. Densitometric analysis of body composition: revision of some quantative assumptions. Ann NY Acad Sci. 1963;110:113-40.
23. Buskirk ER. Underwater weighing and body density: a review of procedures. In: Brozek J, Henschel A, eds. Techniques for measuring body composition. Washington, DC: National Academy of Sciences; 1961. p. 90-105.
24. Siri WE. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. In: Brozek J, Henschel A, eds. Techniques for measuring body composition. Washington, DC: National Academy of Sciences, National Research Council, 1961:223-44.
25. Pollock ML, Wilmore JH. Exercise in health and disease: Evaluation and prescription for prevention and rehabilitation. 2nd ed. Philadelphia: Saunders; 1990.
26. Schutte JE, Townsend EJ, Hugg J, Shoup RF, Malina RM, Blomqvist CG. Density of lean body mass is greater in blacks than in whites. J Appl Physiol. 1984;56:1647-9.

27. Eston R, Hawes M, Martin A, Reilly T. Human body composition. In: Eston R, Reilly T, eds. Kinanthropometry and exercise physiology laboratory manual. London and New York: Routledge; 2009. p. 3-47.
28. Probst M, Goris M, Vandereycken W, Van Coppenolle H. Body composition of anorexia nervosa patients assessed by underwater weighing and skinfold-thickness measurements before and after weight gain. Am J Clin Nutr. 2001;73:190-7.
29. Wells JCK, Fewtrell MS. Measuring body composition. Arch Dis Child. 2006;91:612-7.
30. Demerath EW, Guo SS, Chumlea WC, Towne B, Roche AF, Siervogel RM. Comparison of percent body fat estimates using air displacement plethysmography and hydrodensitometry in adults and children. Int J Obesity. 2002;26:389-97.
31. Noreen EE, Lemon PW. Reliability of air displacement plethysmoraphy in a large heterogeneous sample. Med Sci Sport Exer. 2006;38:1505–9.
32. Secchiutti A, Fagour C, Perlemoine C, Gin H, Durrieu J, Rigalleau V. Air displacement plethysmography can detect moderate changes in body composition. Eur J Clin Nutr. 2007;61:25–9.
33. Ellis KJ, Yao M, Shypailo RJ, Urlando A, Wong WW, Heird WC. Body-composition assessment in infancy: air-displacement plethysmography compared with a reference 4-compartment model. Am J Clin Nutr. 2007;85:90–95.
34. Kohrt WM. Preliminary evidence that DXA provides an accurate assessment of body composition. J Appl Phys. 1998;84:372–7.
35. Bosy-Westphal A, Mast M, Eichhorn C, Becker C, Kutzner D, Heller M, Müller MJ. Validation of air-displacement plethysmography for estimation of body fat mass in healthy elderly subjects. Eur J Nutr. 2003;42(4):207-16.
36. Mazess RB, Burden HS, Bisek JP, Hanson J. Dual-energy x-ray absorptiometry for total-body end regional bone-mineral and soft tissue composition. Am J Clin Nutr 1990;51(6):1106-12.
37. Laskey MA. Dual-energy X-ray absorptiometry and body composition. Nutrition. 1996;12(1):45-51.
38. Tothill P, Avenell A, Love J, Reid DM. Comparisons between Hologic, Lunar and Norland dual-energy X-ray absorptiometers and other techniques used for whole-body soft tissue measurements. Eur J Clin Nutr 1994;48(11):781-94.
39. Larsson B, Svardsudd K. Welin L, et al. Abdominal adipose tissuedistribution, obesity, and risk of cardiovascular disease and death: A13 year follow-up of participants in the study of men born in 1913.Br Med J 1984;288(6428):1401-4.
40. Williams JE, Wells JC, Wilson CM, et al. Evaluation of Lunar Prodigy dualenergy X-ray absorptiometry for assessing body composition in healthy persons and patients by comparison with the criterion 4-component model. Am J Clin Nutr. 2006;83(5):1047–54.
41. Booth RD, Goddard BA, Paton A. Measurement of fat thickness in man: a comparison of ultrasound, Harpenden calipers and electrical conductivity. Brit J Nutr. 1966;20(04):719-25.
42. Taksali SE, Caprio S, Dziura J, Dufour S, Calí AM, Goodman TR, el al. High visceral and low abdominal subcutaneous fat stores in the obese adolescent A determinant of an adverse metabolic phenotype. Diabetes. 2008;57(2):367-71.
43. Mayans D, Cartwright MS, Walker FO. Neuromuscular ultrasonography: quantifying muscle and nerve measurements. Phys Med Rehabil Cli. 2012;23(1):133-48.
44. Toomey C, McCreesh K, Leahy S, Jakeman P. Technical considerations for accurate measurement of subcutaneous adipose tissue thickness using B-mode ultrasound. Ultrasound. 2011;19(2):91-6.
45. Armellini F, Zamboni M, Rigo L, Todesco T, Bosello O, Bergamo-Andreis IA, el al. The contribution of sonography to the measurement of intra-abdominal fat. J Clin Ultrasound. 1990;18(7):563-7.
46. Schweitzer L, Geisler C, Pourhassan M, Braun W, Glüer CC, Bosy-Westphal A, Müller MJ. What is the best reference site for a single MRI slice to assess whole-body skeletal muscle and adipose tissue volumes in healthy adults? Am J Clin Nutr. 2015 Jul;102(1):58-65.
47. Demerath EW, Shen W, Lee M, Choh AC, Czerwinski SA, Siervogel RM, et al. Approximation of total visceral adipose tissue with a single magnetic resonance image. Am J Clin Nutr 2007;85(2):362–8.
48. Heymsfield SB, Hu HH, Shen W, Carmichael O. Emerging Technologies and their Applications in Lipid Compartment Measurement. Trends Endocrinol Metab. 2015 Dec;26(12):688-98.
49. Schaudinn A. et al. Predictive accuracy of single- and multi-slice MRI for the estimation of total visceral adipose tissue in overweight to severely obese patients. NMR Biomed. 2015; 28: 583–590.
50. Machann J. et al. Fraction of unsaturated fatty acids in visceral adipose tissue (VAT) is lower in subjects with high total VAT volume – a combined 1H MRS and volumetric MRI study in male subjects. NMR Biomed. 2013; 26: 232–236.

ENGLISH

ASSESSMENT METHODS OF BODY COMPOSITION

Karaba Jakovljević Dea
Department of physiology, Faculty of Medicine, University of Novi Sad, Serbia

SUMMARY
Body composition assessment has an important role in many fields of medicine, in evaluation of health status of the individual, as well as in sports sciencies as a part of physiological profile of ahletes. There are several methods for body composition assessment, which provide indirect data on the body structure. For instance in anthropometry, simple techniques such as skinfold measurements provide simply, quick and nonexpensive assesment of body fat mass. Bioelectric impedance analysis (BIA) is described as a method with rising validity, especially for measurement in regional body composition. The value of BIA in routine clinical terms is still limited, while DXA has potential of becoming new golden standard for body composition assessment. More sophisiticated methods such is MRI have advantage over other techniques for estimation of regional body composition, since it provides the only accurate and viable approach for the estimation of intra-abdominal adipose tissue. This method is limited to experimental studies on smaller group of individuals, since it is expensive and not available to routine assesment. Combination of more methods may be the best approach for obtaining accurate results and informations about health status of individual.
Key words: body composition, athletes, anthropometry, body mass index.