

UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA

Aleksandar J. Blagojević

**Metode za analizu strukture tela sa detaljnijim prikazom
analize bioelektrične impedance**
- Diplomski rad –

BEOGRAD, 2007. godine

UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA

Aleksandar J. Blagojević

**Metode za analizu strukture tela sa detaljnim prikazom
analize bioelektrične impedance**
- Diplomski rad –

BEOGRAD, 2007. godine

Mentor:

doc. Dr Marija Macura, Fakultet Sporta i Fizičkog Vaspitanja

Članovi komisije:

doc. Dr Marina Đorđević-Nikić, Fakultet Sporta i Fizičkog Vaspitanja

ass. Mr Milinko Dabović, Fakultet Sporta i Fizičkog Vaspitanja

datum odbrane: _____

PREDGOVOR

Informacije za ovaj rad su prikupljene na istraživanju sa predmeta biomehanika (u okviru projekta: Istraživanje veslačke tehnike kroz praćenje biomehaničkih varijabli zaveslaja). Pored podataka koji se odnose isključivo za kinematiku veslanja, izmerene su strukture tela svih veslača sa dve metode (bioelektrična impedanca i metoda po Matejki). Na istraživanju je veslačima detaljno analizirana struktura tela pre trke. Za vreme veslanja prikupljani su podaci u vezi sa kinematikom veslačke tehnike u realnom vremenu u visokoj rezoluciji. Nakon maksimalnih 2000m veslanja analizirana je struktura tela. Ovaj diplomski rad koristi podatke pre trke na testu i direktno upoređuje dve metode na uzorku od deset (10) veslača. Razmere ovog projekta omogućile su analizu i istraživanje u dosta graničnih oblasti, i ovaj rad je detalj koji počiva na entuzijazmu.

Sadržaj:

1. UVOD.....	10
2. STRUKTURA TELA	11
2.1 IDEALNA STRUKTURA TELA	11
2.2 MERENJE STRUKTURE TELA	12
2.3 OSNOVNE PRETPOSTAVKE SVIH METODA ZA ANALIZU STRUKTURE TELA.....	12
2.4 MONO I POLIKOMPONENTNI MODELI STRUKTURE TELA.....	13
3. HIDROSTATSKO MERENJE TEŽINE (HYDROSTATIC WEIGHING/UNDERWATER WEIGHING).....	16
4. DEXA MERENJE ABSORPCIJE X-ZRAKA DVOSTRUKIH ENERGIJA (DUAL-ENERGY X-RAY ABSORPTIONMETRY).....	18
5. BIOHEMIJSKE TEHNIKE (ANALIZA ⁴⁰K KOLIČINE KALIJUMA - POTTASIMUM ⁴⁰K ANALYSIS, UKUPNA KOLIČINA VODE U ORGANIZMU - TOTAL BODY WATER, APSORPCIJA INERTNOG GASA - INERT GAS ABSORPTION).....	19
6. ANTROPOMETRIJSKE TEHNIKE I VARIJANTE PRISTUPA U MERENJU POTKOŽNOG MASN OG TKIVA	20
6.1 BODY MASS INDEX (BMI).....	20
6.2 OBIM STRUKA I ODNOS CIRKULARNIH MERA STRUKA I KUKOVA	21
6.3 ANTROPOMETRIJSKI METOD BEHNKE	22
6.4. MERENJE POTKOŽNOG MASN OG TKIVA (PRAKTIČAN PRISTUP MERENJU POTKOŽNOG MASN OG TKIVA, GENERALIZOVANI PRISTUP MERENJU POTKOŽNOG MASN OG TKIVA).....	22
6.5 PROGRAM PO MATEJKI	23
6.6 PROGRAM EUROFIT.....	24
7. IVNAA - AKTIVACIJA NEUTRONA IN-VIVO (IN-VIVO NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS).....	26
8. NMR - NUKLEARNA MAGNETNA REZONANCA (NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE TECHNIQUE).....	27
9. MRT - TOMOGRAFIJA MAGNETNOM REZONANCOM (MAGNET RESONANCE TOMOGRAPHY).....	28
10. MERENJE ABSORPCIJE PHOTONA (PHOTON ABSORPTION MEASUREMENT).....	28
11. TOBEC - MERENJE KOMPLETNE ELEKTRIČNE PROVODLJIVOSTI TELA (MEASUREMENT OF TOTAL BODY ELECTRICAL CONDUCTIVITY)	28
12. ULTRAZVUČNE TEHNIKE (ULTRASOUND)	29
13. NIR – DIJAGNOSTIKA INTERAKCIJOM INFRACRVENIM ZRACIMA (NEAR-INFRARED INTERACTANCE)	29
14. CT - KOMPJUTERIZOVANA TOMOGRAFIJA (COMPUTERIZED THOMOGRAPHY).....	29
15. BIA - BIOELEKTRIČNA IMPEDANCA (BIOELECTRIC IMPEDANCE)	30
15.1 FIZIČKI PRINCIPI BIOELEKTRIČNE IMPEDANCE.....	30
15.2 MERNI PARAMETRI ANALIZE BIOELEKTRIČNE IMPEDANCE	31
15.3 REZULTANTNI PARAMETRI ANALIZE BIOELEKTRIČNE IMPEDANCE	34
15.4 VARIJABLE IZRAČUNATE IZ ANALIZE BIOELEKTRIČNE IMPEDANCE	35

16. UPOREDNA ANALIZA PROGRAMA BIOELEKTRIČNE IMPEDANCE I PROGRAMA PO MATEJKI.....	42
16.1 PREDSTAVLJANJE ISTRAŽIVANJA I HIPOTEZA	42
16.2 METODE I NAČIN PRIKUPLJANJA PODATAKA	43
17. DISKUSIJA ISTRAŽIVANJA I ZAKLJUČAK	45
18. PITANJA I ODGOVORI.....	48
LITERATURA:	50
PRILOG: LISTA SKRAĆENICA	52

**Metode za analizu strukture tela sa detaljnim prikazom
analize bioelektrične impedance**

APSTRAKT: Prvi deo rada (prvih 14 poglavlja) je koncipiran kao pregledno predstavljanje poznatih metoda za analizu strukture tela. Poslednji deo detaljno prikazuje principe funkcionisanja bioelektrične impedance i banalno je upoređuje sa metodom po Matejki. Uzorak je obuhvatio deset veslača (10) prosečne starosti 18,9 godina, koji su veslanje prosečno trenirali 5,3 godina. Njihova prosečna visina je 187,42cm a težina 83,03kg. Ovim analizama direktno su upoređene apsolutne vrednosti u razlikama istih varijabli dobijenih sa dve različite metode za analizu strukture tela (bioelektrična impedanca i metoda po matejki). Pretpostavka da je matejka manje osetljiva na masti ispod nivoa kožnih nabora se pokazala ispravnom, jer je dala veće količine BCM odnosno M, i veće količine LBM odnosno FFMm, združeno. LBM je u sedam od deset slučajeva izmerena metodom matejke kao manja vrednost, čime je po drugom osnovu potvrđena neosetljivost matejke na masti unutar tela ispod kožnih nabora.

KLJUČNE REČI: bioelektrična impedanca, matejka, struktura tela

1. Uvod

U ljudskom telu najstarije ćelije imaju sedam godina. Ovu informaciju sam dobio iz naučno-popularnog izvora i nisam je proveravao niti je referencirao jer mi se suviše svidela da bi je eventualno opovrgao. Osećaj demistifikacije strukture ljudskog tela koji sam imao u procesu izrade ovoga rada na trenutke poredim sa dečaćkim maštanjima o putovanjima u najzanimljivije delove tela, a da sam pri tome nekim specijalnim zracima umanjen na mikro nivo.

Sve ćelije imaju svoj životni vek i on zavisi od tipa tkiva za koji je specijalizovana ta ćelija. Ćelije ljudskog tela se isto vreme se dezintegrišu i ponovo integrišu, i time se može slikovito ukazati na promet materije kroz telo kao neprekidan dinamičan proces. Ono što je najstarije u telu su hemijsko-logičke veze nervnih ćelija u našem mozgu. Ove hemijsko-logičke veze zapravo predstavljaju naše pamćenje, znanje, reflekse, jednostavno - iskustvo, da bi na kraju života u trenutku umiranja to sve nestalo kao transformacija zvezde u supernovu na mikro nivou.

Ljudski organizam je vrlo dinamičan sistem, čak i ako nije u dovoljnim dnevnim količinama kretanja, telo vrlo kompleksno radi na odgovornom poslu kao što je raspodela i vladanje resursima gradivnih, energetskih i prometnih supstanci. Ovakva postavka u vezi sa prometom energije i materije kroz ljudsko telo navodi u razmišljanju na analizu strukture tela i iznosi je na posebno mesto.

Opremio sam se za ovu oblast jer u trogodišnjoj praksi ličnog trenera, koja podrazumeva detaljno planiranje aktivnosti, treninga i ishrane naišao sam isključivo na anglosaksonsku literaturu koja kvalitetno sagledava analizu strukture ljudskog tela. Od trenutno dostupnih informacija o poznatim metodama za analizu strukture tela izradio sam ovu predstavku najviše za svoje praktične potrebe.

2. Struktura tela

Struktura ljudskog tela može biti organizovana u pet nivoa: atomski, molekularni, ćelijski, funkcionalni i celo telo. Konceptom raspodele i količine različitih tipova tkiva ćemo se najdetaljnije baviti u ovom pregledu različitih metoda analize strukture ljudskog tela a sve za potrebe fizičkog vaspitanja, fizičke pripreme, sportskog treninga, kvalitetne ishrane i nege.

Za početak razmatranja telo posmatramo kao dvokomponentan sistem: bezmasna komponenta (u daljem tekstu **FFM** - fat free mass) i telesna masnoća (u daljem tekstu **FM** - fat mass). FFM kao bezmasna komponenta sa esencijalnim mastima koje su raspoređene svuda po organizmu se sastoji od skeleta, vode, mišića, vezivnog tkiva, organskog tkiva i zuba. Telesna masnoća sadrži neophodne i nepotrebne masne depoe. Neophodne masti podrazumevaju masti integrisane u organe i tkiva kao što su nervi, mozak, srce, pluća, jetra i grudne žlezde. Nepotrebne masti egzistiraju isključivo u masnim depovima koji se obrazuju u masnom tkivu.

2.1 Idealna struktura tela

Ono što se izdvojilo kao najvažnije u razmatranjima o idealnoj strukturi tela odnosi se direktno na *zdravlje, estetiku i izvođenje/kondiciju*. Prosečna osoba teži najvećim delom ka zdravlju i estetici dok su sportisti fokusirani ka balansu i pomirenju svih elemenata.

Zdravi okviri u kojima je potrebno da se nalazi količina masnog tkiva nisu precizno ustanovljeni i definisani. Generalno je usvojeno da je za žene između 16% i 25% sasvim prihvatljiv procenat masti, dok se smatra da je kod muškaraca normalan procenat masti manji od 20%. Okvire i nivoe prisustva masti treba posmatrati kao dinamički proces koji zavisi od grupacije ljudi (profesionalna opredeljenost), a naravno da je neophodno da se oslanja na fiziološki prihvatljive granice.

Clarys J.P. i saradnici u nekoliko disekcija pri ekstrakciji masti su utvrdili da esencijalne masti variraju od 4 do 14% od FFM, i time su umanjili značaj koncepta FFM. [1]

Sa stanovišta estetike je još teže ustanoviti standarde jer je u društvu atletski, mršavi izgled visoko uzdignut, dok je puniji i masivniji tip postavljen na nezavidno mesto. Nažalost težnja ka mršavom izgledu često dovodi do neželjenih navika u hranjenju. Ovo je posebno zabrinjavajuće za sportiste, koji uobičajeno imaju ogromne energetske zahteve koji su uslovljeni obimnim treningom. Mladi sportisti, posebno sportistkinje koje su posebno naklonjene preteranoj kaloriskoj restrikciji su u velikoj opasnosti koju nosi takav način ishrane.

Sport, takmičenje, rezultati, ekonomičnost, kontinuitet su samo neki od faktora koji utiču na strukturu tela sportiste. Ovde je izvođenje (performance) od presudnog značaja, zajedno sa sinhronizovanjem ispoljavanja tih sposobnosti sa vremenom. U sportovima koji u velikoj meri zavise od same težine sportista kao što su rvanje, boks, dizanje tegova, mogući su ozbiljni poremećaji ako se pređe preko optimalnih granica pri gubitku težine. Moguće je čak i narušavanje zdravlja kod ovih ekstremno utreniranih ljudi za koje mnogi jamče da im je nemoguće nauditi. Uspešni sportisti u različitim sportovima predstavljaju isto tako različite ali karakteristične strukture tela.

Promenljivost u prisutnosti masti u organizmu zavisi od metaboličkih zahteva aktivnosti i od relativnih nedostataka nošenja dodatnog opterećenja. Na primer, uspešni atletičari trenirani po tipu izdržljivosti (male distance runners) imaju po pravilu manje od 9% masti. Za ove atletičare previše masti

znači siguran nedostatak. Ekstreman energetska rashod ovih atletičara sa druge strane im ne dozvoljava da dobiju masne depoe u bilo kakvom obliku osim privremenih rezervi koje se brzo mobilisu.

Linijski odbrambeni igrač u američkom fudbalu, ipak skoro uvek ima preko 15% masti u organizmu. Ovo može da bude vrlo korisno za njega zbog dodate mase i punjenja dobijenog od potkožnog masnog tkiva i zbog povećanja bezmasne komponente koja združeno povećava masu tela (mišićna masa združeno sa masnom komponentom povećava masu tela). Nažalost, mnogi mladi igrači dobijaju suviše masnih naslaga u pokušaju da izgrade visoke nivoe količina mase koje inače poseduju profesionalni igrači američkog fudbala.

2.2 Merenje strukture tela

Merenje strukture tela kao i poznavanje promene odnosa telesne težine i telesne visine kroz vreme je neophodno u ozbiljnom procesu vežbanja i nege.

- informacije dobijene ovim pristupom daju nam polaznu osnovu pri budućem planiranju rada na eventualnom dobijanju ili gubljenju telesne mase
- pomoći će postavljanju realnih i objektivnih okvira u kojima treba postaviti «idealni balans» između masnih i nemasnih komponenti
- dobijena jasna slika o strukturi tela veoma je usko vezana sa sveukupnim zdravstvenim statusom i igra važnu ulogu u zdravstvano-higijenskim kao i fitnes planiranjima
- raspolaganje ovim informacijama pomaže u praćenju promena u raspodeli masnih i nemasnih komponentata ljudskog tela i presudno je u planiranju najboljeg plana vežbanja koji se odnosi na optimizaciju i očuvanje poželjnih odnosa različitih tipova tkiva

Jutarnji ritual merenja telesne težine je zapravo pokušaj merenja kompozicije ljudskog tela. Na ovaj način nemoguće je ustanoviti fluktuacije težine tela uslovljene promenama u količini tečnosti, masnih depoa ili čak mišićnih ćelija. Takođe, ne može da razlikuje prekomernu težinu od gojaznosti. Mišićavi fudbaler od 130kg može biti okarakterisan kao osoba sa prekomernom težinom u skladu sa standardima odnosa visine i težine prosečnog čoveka iako zapravo ima dosta manji procenat masnih naslaga od tih prosečnih ljudi. Četrdesetogodišnja žena može imati istu kilažu kao i u srednjoj školi iako ima značajne promene u strukturi tela.

Nekoliko veoma preciznih metoda je razvijeno za potrebe analize strukture tela. Laboratorijske metode podrazumevaju: dual-energy X-ray absorptionmetry (DXA), densitometry (underwater weighing), magnetic resonance imaging (MRI), radiography, neutron activation analysis i potassium-40 (^{40}K) analysis. Terenske metode podrazumevaju ultrazvuk, antropometriju, merenje debljine kožnih nabora i bioelektričnu impedancu. Terenski testovi su uglavnom normalizovani i potvrđeni standardnim laboratorijskim metodama.

2.3 Osnovne pretpostavke svih metoda za analizu strukture tela

Disekcija ljudskog tela je najprecizniji način utvrđivanja strukture tela. Očigledno ovaj pristup nije veoma praktičan, tako da su razvijene indirektno metode. Indirektno metode kao što su Densitometry, ^{40}K , i Total body water zasnovane su na određenim pretpostavkama baziranim na ljudskim leševima. Densitometry, na primer uzima za gustinu bezmasne komponente nivo od 1,100gr/ml i gustinu masne

komponente 0,901gr/ml. Total body water metod podrazumeva prisustvo vode u bezmasnoj komponenti od 73,2%. ⁴⁰K metod podrazumeva da je sadržaj kalijuma u bezmasnoj komponenti 68,1mmol/kg.

Osnovne pretpostavke koje se koriste u analizi strukture tela ustanovljene su četrdesetih godina prošlog veka i bazirane su na disekciji osam ljudskih leševa. Ni jedan od leševa nije analiziran nekom indirektnom metodom kao što je underwater weighing, tako da ni jedna od naših današnjih metoda nije potvrđena direktno. Takođe, pretpostavljena vrednost gustine od 1,100gr/ml, je prenesena na ljude iz istraživanja na svinjama kojima su odstranjeni organi [5].

Clarys i saradnici (1984) [1] prijavili su informacije sa disekcija obavljenih na ljudskim leševima. Pronašli su da na kosti dolazi aproksimativno 16-26% bezmasne komponente, dok na mišiće otpada 41-60%. Ovaj uzorak nije uzimao u obzir sportiste, decu, ili različite druge grupe ljudi koje se drastično razlikuju.

Individualno svaki čovek može da odstupa značajno od osnovne pretpostavke da FFM ima gustinu od 1,100gr/ml. Na primer, osoba sa većom gustinom FFM će izgledati da ima manje FM nego što zapravo ima. Gustina FFM zavisi od godina, pola, telesnih masti, kondicije i rase. Velike i neprihvatljive razlike u procenama mogu da nastanu usled grešaka u osnovnim pretpostavkama.

Individualne razlike gustine kostiju su one koje najvećim delom utiču na odstupanja od osnovnih pretpostavki. Uticaj odstupanja od standardne gustine kostiju ima veći uticaj na mršavije sportiste. Dešava se nekada da se izračunavanjima dobije negativan broj za procenat masti u organizmu, i to je nesumljivo zbog toga što gustina tkiva LBM ispitanika drastično odstupa od standardnih vrednosti. DXA metod u te svrhe vrlo precizno meri gustine kostiju i kao metod vrlo obećava u smislu doprinosa ka vrlo preciznom utvrđivanju strukture tela.

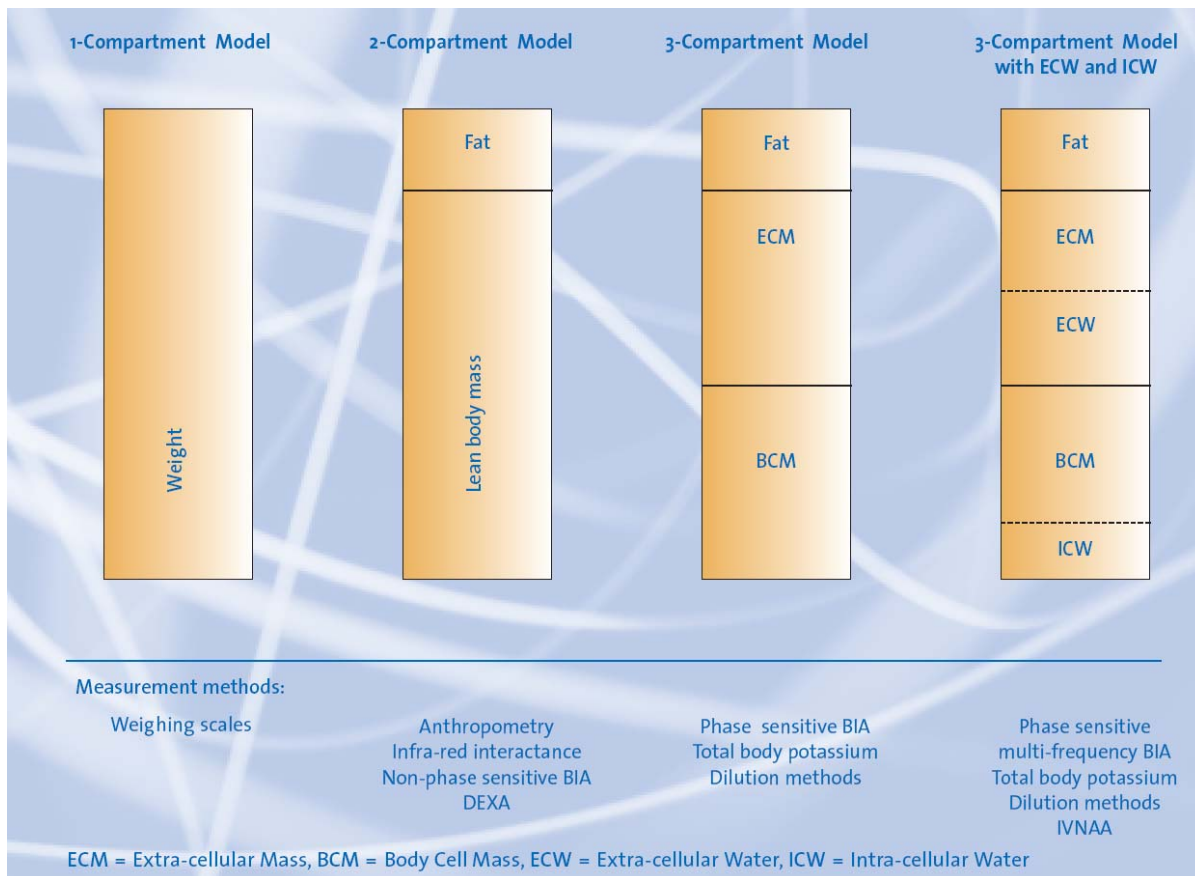
Metodi kao što su merenje debljine kožnih nabora, antropometrija i električna impedanca su duplo indirektno zato što impliciraju hidrostatsko merenje težine u vodi (underwater weighing) i stoga su dosta nepreciznije od disekcije kao modela. Dalje, duplo indirektno metode su podložnije greškama u odnosu na merenja gustine (densitometry), na primer merenje težine pod vodom (underwater weighing).

Sve dok se ne potvrde direktno, takve metode otvaraju polja za nova istraživanja i analize. Istraživači, lekari ili treneri moraju biti svesni mehanizma funkcionisanja metoda i njihovih limitirajućih faktora.

2.4 Mono i polikomponentni modeli strukture tela

Jednokomponentni modeli su najjednostavniji i osnovni modeli u pristupu analize strukture tela. Telesna težina kao veličina koja se vrlo precizno utvrđuje ne može u ovom slučaju biti uzeta sama za analizu jer je jednodimenzionalna.

Merenje zapremine tela je takođe izvodljivo sa veoma velikom preciznošću i kao i prethodna mera, nedovoljna je u sagledavanju strukture tela. Razmišljanje u cilju utvrđivanja detalja oko strukture tela prevazilazi monokomponentni pristup i polikomponentni model postaje dominantan i jedini logičan.



Dvo-komponentna merenja strukture tela

Ovaj metod jednostavno razdvaja masnu komponentu od one bezmasne. Ova podela datira iz ere hidrostatskog merenja težine i biće prikazana u daljem tekstu. Bazirana je na fundamentalnim podacima o gustini masnog i bezmasnog tkiva koji su utvrđeni direktnim (invanzivnim) metodama[1]. Hidrostatsko merenje težine zbog svoje aparature je rezervisano isključivo samo za istraživače.



Dijagnostika Interakcijom Infracrvenih Zraka (Furtex Inc., USA)

Merač gustine tela Univerziteta u Ulm-u
 (Densitometer in university of Ulm, Deutschland)



Antropometrija, infra-crvena interaktanca i BIA (bioelektrična impedanca) su slični ali ne i identični metodi za dvokomponentnu analizu.

Tro-komponentne metode analize strukture tela

Ovakvi načini analize strukture tela FFM dele na BCM i ECM, i paralelno računaju količinu masnog tkiva u telu. Velike promene u raspodeli količine ove dve komponente unutar bezmasne mase su moguće i bez promena u ukupnoj telesnoj težini.

Izračunavanje ove tri komponente je moguće sa:

- a) BIA aparaturom osetljivom na fazni ugao
- b) Multifrekventnom BIA aparaturom osetljivom na fazni ugao
- c) Merenjem ukupne količine kalijuma



Bioelektrična impedanca osetljiva na fazni ugao

Polikomponentne metode za analizu strukture tela podrazumevaju visoko sofisticiranu i skupu tehnologiju. Autor ovog teksta će sve njemu poznate metode navesti i opisati u banalnom obliku sa izuzetkom bioelektrične impedance i analize strukture tela po metodu Matejke gde će i predstaviti uporednu analizu i svoje pretpostavke u vezi sa odnosima ove dve metode.

3. Hidrostatsko merenje težine (Hydrostatic Weighing/Underwater Weighing)

Sve do razvoja DEXA, hidrostatsko merenje težine (merenje težine pod vodom) smatrano je najpreciznijom indirektnom metodom za analizu strukture tela. Služilo je kao standard za ostale indirektne metode, kao što je merenje debljine kožnih nabora, i ostaje i dalje kao važan alat u pristupu ove analize. Ova procedura je predstavljena od strane istraživača kako što je Behnke (1940) u ranim četrdesetim godinama prošloga veka i postala je vrlo važna alatka u fiziologiji vežbanja i medicini. Kao što je ranije navedeno, jednačine po kojima se normalizuju merenja u ovoj metodi se oslanjaju na činjenice koje su prikupljene disekcijama ljudskih leševa. [1]

Gustina je jednaka masi podeljenoj sa zapreminom. Nažalost, nepravilan geometrijski oblik ljudskog tela onemogućava nam da simplifikujemo pristup u smislu jednostavnog izračunavanja zapremine. Ipak, zapremina može biti jednostavno izmerena korišćenjem Arhimedovog principa istiskivanja vode, koji navodi «telo uronjeno u vodu istiskuje se na gore silom koja je jednaka težini vode koja je izbačena». Zapremina ljudskog tela može biti dobijena merenjem gubitka težine istog tog tela potpuno uronjenog u vodu. Gustina tela, u skladu sa tim i procenat masti, može biti dobijena deljenjem telesne težine (merenje na suvom) sa telesnom zapreminom (dobijenom hidrostatskim merenjem).

U ovom postupku, ispitanik je potopljen i izmeren u vodi. Zato što mišići imaju veću a masti manju gustinu od vode (aproskativno 1,100gr/ml za mišiće, 0,901gr/ml za masti i za vodu 1,00gr/ml), gojazni ljudi plutaju bolje i teže manje pod vodom, dok mršaviji više tonu i teže više pod vodom. Za istu težinu, gojazna osoba ima veću zapreminu od mršavije, stoga i manju gustinu.



Mnoge su greške moguće čak i u veoma dobro opremljenim laboratorijama. Nemogućnost da se uračuna rezidualni plućni volumen, intestinalni gasovi i gustina vode, mogu da doprinesu precenjivanju zapremine. Tokom merenja osoba se



kompletno potapa u vodu i izdiše vazduh koliko je moguće više. Mala ali značajna količina vazduha ipak ostaje u plućima i naziva se rezidualni plućni volumen, relativno mali po količini treba ga uzeti u obzir pri ovim analizama. Iako se rezidualni plućni moguće više. Mala ali značajna količina vazduha ipak ostaje u plućima i naziva se rezidualni plućni volumen, relativno mali po količini treba ga uzeti u obzir pri ovim analizama. Iako se rezidualni plućni volumen može proceniti, neophodno ga je direktno izmeriti.

Intestinalni gas takođe povećava plovnost i prlja rezultate. Konačno, voda ima gustinu od 1,00gr/ml samo na temperaturi od 4°C (39,2 °F). Izračunavanje zapremine mora biti normalizovano sa promenama u gustini vode na većoj (telesnoj) temperaturi, plus voda u kojoj se meri ispitanik je na 4°C. Ipak, uzeto u obzir sve, ovo merenje je dovoljno precizno kada se sve pretpostavke ispoštuju.

Dve najviše korišćene jednačine za procenu LBM i procenat masti su izvedene od strane Brožek-a i saradnika (1963) i Siri-ja (1956) [6]. Njihova mala razlika se krije među različitim procenama gustine mišića i masti.

$$\%BF = [(4.95/BD) - 4.5] \times 100$$

BF – telesna mast

BD – telesna gustina

Lohman predlaže se ova modifikacija jednačine koristi za decu

$$F = \frac{530}{D - 489}$$

gde je F procenat masti, D gustina celog tela. Varijante jednačina su takođe razvijene za potrebe etničkih i polnih razlika.

4. DEXA Merenje absorpcije X-zraka dvostrukih energija (Dual-Energy X-Ray Absorptionmetry)

U kliničkim uslovima DEXA se iscrpno koristi radi procene rizika i stanja razvoja osteoporoze. Ubrzo nakon inicijalne eksploatacije ove tehnike za analize osteoporoze, istraživači su otkrili da se može koristiti za analize strukture mekog tkiva, odnosno tela. DEXA radi tako što se na telo usmeravaju X-zraci različite energije. Razlike u absorpciji X-zraka različitih energija koriste se za izračunavanje prisutnosti minerala u kostima kao i za izračunavanje sastava mekog tkiva koje ga okružuje. DEXA je metod koji koristi veoma male doze zračenja, tako da je utilizovan u svakodnevici a koristi se i kod dece i starijih osoba.

DEXA se predlaže kao zamena za denzitometriju (hidrostatsko merenje težine tela), kao **zlatni standard** za procenu strukture ljudskog tela. Oslanja se na manje pretpostavka koje se odnose na karakteristike ljudskog tkiva, i što je najvažnije uporedne analize ovog metoda sa autopsijom/disekcijom na životinjama su dokazale validnost ove tehnike.



DEXA aparatura (Hologic Inc, USA)

Preciznost DEXA varira sa različitim delovima tela i sa softverom koji se koristi. Ovaj metod najbolje rezultate daje sa mladim zdravim ispitanicima i manje precizne sa osteoporotičnim i gojaznim osobama. Zbog limita u hidrostatskom merenju (pretpostavke u vezi sa osnovama izračunavanja gustine tkiva) i DEXA (problemi sa standardizacijom tehnike i softvera) ne postoji trenutno zlatni standard za analizu strukture tela.

5. Biohemijske tehnike (analiza ^{40}K količine kalijuma - potassium ^{40}K analysis, ukupna količina vode u organizmu - total body water, apsorpcija inertnog gasa - inert gas absorption)

Biohemijske metode za procenu strukture ljudskog tela su bazirane na biološkim konstantama koje su dobijene direktnim hemijskim analizama tela. Ove metode podrazumevaju procenu količine kalijuma (^{40}K), procenu ukupne količine vode u organizmu i procenu apsorpcije inertnog gasa.

Bezmasna komponenta tela (LBM) sadrži relativno konstantnu količinu kalijuma, od koje je jedan deo u obliku ^{40}K kao prirodan izotop. Gama zraci iz ^{40}K izotopa se mogu detektovati WBSC (Whole-Body Scintillation Counter) metodom, koji omogućava procenu ukupne količine kalijuma u organizmu, takođe procenu količine bezmasne komponente (LBM). Rezultati ove metode su vrlo slični kao i kod hidrostatskog merenja težine. Zbog cene i ograničene dostupnosti WBSC, ova metoda je praktično odbačena u procesima istraživanja i rada.

Tehnike difuzije se oslanjaju na osobinu pojedinih supstanci da difunduju u tkiva ili odeljke u organizmu i tamo se detektuju. Označivači kao što su deuterijum i tritijum oksid (teška voda), antipirin, i etanol na primer, mogu da se koriste u procenama ukupne količine vode u organizmu. Bezmasna masa se u tom slučaju može lako proceniti jer organizam sadrži skoro konstantnih 73,2% vode, i to se skoro ukupna količina vode nalazi raspoređena kroz bezmasnu masu. Bezmasna komponenta (FFM) može biti procenjena jednačinom Pace i Rathbun-a

$$FFM = \frac{TBW(L)}{0,732}$$

gde je TBW=ukupna količina vode (total body water) i L=telesna visina.

Brzo-solubilni inertni gasovi kao što su kripton i ciklopropan se takođe koriste za procenu količine masti tako što se meri nivo njihove apsorpcije u telo.



Komora za merenje ukupne količine kalijuma (Univerzitet u Teksasu, USA)

6. Antropometrijske tehnike i varijante pristupa u merenju potkožnog masnog tkiva

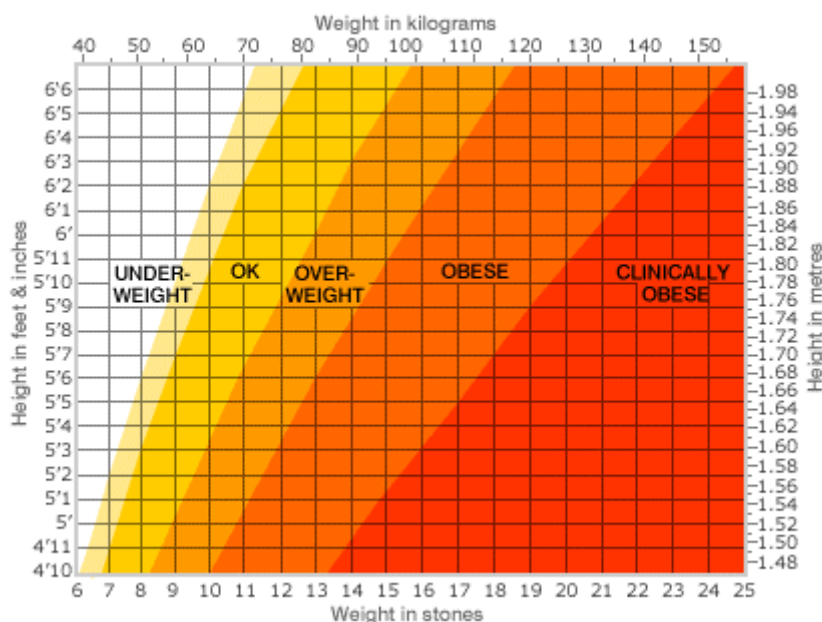
Antropometrijski pristup koristi različite, relativno površne tehnike prikupljanja podataka kao što su merenje težine, visine i cirkularnih mera. Od ovih mera visina i težine su najčešće merene varijable. Odnosima visine i težine se toliko manipuliše da mnoge osiguravajuće kompanije konstruišu svoje tabele odnosa visine i težine koje su neadekvatne zato što su podložne različitim tumačenjima i zapravo zahtevaju mnogo više ispitanika da bi se kasnije primenile na širu populaciju ljudi. Pri tome, ovakve skale/tabele ne uzimaju u obzir individualne razlike u bezmasnoj masi (LBM) i relativnoj masnoći (odnosu količine masti i bezmasne komponente FM/LBM) u organizmu.

6.1 Body mass index (BMI)

Body mass index je direktan odnos težine i kvadrirane visine i fino korelira sa procentom masti ($r=0,80$). Računa se sledećim formulama:

SI jedinice	US jedinice
$BMI = \frac{weight \text{ (kg)}}{height^2 \text{ (m}^2\text{)}}$	$BMI = 703 \times \frac{weight \text{ (lb)}}{height^2 \text{ (in}^2\text{)}}$
UK jedinice	
$BMI = 6.35 \times \frac{weight \text{ (stone)}}{height^2 \text{ (m}^2\text{)}}$	

BMI se takođe može dobiti i sa tablica kao što je i ova prikazana na slici dole kao funkcija težine (horizontalno) od visine (vertikalno) praćenjem vodilja koje prikazuju funkciju odnosa.

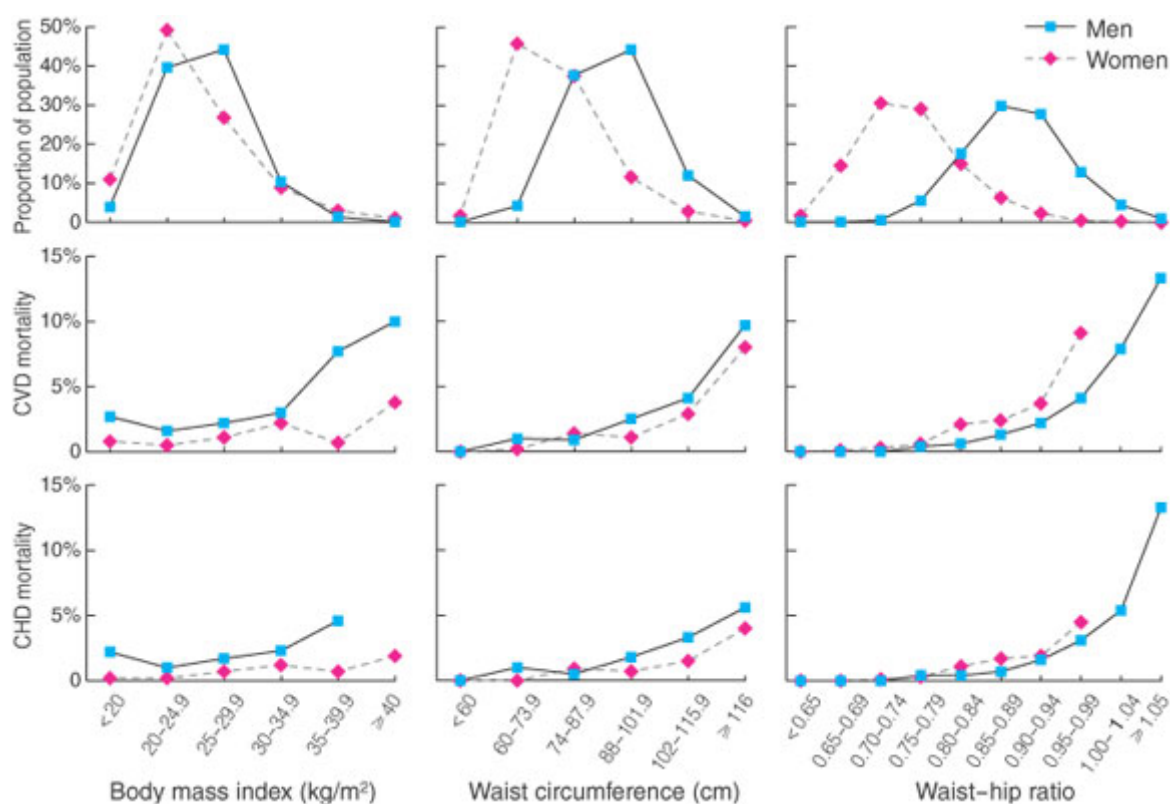


Zato što je lako prikupiti podatke za izračunavanje, BMI se dosta eksploatiše u velikim epidemiološkim studijama. Za muškarce BMI od 25 do 30, a za žene od 27 do 30 se smatra kao srednje gojazno stanje. Body mass index od 30-40 se smatra kao velika gojaznost, a preko 40 je patološka

gojaznost. Ovaj metod može biti ozbiljno neprecizan za mnoge aktivne ljude, posebno za one koji treniraju redovno po principu treninga snage. Na primer, vrhunski fudbaleri, košarkaši, sportisti ekipnih igara su često okarakterisani kao ljudi sa prekomernom težinom u skladu sa BMI kriterijumima izračunavanja. Ne treba koristiti BMI kao primarno sredstvo u procenama strukture ljudskog tela. Druge metode kao što su merenje kožnih nabora, hidrostatsko merenje težine, ili čak Bod Pod, daju dosta preciznije procene masnih naslaga. Bod Pot je sličan metod kao i hidrostatsko merenje težine, i razlikuje se po tome što se meri količina izbačenog vazduha umesto vode.

6.2 Obim struka i odnos cirkularnih mera struka i kukova

Kao što je poznato, abdominalno gomilanje masnih naslaga je uzrok mnogih bolesti. Veliki obim struka i odnos cirkularnih mera struka i kukova povećavaju rizik od infarkta miokarda, angine pectoris, dijabetesa i šloga.



Distribucija (%), antropometrijskih mera (BMI, obim kukova, odnos obima kukova i struka) sa odgovarajućim grubim procenama smrtnosti kardiovaskularnih bolesti (CVD) i koronarnih oboljenja (CHD) 1989-2000. [7]

Morfotipovi

Šeldon je osmislio sistem za klasifikaciju i merenje nivoa različitih tipova strukture tela, koji se bazira na tri morfotipa, a svaki od njih se meri na nivou od sedam jedinica. Izdvojio je endomorfni tip (relativna dominantnost veličine i zaobljenosti), mezomorfni tip (relativna dominantnost mišićnog tkiva), ektomorfni tip (relativna dominantnost izduženosti i slabe građe). Ovaj metod je vrlo subjektivan i zahteva kvalitetno obučenu osobu sa sprovođenjem protokola i kvalitetno fotografisanje.

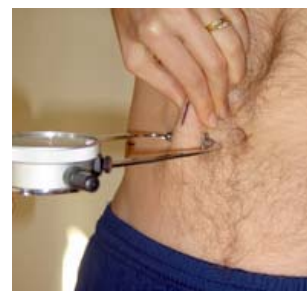
6.3 Antropometrijski metod Behnke

Behnke (1961) je razvio antropometrijsku tehniku za procenu strukture tela koja upoređuje cirkularne mere sa referentnim muškarcem ili ženom. Kao ostale ovakve metode, i ova zahteva iskusnog rukovodioca.

6.4. Merenje potkožnog masnog tkiva (praktičan pristup merenju potkožnog masnog tkiva, generalizovani pristup merenju potkožnog masnog tkiva)



Ovaj metod je verovatno najpopularniji za analizu strukture ljudskog tela. Brz je, nije skup i relativno brzo se ovladava njime. Jednačine za izračunavanje strukture tela iz ovih mera izvedene su statističkom metodom koja se zove multipla regresiona analiza koja predviđa/upoređuje rezultate



prema hidrostatskom merenju težine (neke varijante su izvedene iz DEXA pristupa, koji samo zamenjuje u ovom slučaju hidrostatsko merenje težine kao referenti sistem). Na ispitanicima na kojima se primenjuje ovaj metod treba primeniti jednačine koje su normalizovane prema njima samima, zapravo prema grupi kojoj pripadaju. Na primer, nepodobno je primenjivati jednačinu izvedenu analizama osamaestogodišnjaka za procenu strukture tela žene od četrdeset godina. Nekoliko jednačina je izvedeno za prosečnu populaciju ljudi. Kožni nabori se mogu izmeriti na jedan od sledeća dva načina:

1. Sabrati debljine nabora sa trupa i ekstremiteta da bi se ustanovio nivo zamašćenosti. Ovaj način je zanimljiv pri praćenju promena težine tokom vežbanja ili posebnih režima ishrane.
2. Uneti izmerene vrednosti u jednačine za izračunavanje radi procene gustine tela ili procenta masti.

Praktičan pristup merenju potkožnog masnog tkiva

Meri se sa osam anatomskih područja: triceps, skalupa, iliačni greben, abdomen, butina, podpazušna jama, grudi i potkolenica. Triceps, butina i potkolenica predstavljaju ekstremitete; dok skapula, grudi, podpazušna jama, ilijačna kost i abdomen predstavljaju trup. Uzima se mera jednom sa svakog mesta, a potom se merenje ponovo obavlja bez uzimanja u obzir prethodnog merenja. Najbolje je da se nakon nekoliko minuta uradi još jedno, treće merenje i na kraju se sagledava set od ukupno tri merenja.

Jednačine za predviđanje količine masti na osnovu kožnih nabora

Vrednosti izmerene merenjem debljina kožnih nabora se mogu uneti u jednačine za izračunavanje bez dodatnih normativnih merenja kao što je hidrostatsko merenje težine ili neka druga precizna metoda za analizu strukture tela. Okviri u kojima se javlja greška u primeni ovih jednačina su najčešće na nivoima od 3-5%. Takođe, neophodno je primeniti adekvatno normalizovane jednačine za određeni tip ljudi, pol i uzrast da ne bi došli u situaciju da primenjujemo jednačinu za prosečnu populaciju na sportistu koji recimo trenira po tipu izdržljivosti.

Generalizovane jednačine za analizu debljine kožnih nabora

Istraživači su razvili jednačine koje pokrivaju šire populacije ljudi u smislu godina, pola, i nivoa aktivnosti. Ove jednačine nisu tako precizne kao one specifične za određenu grupaciju i funkcionišu na nivou od 2% veće greške.

Tehnika merenja potkožnog masnog tkiva ima nekoliko limitirajućih faktora, i u skladu sa tim se treba koristiti kao terenska tehnika i samo u globalnim procenama strukture ljudskoga tela. Moguće su greške u merenju čak i kod veoma iskusnih tehničara. Dehidratacija, na primer, umanjuje debljinu kožnog nabora i do 15%, tako da se greška u daljim izračunavanjima samo uvećava i takodje je opravdano uzimati u obzir i razlike u debljini kožnog nabora ujutru, odnosno uveče. Dalje, metoda merenja debljine kožnog nabora radi procene strukture tela se pokazala neosetljiva na promene u strukturi tela tokom procesa mršavljenja. Preciznost ovih merenja se može povećati kroz više ponovljenih merenja jednog iskusnog profesionalca.

6.5 Program po Matejki

Jednačine po Matejki za analizu sastava ljudskog tela su bile najprihvatljivije davne 1997. godine. U literaturi Fakulteta Sporta Fizičkog Vaspitanja na predmetu Biologija razvoja čoveka, ove jednačine se i dalje eksploatišu kao predstavljanje jednog od metoda u pristupu analize strukture tela čoveka.

Ovaj metod podrazumeva merenje ukupno 16 antropometrijskih varijabli: telesna visina, telesna masa; dijometri lakta, ručnog zgloba, kolena i skočnog zgloba; obimi nadlakta, podlakta, natkolenice i potkolenice; debljine kožnih nabora nadlakta, podlakta, natkolenice, potkolenice, grudi i trbuha). Iz izmerenih varijabli računaju se komponente telesnog sastava (mase koštanog, masnog i mišićnog tkiva).

Komponente telesnog sastava određuju se dinamičkom antropometrijskom metodom po Matejki [4].

Apsolutna masa koštanog tkiva (MKT u gramima, u formuli **O**). Računa se na osnovu sledećih formula:

$$O = o^2 \times TV \times k1$$

gde je: O – masa skeleta (u gramima), o – srednja vrednost merenih koštanih dijametara: $o = (DiLa + DiRu + DiKo + DiSt)/4$, gde je DiLa – dijametar lakta, DiRu – dijametar ručnog zgloba, DiKo – dijametar kolena, DiSt – dijametar skočnog zgloba, TV – telesna visina (cm), k1 – konstanta izražena vrednošću 1,2.

Apsolutna masa masnog tkiva (MMT u gramima, u formuli **D**). Računa se na osnovu sledećih formula:

$$D = d \times TP \times k2$$

gde je: D – masa masnog i potkožnog tkiva (u gramima), d – srednja vrednost merenih kožnih nabora po obrascu: $d = (DKNNl + DKNPl + DKNNk + DKNPk + DKNGr + DKNTr) / 6 \times 0,5$; gde je DKNNl – debljina kožnog nabora nadlakta, DKNPl – debljina kožnog nabora podlakta, DKNNk – debljina kožnog

nabora natkolenice, DKNPk – debljina kožnog nabora potkolenice, DKNGr – debljina kožnog nabora grudi, DKNTr – debljina kožnog nabora trbuha, TP – telesna površina, u cm² po obrascu: $TP = 167,2 \times \sqrt{(TM \times TV / 1000)}$, k₂ – konstanta izražena vrednošću 1,3.

Apsolutna masa mišićnog tkiva (MMiT u gramima, u formuli M). Računa se na osnovu sledeće formule:

$$M = r^2 \times TV \times k3$$

gde je: M – masa mišićnog tkiva (u gramima), r – srednja vrednost poluprečnika izračunata iz obima ekstremiteta umanjena za polovinu srednje vrednosti kožnih nabora ekstremiteta $r = (ONl + OPl + ONk + OPk) / 25,12 - (DKNNl + DKNPl + DKNNk + DKNPk) / 8$; gde je ONl – obim nadlaktak, OPl – obim podlaktak, ONk – obim natkolenice, OPk – obim potkolenice, DKNNl – debljina kožnog nabora nadlaktak, DKNPl – debljina kožnog nabora podlaktak, DKNNk – debljina kožnog nabora natkolenice, DKNPk – debljina kožnog nabora potkolenice, TV – telesna visina, k₃ – konstanta izražena vrednošću 6,5.

Relativne mase koštanog, masnog, i mišićnog tkiva (MKT u %, MMT u %, MMiT u %) određuju se preko proporcija, u odnosu na telesnu masu kod svakog ispitanika posebno.

6.6 Program EUROFIT

Komitet ministara Saveta Evrope objavio je preporuku broj: R (87) 9 državama članicama u vezi sa EUROFIT testovima fizičke kondicije 19. maja 1987. godine [2]. Originalni predlog sprovođenja svih testova se može sagledati na sledećoj slici:

Appendix to Recommendation No. R (87) 9

Eurofit tests of physical fitness

Dimension	Factor	Eurofit Test
Cardio-respiratory endurance	Cardio-respiratory endurance	Endurance shuttle run (ESR) Bicycle ergometer test (PWC 170)
Strength	Static strength	Hand grip (HGR)
	Explosive power	Standing broad jump (SBJ)
Muscular endurance	Functional strength	Bent arm hang (BAH)
	Trunk strength	Sit-ups (SUP)
Speed	Running speed - agility	Shuttle run: 10 × 5 metres (SHR)
	Speed of limb movement	Plate tapping (PLT)
Flexibility	Flexibility	Sit and reach (SAR)
Balance	Total body balance	Flamingo balance (FLB)
Anthropometric measures	Height (cm):	
	Weight (kg):	
	Body fat (5 skinfolds: biceps; triceps; subscapular, suprailiac, calf):	
Identification data	Age (years, months):	
	Sex:	

Država koja je egzistirala na ovim prostorima (SFRJ) je primenjivala ceo ili delove EUROFIT saveta i metoda testiranja kondicionih sposobnosti zajedno sa antropometričkim analizama i u nekoliko longitudinalnih studija je prikupljena vredna količina podataka na vremenskoj skali od oko 15 godina za različite populacije ljudi. Republički zavod za sport poseduje podatke ovih longitudinalnih studija i na istraživačima je da ih reanimiraju, pozabave se njima i daju im smisao.

Varijanta na srpskom jeziku sa zadržanim anglosaksonskim imenima testova.

Dimenzija	Faktor	EUROFIT test
Kardio respiratorna izdržljivost	Kardio respiratorna izdržljivost	Endurance shuttle run (ESR) Bicycle ergometer test (PWC 170)
Snaga	Statička	Hand grip (HGR)
	Dinamička	Standing broad jump (SBJ)
Mišićna izdržljivost	Funkcionalna jačina	Bent arm hang (BAH)
	Jačina prednjeg zida trupa	Sit-ups (SUP)
Brzina	Brzina trčanja – agilnost	Shuttle run: 10 x 5 metres (SHR)
	Brzina pokreta ekstremiteta	Plate tapping (PLT)
Fleksibilnost, pokretljivost	Pokretljivost	Sit and reach (SAR)
Balans	Kontrola balansa celog tela	Flamingo balance (FLB)
Antropometrijske mere	Visina (cm)	
	Težina (kg)	
	Telesna mast (5 kožnih nabora: biceps; triceps; vrh skapule, suprailiac, potkolenica)	
Podaci o ispitaniku	Starost (godina, mesec)	
	Pol	

7. IVNAA - Aktivacija neutrona in-vivo (In-Vivo Neutron Activation Analysis)

Strukturu ljudskog tela sagledanu na pet nivoa: atomski, molekularno, ćelijski, funkcionalno i celo telo možemo eksploatisati na različite načine. Šest elemenata: ugljenik, azot, kalcijum, kalijum, natrijum i hlor, mogu se direktno meriti na atomskom nivou koristeći jedino in-vivo neutron aktivacionu analizu (IVNAA). U kombinaciji sa procenom ukupne količine vode, ovih šest elemenata je moguće koristiti za kvantifikovanje osnovnih hemijskih komponenti na molekularnom nivou. [8]

Ovo je možda najskuplja metoda analize strukture tela, ali u isto vreme daje ekstremno izdiferencirane parametre. Zrak neutrona koji se aplikuje na telo uzrokuje nastanak gama zraka (γ) sa karakterističnim spektrom. Na ovaj način moguće je detektovati zasebno hemijske elemente u telu kao što su kalijum (K) ili kalcijum (Ca). Količina odgovarajućeg tipa tkiva može biti izračunata u skladu sa količinom ovih elemenata.

Postoje čak i tehnike za merenje ovih specifičnih elemenata u određenim delovima tela. Tako da je na osnovu ovoga moguće izračunati određenu količinu jednog tipa tkiva.



(In-Vivo Neutron Activation Analysis, University of Michigan)

Vrste IVNAA

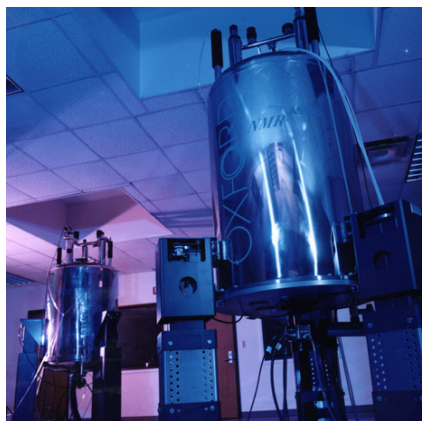
Delayed Gamma Neutron Activation Analysis (DGNAA)

Aktivacija neutrona određenih elemenata, kao što je kalcijum, stvara gama zračenje na određeni vremenski period. Ova zračenja se mere posebnim uređajima.

Prompt Gamma Neutron Activation Analysis (PGNAA)

Aktivacija neutrona stimuliše neke elemente kao što je azot, da zrače gama (short lived gammas) na veoma kratak vremenski period koji moraju u istom trenutku da se detektuju.

8. NMR - Nuklearna magnetna rezonanca (Nuclear Magnetic Resonance Technique)



NMR spektroskopija koristi magnetno svojstvo koje nazivamo spin nekog od jezgra u atomu. Kada uzorak postavimo u jako magnetno polje, moguće je menjati spin prenošenjem energije radio talasima na spin. Nakon emitovanja talasa sistem se polako vraća u stanje ravnoteže, odašiljući slab signal koji se može snimiti. Svaki spin jezgra reaguje i na malo magnetno polje iz okoline. Moguće je odvojiti signale koji dolaze iz različitih atomskih okruženja. Struktura molekula se može odrediti na osnovu ovih signala.

(NMR Univerziteta u Oxfordu)

Uspeh NMR spektroskopije je baziran na fenomenu da svako od jezgara ima određeni spin. Povezanost signala koji se pošalje posle emitovanja talasa, koji je zapravo u rezonanci sa određenim jezgrom, pokazuje samo to da je moguće detektovati druga jezgra jednostavno promenom frekvencije magnetnog pulsa kojim se isto bombarduje.

Najosetljivije jezgro pri NMR je jezgro vodonika. Često se koriste ugljenik-13, fluor-19, fosfor-31, i azot-15. U skladu sa ovim NMR je primenljiv hemiji, biohemiji, hemiji polimera, organskoj hemiji itd. Na slici (Pacific Northwest National Laboratory 800 MHz NMR_Spectrometer).

Tehnika zanimljiva meni za ovaj rad je primena NMR u MR. Količinu vode je moguće prikazati kao grafik protona, ili napraviti slike nekog tipa tkiva celog tela.



9. MRT - Tomografija magnetnom rezonancom (Magnet Resonance Tomography)

Ogroman napredak u sagledavanju strukture ljudskog tela je podstaknut razvojem istraživačkih tehnologija kao što je slikanje magnetnom rezonancom (magnet resonance imaging, MRI). Ova tehnologija će svoj doprinos tek pokazati daljim razvojem i eksploatacijom.

Rutinsko primenjivanje MRI uključuje merenje količine i raspodele različitih tipova tkiva po segmentima ili u celom telu. MRI je postao referentan model u smislu da se njime kalibrišu terenske metode modifikovane za merenje FM i LBM in vivo. Česta primena je računanje količine određenog tkiva. Od skora proton vodonika (1H) i izotop natrijuma (^{23}Na) MRI protokoli merenja su razvijeni za merenje kvaliteta (koncentracija masti i natrijuma) u skeletnim mišićima. Ovaj jedinstveni pristup MRI predstavlja veliki napredak u analizi strukture tela sa primenama u primenjenoj i kliničkoj medicini. [9]

10. Merenje absorpcije fotona (Photon Absorption Measurement)

Zbog potrebe za metodom analize strukture tela koja je brza, dovoljno sigurna i izvodljiva u kliničkoj praksi, Masayuki Kamba i saradnici [10] su predložili spektroskopiju magnetne rezonance protona, (proton magnetic resonance spectroscopy). MRS protona, detektuje rezonance različitih metabolita, uključujući vodu, metil grupe i metil grupe masnih kiselina. Odnos protonske rezonance metil grupa masnih kiselina i protonske rezonance vode, pokazuje odnos masne komponente i vidljivu količinu vode koja može da se izmeri MRS. Rezultati istraživanja Masayuki Kamba-e pokazuju jasnu linearnu zavisnost između merenja dobijenih bioelektričnom impedancom sa metodom koju je Kamba prikazao.

11. TOBEC - Merenje kompletne električne provodljivosti tela (Measurement Of Total Body Electrical Conductivity)

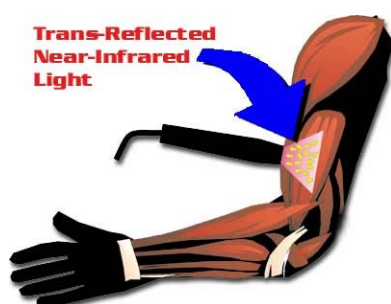
TOBEC metoda funkcioniše tako što se telo okružuje elektromagnetnim poljem i meri se nivo provodljivosti električne energije. Princip funkcionisanja je da bezmasna komponenta i voda brže provode električnu energiju od masti. Iako je TOBEC tehnika izvanredno procenjuje strukturu tela u odnosu na hidrostatsko merenje težine, ceo instrumentarijum košta od \$50 000 do \$100 000.

12. Ultrazvučne tehnike (Ultrasound)

Ultrazvuk je često korišćen u kardiologiji za procenu stanja i debljine srčanog mišića i zalizaka, i u akušerstvu za analize fetusa, pri snimanju abdomena i organa kao neinvanzivna tehnika za prikupljanje podataka. Nekoliko istraživača je koristilo ultrazvučne metode za merenje i prikupljanje podataka o debljini masnih naslaga, mišića i ostalih delova tela na osnovu kojih je moguće analizirati strukturu tela. Ovaj instrument emituje zvučne talase, usmerene na određene delove tela, eho se javlja kako zvuk udara na određene delove tela različite gustine i krutosti. Echo se dalje obrađuje instrumentom.

13. NIR – Dijagnostika interakcijom infracrvenim zracima (Near-infrared interactance)

Tehnologija razvijena radi procene ukupne količine masti u organizmu i bazira se na segmentualnom merenju. Njeno prvo korišćenje je predstavljeno od strane Conway, Noms, i Bodwell-a [11], koji su u svojoj studiji pokazali da ovaj metod korelira sa hidrostatskim merenjem težine.



Sve organske materije absorbuju svetlo i to samo iz određenog opsega spektra.

FUTREX-5000 (Furtex Inc, USA) emituje svetlo veoma preciznih frekvencija na telo. Frekvencije koje masno tkivo apsorbuje, LBM ih reflektuje. U suštini, meri se količina svetlosti koja je emitovana i količina svetlosti koja se reflektovala nazad. Ovo merenje daje procene u distribuciji FM i LBM kroz telo.

14. CT - Kompjuterizovana tomografija (Computerized Thomography)

Kompjuterizovana tomografija je tehnika zasnovana na X zracima i daje trodimenzionalan grafički pogled na određene delove tela. CT skeniranja daju precizne podatke o zapremini, debljini i karakteristikama tkiva i organa tako da ova tehnika značajno doprinosi ukupnom znanju analize strukture tela. Na žalost, nerealno je očekivati da ova tehnika postane šire korišćena jer je skupa i podrazumeva izlaganje zračenjima.

15. BIA - Bioelektrična Impedanca (Bioelectric Impedance)

Na vremenskoj skali razvoja bioelektrične impedance na početku se nalazi italijanski fizičar Galvani koji je 1786. godine posmatrao uticaj električne struje na tkivne strukture žabe. Dalji eksperimenti ovakvog tipa i njihova eksploatacija su bili beznačajni sve do 1960. godine, kada je Francuz po imenu Thomasset izjavio da količina fluida direktno definiše električnu otpornost tog tkiva. On i njegovi saradnici su razvili prvu bioelektričnu impedancu za analizu biološki aktivnog tkiva. Razvoj je tekao dalje na različitim mestima u svetu do trenutka kada je Američki istraživač Nyboer je 1970. godine ustanovio principe funkcionisanja bioelektrične impedance kakvu sada poznajemo. Nyober je bio u stanju da dokaže da informacije koju daje ova analiza zaista pokazuju neke informacije o strukturi ljudskoga tela. Termin bioelektrična impedanca je prvi put korišćen za metod iz osamdesetih godina. Tokom sledećih godina ovaj metod je uspeo sebe da potvrdi među dosta drugih sličnih metoda za analizu strukture tela i sada je priznat internacionalno i koristi se u mnogim oblastima nutricionizma i antropologije.

Vremenom je ova metoda veoma dobila na značaju što pokazuje i BIA Konzensus Konferencija (BIA Consensus Conference) koja se održava u Američkom Nacionalnom Institutu Zdravlja (American National Institute of Health NIH), i povezuje ljude širom planete u razmeni znanja i dostignuća u vezi sa ovom metodom.

15.1 Fizički principi bioelektrične impedance

Električna otpornost Z (impedanca) cilindra zavisi od njegove dužine L i njegovog poprečnog preseka A , u skladu sa ovim:

$$Z = \frac{L}{A}$$

Zapremina cilindra je u direktnoj vezi sa njegovom dužinom i obimom:

$$V = AxL$$

formula $Z = \frac{L}{A}$ može biti napisana kao $A = \frac{L}{Z}$ i umetnuta u prethodnu:

$$V = \frac{L^2}{Z}$$

tako da je sada moguće izračunati zapreminu cilindra a da pri tome od informacija imamo samo njegovu dužinu i električnu otpornost.

Za potrebe merenja i analize, ljudsko telo je podeljeno na 5 logičkih cilindara (ruke, noge i trup) koji su povezani električno u serijsku vezu.

Kada bi se izražavali terminima ljudskoga tela u formuli to bi izgledalo ovako:

$$\text{sadržaj_vode} = \frac{\text{dužina_tela}^2}{\text{otpornost_tela}}$$

ili koristeći anglosaksonsko obeležavanje

$$\text{total_body_water} = \frac{\text{height}^2}{\text{impedance}},$$

skraćeno:

$$TBW = \frac{Ht^2}{Z}$$

Ova formula je osnova za izračunavanje ukupne količine vode u organizmu (TBW).

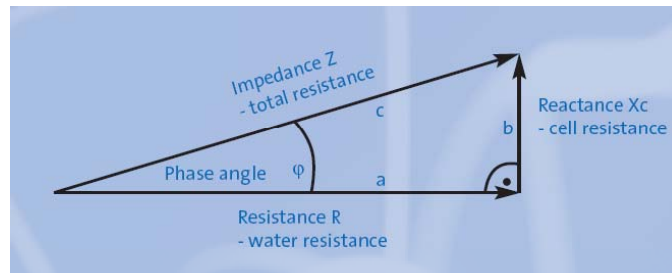
15.2 Merni parametri analize bioelektrične impedance

Impedanca je ukupan otpor biološkog provodnika naizmeničnoj struji.

Za sada, jedini korišćen termin za ovu pojavu je impedanca, Z. Impedanca direktno zavisi, tj. sastoji se od sledeće dve komponente:

1. **otpornost R** (resistance), običan otpor (u omima, Ω) ukupne vode u telu kao elektrolita
2. **reaktivnost Xc** (reactance), kapacitivna reakcija, kapacitivni otpor, nastaje od kondenzatorske osobine ćelije (kasnijim analizama u kontekstu analize strukture tela videćemo da ova osobina membrane ćelije je identična stvaranju vremenskog pomeraja, Δt , protoka naizmenične struje u kondenzatoru)

Diferencijacija i determinacija obe od ovih komponenti impedance je moguća merenjem faznog ugla.



način računanja:

$$a^2 + b^2 = c^2$$

ili

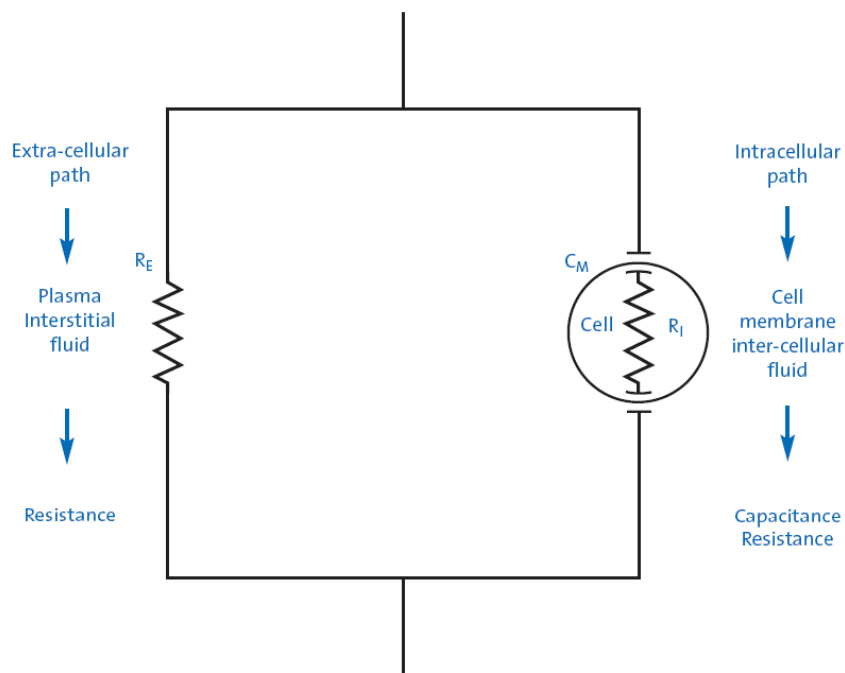
$$R^2 + Xc^2 = Z^2$$

iz ovoga

$$Z = \sqrt{R^2 + Xc^2}$$

Razvoj računanja faznog ugla je ustanovio prekretnicu u daljem razvoju bioelektrične impedance. Sada je moguće ustanoviti ukupnu količinu ćelija u organizmu zajedno sa ukupnom količinom vode.

$$\varphi = \arctg \frac{Xc}{R} \quad \text{ili} \quad \varphi = \text{arcctg} \frac{R}{Xc}$$



R_E = Extra-cellular resistance in the interstitial space
 C_M = Capacitive influence of the cell membrane
 R_i = Intra-cellular resistance
 According to Lukaski et al. (1996).

Šema ponašanja ćelije i vanćelijske okoline u električnom smislu [19].

Fazni ugao

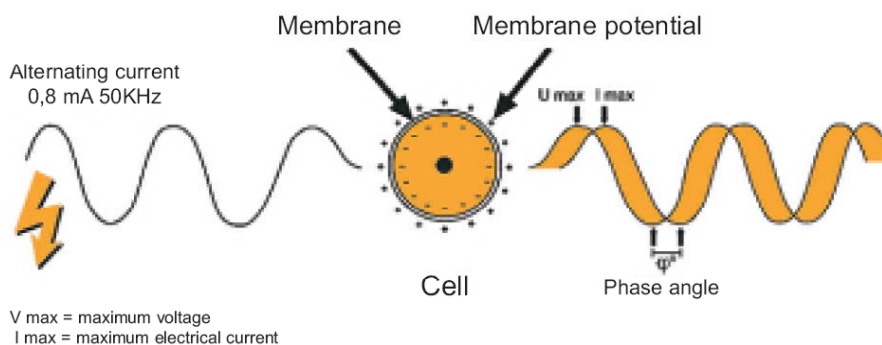
Da bi mogle da se razlikuju ove dve komponente impedance, otpornost i reaktivnost u odnosu na ukupnu otpornost, moderni BIA aparati imaju elektroniku koja je osetljiva na promenu faznog ugla.

Princip merenja je baziran na tome da kondenzatori prave vremensko zakašnjenje Δt u protoku naizmenične struje kroz njega: maksimum u jačini prethodi maksimumu u voltaži. Svaka metabolički aktivna ćelija ima električni potencijal ćelijske membrane od 50-100mV. Ovaj membranski potencijal definiše ćeliju u električnom polju kao sferni kondenzator. Naizmenična struja je sinusoidnog oblika, tj. ima sinusoidni talas koji se meri u $^\circ$ (stepenima) i opisan je kao fazni ugao φ ili α . Ako bi se slikovito izražavali, negovana i lepo uhranjena, "jedra" ćelija sa stabilnim membranskim potencijalom ima velik fazni ugao, gde pri tome ishabana, iscrpljena ćelija sa niskim membranskim potencijalom ima srazmerno mali fazni ugao. Fazni ugao je najprecizniji pri merenju od 50Hz. Masa koja bi se sastojala samo od ćelijske membrane bi imala fazni ugao od 90° , dok sam elektrolit ima fazni ugao od 0° . Stoga, fazni ugao direktno zavisi od ukupne količine metabolički aktivnih ćelija u organizmu (body cell mass, BCM). Nasuprot ćelijama koje pripadaju pomenutoj kategoriji (metabolički aktivne), masne ćelije koje su specijalizovane ćelije za odlaganje viška energije jedva da imaju neku metaboličku aktivnost, imaju samo minimalan membranski potencijal koji se ne može detektovati merenjima osetljivim na fazni ugao.

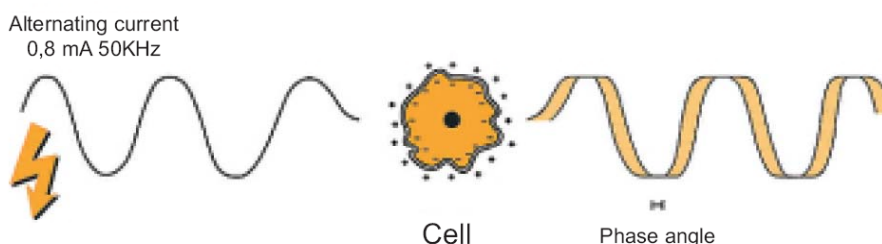
$BCM \rightarrow \alpha$ (ukupna količina metabolički aktivnih ćelija direktno definiše fazni ugao protoka enegije kroz telo)

Fazni ugao kao parametar koji se dobija ovim direktnim merenjem, kao osnovna vrednost merenja, je skoro nezavistan od grešaka koje nastaju izborom merne tehnike. Ovakav podatak predstavlja globalno stanje svih metaboličkih ćelija kao i sveukupno stanje tela.

Intact cells with high membrane integrity –
high phase angle

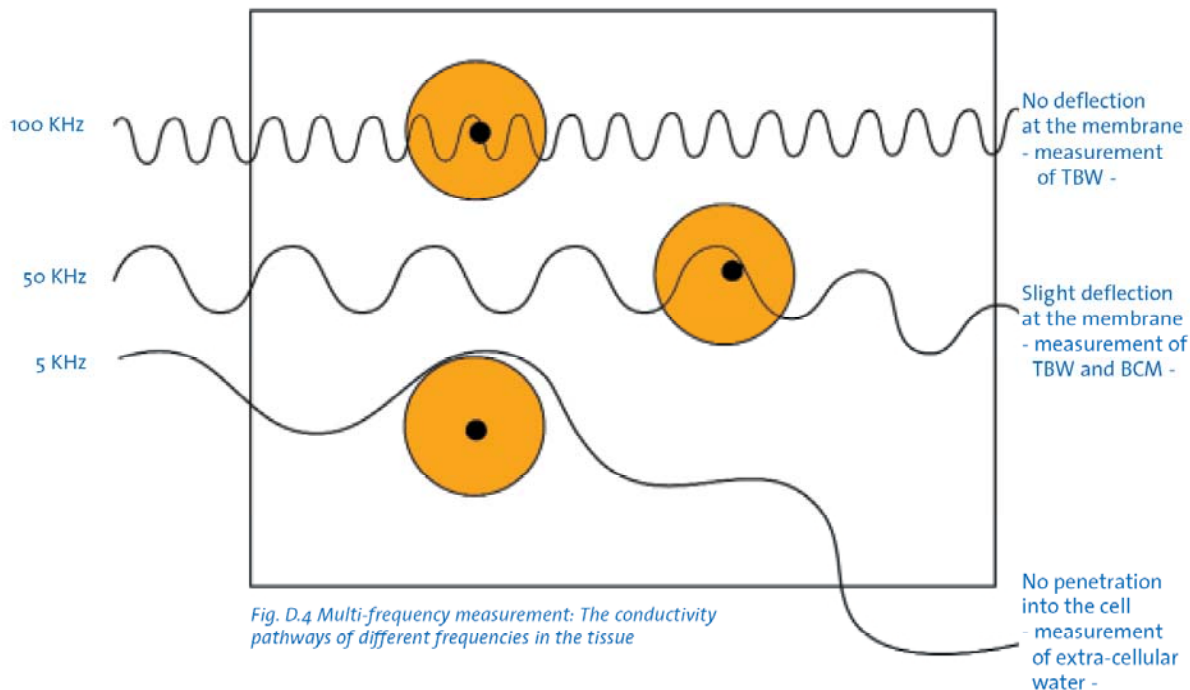


Damaged cell or low cell density –
low phase angle

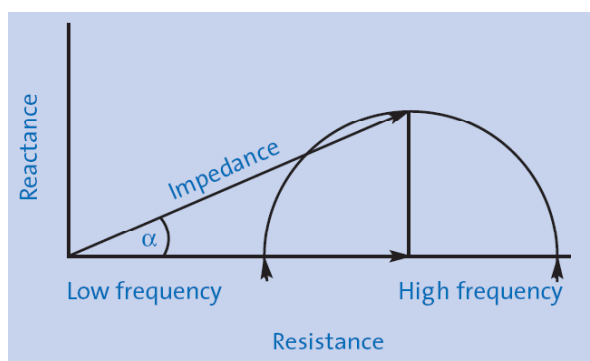


Multifrekventna merenja

Otpornost biološkog provodnika veoma zavisi od frekvencije koja se koristi. Niske frekvencije u opsegu od 1 do 5 kHz, teško da probijaju ćelijsku membranu, prenose informacije o međućelijskom prostoru (vanćelijska masa) i skoro da nema reaktivne komponente pri ovim merenjima (X_c). Ovim frkvencijama se dakle selektivno meri vanćelijska voda u organizmu (extra-cellular water: ECW).



Sa povećanjem frekvencije, fazni ugao se povećava kao i kapacitivni otpor (reaktivnost) i maksimum je dostignut na 50kHz. Sa daljim povećanjem frekvencije reaktivnost i otpornost ponovo opadaju. Ovaj odnos frekvencija i otpornosti je opisan 1968. godine od strane Cole-a.



Ovaj grafički prikaz je nazvan Cole-ov grafik, i pokazuje odnos između otpornosti i reaktivnosti na različitim frekvencijama.

Varijacije u količini vanćelijske mase (ECM) i ćelijske žive mase (BCM) se mogu dobiti ovim multifrekventnim analizama i jasnije izdiferencirati mogući gubitak živih ćelija ili preraspodelu vode u organizmu. Ovakve analize su od posebnog značaja za pacijente sa povećanim nivoom hidracije u bezmasnoj masi (LBM) (gravely ill patients, kidney/heart failure, oedema of various causes) i u bolestima u kojima je praćenje količine vode u organizmu od presudnog značaja (dijalize, intravenozna ishrana).

15.3 Rezultantni parametri analize bioelektrične impedance

1. Otpornost (**R**)

Otpornost je čista otpornost provodnika naizmjeničnoj struji i stoga je obrnuto proporcionalna ukupnoj količini vode u organizmu. Zbog velike količine vode i elektrolita, bezmasna masa je dobar provodnik električne struje, gde je telesna mast veliki otpornik.

Otpornost je izvrsna mera za računanje ukupne količine vode u organizmu kod zdravih ljudi sa normalnom težinom. Najvećim delom nastaje u ekstremitetima, oko 95%, i u odgovarajućoj meri zavisi od promene vode u njima.

Ako je izmereni otpor dosta iznad normalnih okvira, može nastati zbog smanjene količine vode u ekstremitetima (prehlada, visok pritisak), onda je ukupna količina vode zajedno sa bezmasnom masom suviše niska, a ukupna količina masti suviše visoka (u skladu sa ovim metodom izračunavanja).

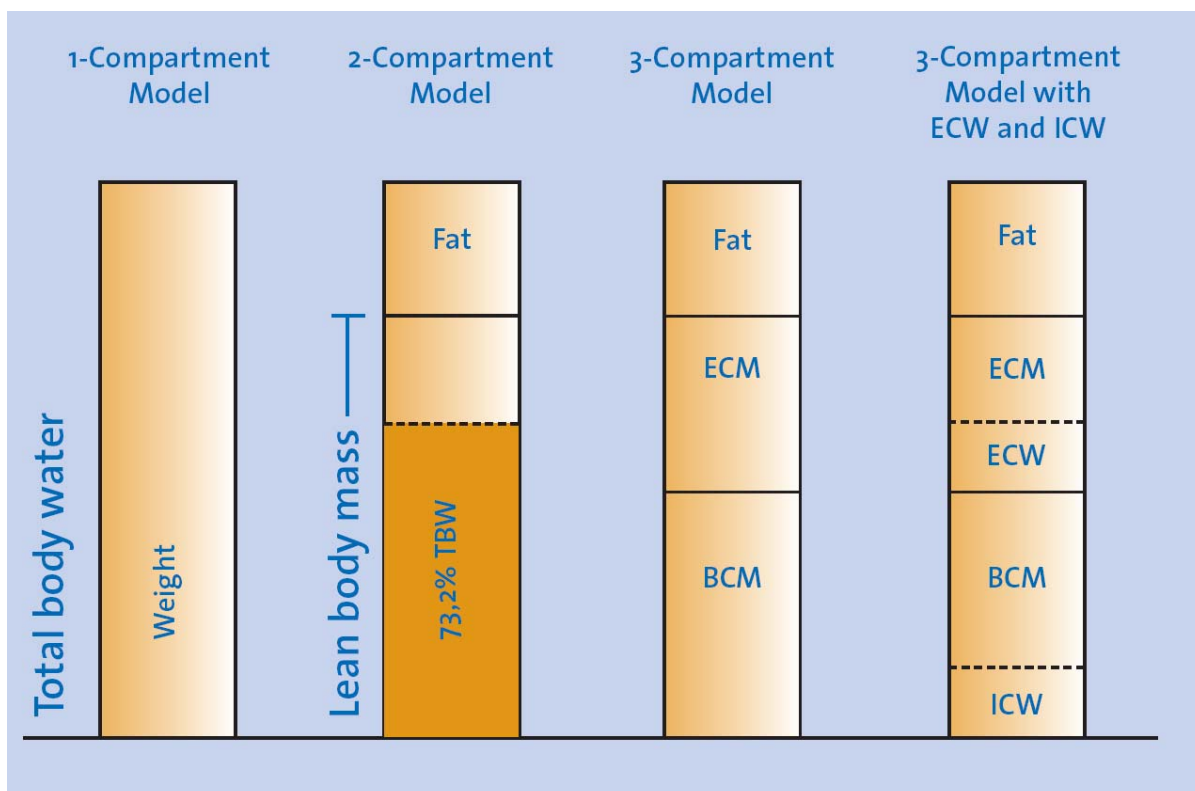
Ako je cirkulacija u ekstremitetima povećana ili zakrčena, otpornost se pomera na dole i voda i bezmasna masa se očitavaju kao suviše velike, a količina masti će se očitati kao suviše niska.

Nekoliko ponovljenih merenja po osobi će samo povećati preciznost ukupne analize strukture tela svakog ispitanika. Treba uvek imati na umu da se u dinamičnom sistemu kao što je ljudsko telo, promene u raspodeli telesnih tečnosti dešavaju praktično svakog sata, dana i da je jedno BIA merenje samo slika trenutnog stanja dinamičnog sistema.

2. Reaktivnost (X_c)

Reaktivnost X_c u ovom slučaju treba posmatrati kao mehanizam suprotstavljanja kondenzatora naizmeničnoj struji. Membrane svih ćelija u ljudskom telu se ponašaju kao mini kondenzatori zbog prirode lipoproteinskih slojeva membrane. Reaktivnost, X_c , u ovom slučaju je mera ukupne mase živih ćelija (BCM)

15.4 Varijable izračunate iz analize bioelektrične impedance



1. Ukupna količina vode (TBW)

Koristeći BIA analize, moguće je ustanoviti vrlo precizno ukupnu količinu vode u organizmu. Voda koja je uneta u digestivni trakt neposredno pre merenja, samim tim nije svarena i uneta u metaboličke procese se ne detektuje merenjem, ali se intravenozno primenjene tečnosti registruju, naravno. Ekstremno nagomilavanje vode i tečnosti u abdominalnoj duplji se takođe ne detektuje jer ta tečnost nije sastavni deo bezmasne mase.

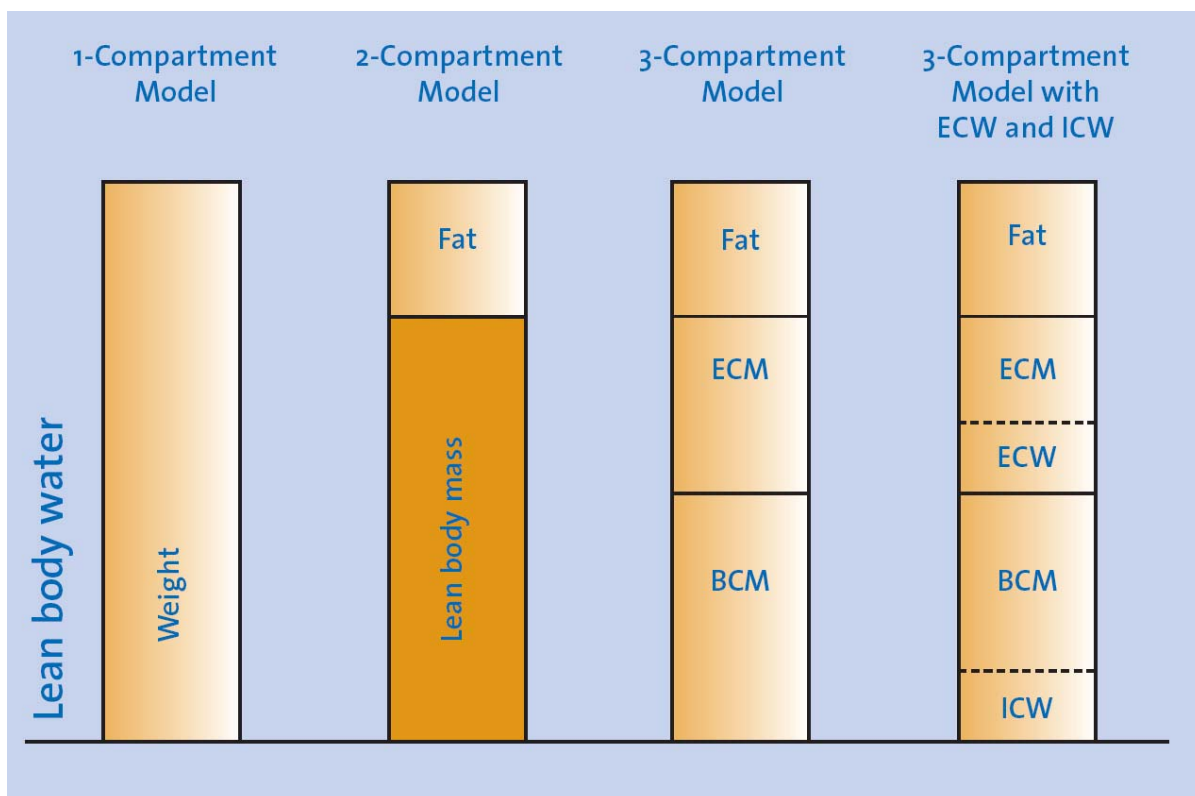
Distribucija TBW

- Normalan raspon za muškarce 50 – 60 %
- Normalan raspon za žene 55 – 65 %
- Za mišićni tip 70 – 80 %
- Gojazni 45 – 50 %

Ekstracelularna tečnost: 43% TBW (limfa, intersticijalna tečnost, transcelularna tečnost, plazma)

Intracelularna tečnost: 57% TBW

Količina vode u organizmu je na prvom mestu uslovljena ukupnom količinom ćelija odnosno količinom mišićnog tkiva. Da bi se diskriminisala akumulirana voda u organizmu, sledeći parametri su neophodni: povećan odnos $\frac{ECM}{BCM}$ i smanjena deoba ćelija su siguran znak akumuliranja tečnosti.



2. Bezmasna masa (LBM)

LBM je količina tkiva koja ne sadrži masti. U bezmasnu masu spadaju dominantno mišići, unutrašnji organi, skelet, i centralni nervni sistem. Iako su morfološki veoma različiti, ovi organi su sa aspekta funkcionalne strukture veoma slični. Sastoje se od ćelija koje su odgovorne za metaboličke i anaboličke procese. LBM se takođe sastoji i od ekstracelularnih tečnosti i matriksa koji sudeluju prenošenju supstrata i metaboličkoj razmeni.

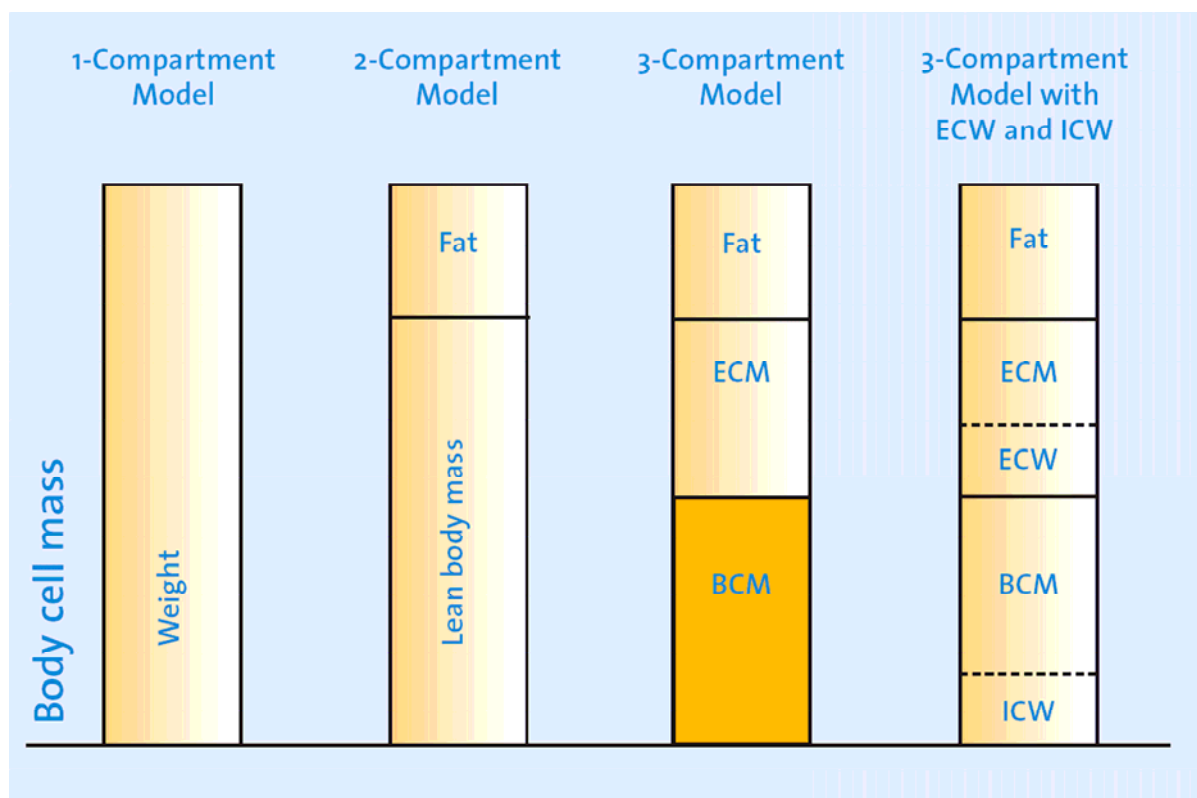
LBM se sastoji od 73% TBW.

$$LBM = \frac{TBW}{0,73}$$

Ova jednačina podrazumeva konstantu hidraciju bezmasne mase i male fluktuacije vode u istoj. Normalna zdrava populacija zapravo poseduje ovakvu homeostazu. Međutim, postoje ekstremi slučajevi kada je izmereno čak i 85% sadržaja vode pri ozbiljnim oticanjima (edemozna stanja), kao i 67% ukupne količine vode kod prekomernih iscrpljivanja tj. dehidratacije. Bitno je znati da deca imaju veći procenat vode od odraslih.

U slučaju kada je količina LBM patološka, softver za izračunavanje će ostale komponente pogrešno izvesti (jer je optimizovan za normalnu populaciju, uglavnom), tada je neophodno da stručnjak koji sprovodi merenja se fokusira na sirove podatke sa sprave (R , X_c , α ili φ).

Dva logička i funkcionalna odeljka LBM su: BCM kao motor organizma i ECM kao transportni medijum i vezivno tkivo.



3. Ukupna količina živih ćelija u organizmu (BCM)

BCM je kompletna količina metabolički aktivnih ćelija u organizmu. Ova varijabla dobijena BIA proračunima se najviše odnosi na funkcionalno shvatanje i globalnu raspodelu aktivnih ćelija po organizmu i ne odnosi se na bilo kakvo anatomsko sagledavanje respodele. Vezivno tkivo je u BCM uključeno u malom procentu, gde je pri tome mišićno tkivo sa najvećim procentom prisutno.

Adipociti (masne ćelije), nisu uračunati u sastav BCM jer su metabolički veoma neaktivne ćelije. Ukupna količina adipocita je prikazana u posebnom odeljku BIA analize.

Sledeći tipovi tkiva su uključeni u BCM:

- Ćelije mišićnog sistema
- Ćelije srčanog mišića
- Ćelije glatkih mišića
- Ćelije unutrašnjih organa
- Ćelije gastrointestinalnog trakta
- Ćelije centralno-nervnog sistema
- Ćelije žlezda sa unutrašnjim lučenjem
- Ćelije krvi

BCM je centralni parametar po kome se prati globalno stanje organizma u smislu ishrane, zato što kompletan metabolički rad nose te ćelije. Takođe, BCM daje i precizne podatke o ukupnim kalorijskim zahtevima tela. Nezavisno od katabolizma, promet energije u BCM podrazumeva i anabolizam koji je zadužen za produkciju i održavanje struktura ćelija kao što su vezivna tkiva, kosti i hrskavičavo tkivo, transportni enzimi i proteini.

BCM je sastavni deo bezmasne komponente tela. Genetski faktori (tip konstitucije), godine utiču na količinu BCM svakog čoveka. Mladi sa visokim nivoima fizičke aktivnosti (na primer aktivni sportisti, takmičari) treniraju svoje mišiće u fazi sazrevanja njihovog tela. Često je kod ovakvih ljudi moguće naći visoke nivoe BCM, kao sliku trajne hipertrofije mišićnih ćelija. Kod takmičara mogući su fiziološki okviri do 60% udela BCM u LBM. Ukupna količina metabolički aktivnih ćelija zavisi i od godina starosti. Kod dece i mladih nije kompletno razvijen aktivni ćelijski aparat i BCM ne uzima više od 50% od LBM. Mišićne ćelije završavaju svoj rast i razvoj sa završetkom longitudinalnog razvoja, tako da odrasli i zdravi ljudi imaju više od 50% udela BCM u LBM. Ljudi treće dobi što zbog svoje neaktivnosti što zbog sporije resinteze tkiva i deoba ćelija zajedno sa oksidacijom kompletnog živog aparata u telu imaju oko od 40 do 45% udela BCM u LBM.

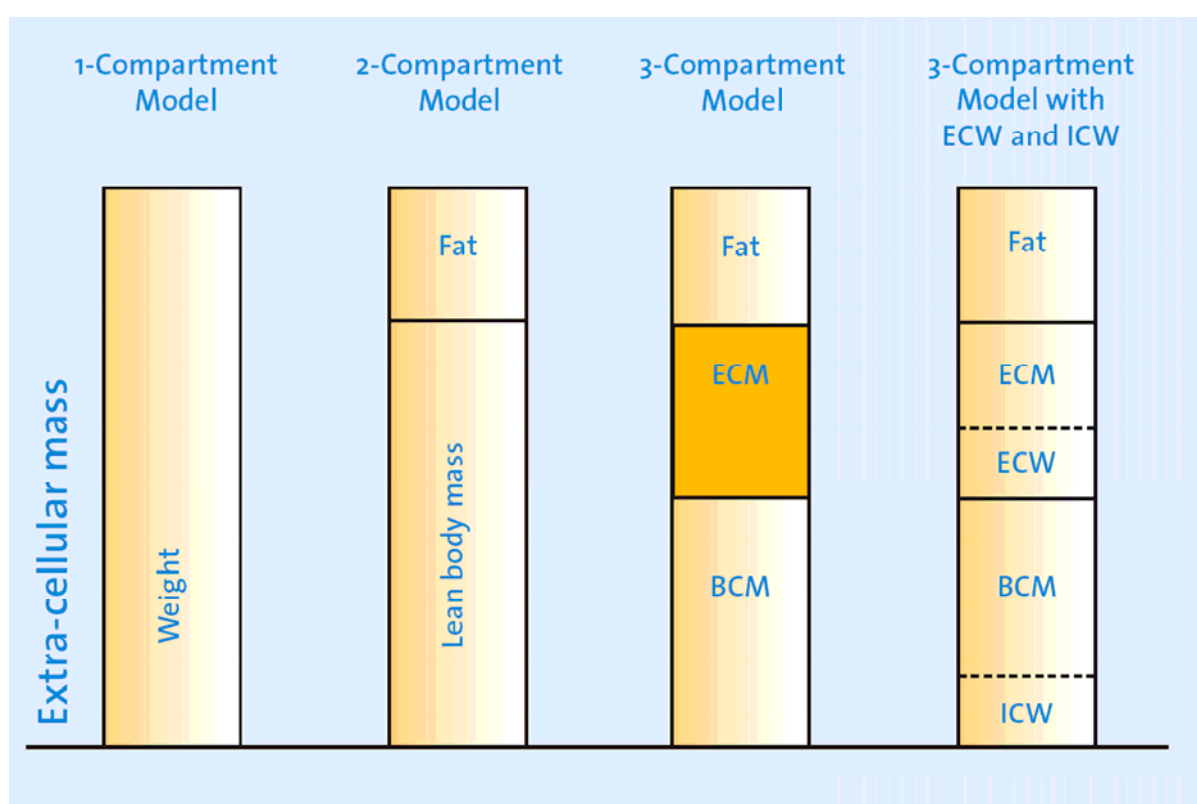
Normalne vrednosti količine živih ćelija se ustanovljuju odnosom udela ove količine u bezmasnoj masi ($X\%$ BCM od LBM). U opsegu od 18 do 75 godina života muškarac je na nivoima od 53 do 59%, žena funkcioniše na nivoima od 50 do 56% BCM u LBM (idealne vrednosti). Ako bi se morali opredeliti za neku od metoda koja bi jednim merenjem ovo izračunala, onda samo bioelektrična impedanca osjetljiva na fazni ugao mora biti uzete u obzir.

Održavanje količine BCM je centralni proces u svim ozbiljnim planovima hranjenja i praćenja stanja organizma. Čak i u redukcionim dijetama i režimima vežbanja, gubitak BCM ne sme biti veći od

20%. I ako se to desi, nadomeštanje BCM je daleko sporije od nagomilavanja masti u telu koje će organizam pokušati kao odgovor na brz gubitak živih ćelija. U ovim slučajevima se lako detektuje eventualni prethodni gubitak živog ćelijskog aparata jer tkivo koje je nadomešteno u procesu čuvanja ukupnog volumena tela se prostom palpacijom karakteriše kao testasto, želatinast sloj potkožnog masnog tkiva.

Što se tiče detektovanja autentičnog gubitka količine živog ćelijskog aparata (broj ćelija manji a ne privremeno izbacivanje intracelularnih tečnosti), isti se potvrđuje sledećim parametrima koji se moraju dobiti u isto vreme jednim BIA merenjem.

- Pad faznog ugla (α)
- Pad reaktivnosti (X_c)
- Gustina ćelija manja (smanjenje u procentima)



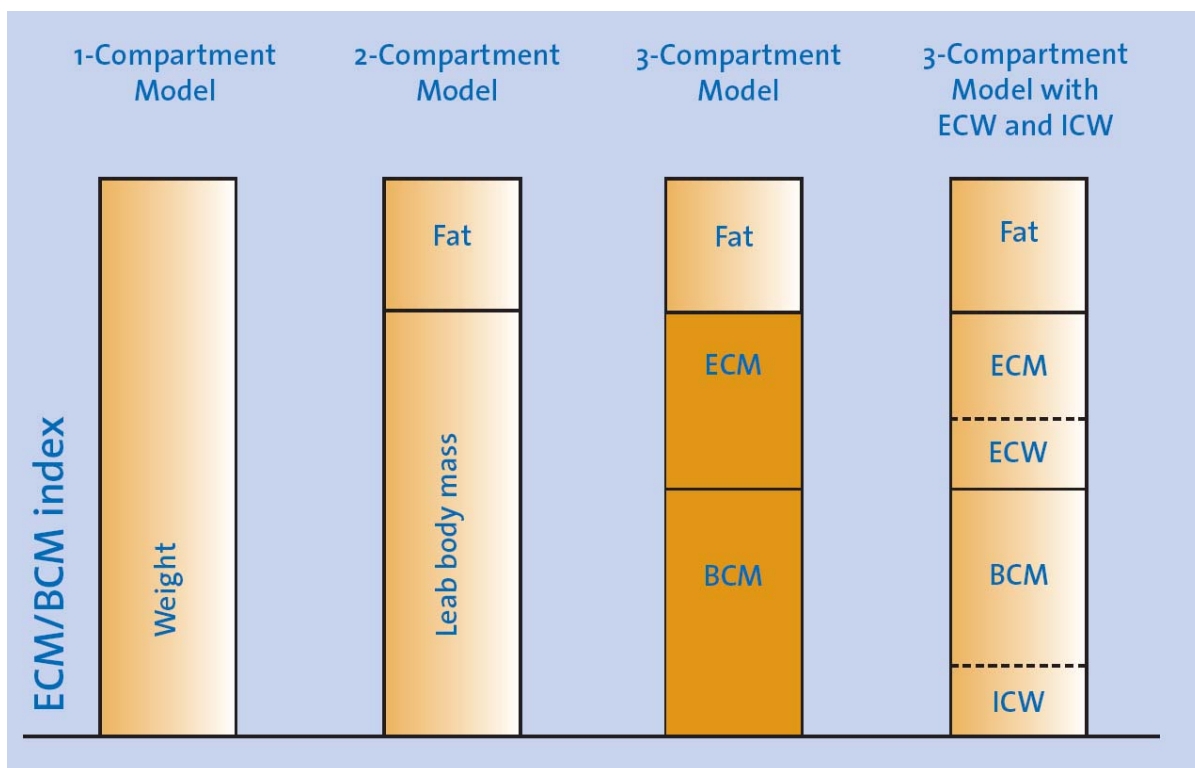
4. Vanćelijska masa (ECM)

Deo LBM koji se nalazi van ćelija BCM se definiše kao ekstra celularna masa, ECM. Neizmenljivi i stalni delovi ECM su strukture vezivnog karaktera: kolagen, elastin, koža, tetive, fascije i kosti. Tečni odeljak ECM konstitušu: plazma, intersticijska tečnost i transcelularna voda.

Tečnosti koje ispunjavaju telesne šupljine se karakterišu kao transcelularna voda, i ona podrazumeva cerebrospinalnu tečnost i sadržaj gastrointestinalnog lumena. Transcelularna voda u patološkim slučajevima može da bude edem na plućima ili efuzija perikarda.

Transcelularna voda se ne može detektovati standardnom BIA procedurom iz metodoloških razloga. Ovo je zato što oko 95% izmerene otpornosti potiče iz ekstremiteta. U proračunima za telesne

tečnosti, trup učesvuje sa 5% u ukupnoj otpornosti. U situaciji da pričamo i o promenama od 5l u predelu trupa, ta količina tečnosti može promeniti otpornost sa samo nekoliko oma na primer, a ukupna otpornost će ostati nepromenjena. Ovde treba naglasiti da promene u težini koje ne utiču na ukupnu otpornost tela potiču isključivo od promena u količinama masnih depoa. U slučaju abnormalnih akumuliranja vode u abdomenu ili trudnoće, BIA metoda ove promene karakteriše kao promene u masnoj komponenti (depoi).



5. ECM/BCM indeks (**ECM/BCM index**)

Odnos vanćelijske i ćelijske mase je drugi najbitniji pokazatelj pri sagledavanju nutritivnog statusa. Kod zdravih ljudi ćelijska masa je neznatno veća od vanćelijske mase tako da je ovaj indeks malo manji od 1.

Fini pokazatelji loše ishrane su okarakterisani kao smanjenje BCM sa združenim povećanjem vanćelijske mase; bezmasna masa u ovom slučaju ostaje neporomenjena. Povećanje ECM/BCM indeksa ukazuje na prve znake narušene nutritivne ravnoteže.

Povećanje ECM/BCM indeksa se može desiti iz tri razloga:

a. **katabolizam BCM**

Katabolizam u bilo kom delu tela dovodi do smanjenja ukupnog ćelijskog aparata. Telo u ovom slučaju nadomešta gubitke tako što stornira određene količine vode u vanćelijski prostor da bi se očuvala ukupna količina vode u organizmu konstantnom.

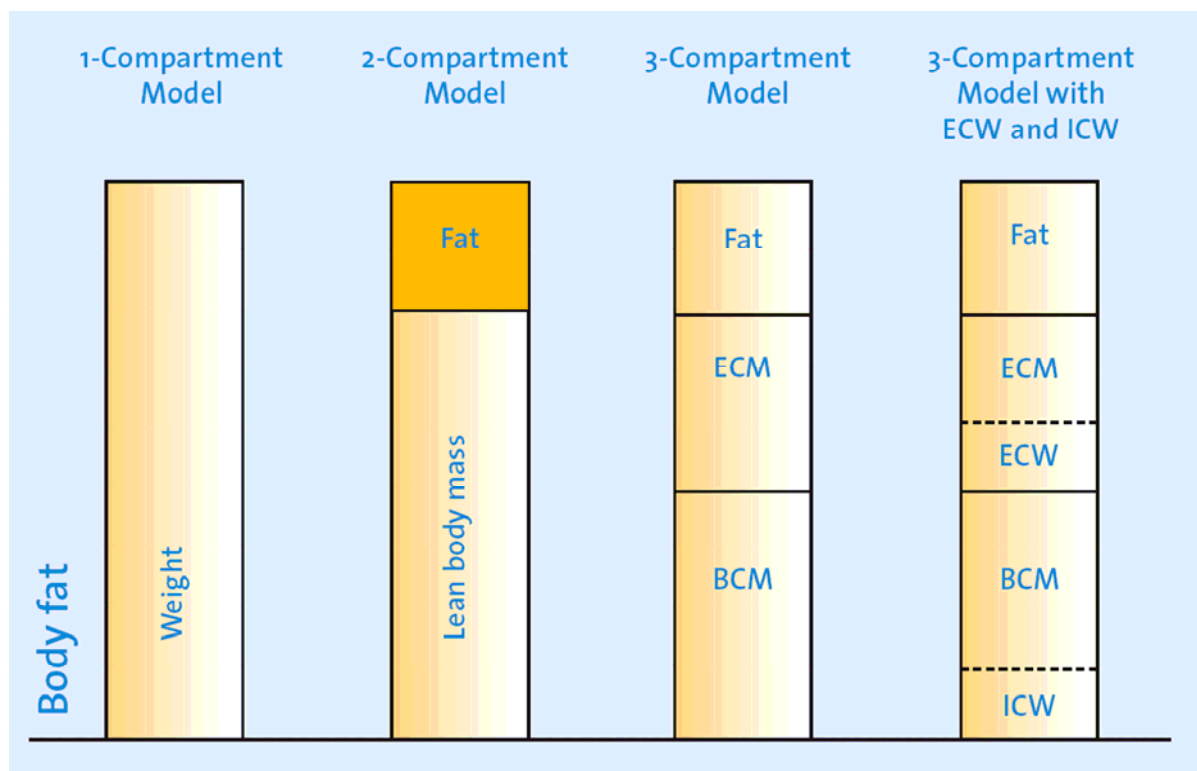
b. **Preraspodela vode u ECM zbog hiperinsulizma**

U stanjima hroničnog hiperinsulizma i metaboličkog sindroma, natrijum i retencija vode povećavaju svoju količinu uglavnom u vanćelijskoj masi.

c. **Odlaganje vode u ECM zbog drugih razloga**

Premeštanje vode u ECM može takođe nastati i bez promena u telesnoj težini, na primer kao

propratan efekat pri ekstremnim gubicima vode ili u kataboličkim procesima u BCM. ECM/BCM indeks je u ovom slučaju najosetljiviji parametar.



6. Telesna mast (fat mass, **FM**)

Ranije navedna gustina masti od 0,9gr/ml, i osobina da se ponaša kao izolator prema naizmjeničnoj struji su činjenice koje definišu mast na određeni način u BIA metodu. Masno tkivo nema kapacitivni otpor (reaktivnost, X_c) tako da se količina masti jednostavno računa kao razlika mase tela i bezmasne mase (koja se električno lepo izdvaja)

7. (%) - Ćelijska frakcija

BCM i ECM su morfološki, funkcionalno i kvantitativno tesno povezane i zajedno čine bezmasnu komponentu ukupne mase tela.

Procenat ćelija u ovom aspektu sagledavanja je količina ćelija od bezmasne komponente koja pripada BCM i stoga ovaj parametar dobro oslikava nutritivni status i kondiciju. Takođe je dobar parametar pri procenjivanju kvaliteta bezmasne mišićne mase.

Normalni nivoi procenta ćelija za muškarce: 53 – 59%

Normalni nivoi procenta ćelija za žene: 50 – 56%

Loša ishrana kao i hiperhidracija smanjuje ovaj procenat.

16. Uporedna analiza programa bioelektrične impedance i programa po Matejki

16.1 Predstavljanje istraživanja i hipoteza

Za potrebe ove uporedne analize izmerena je struktura tela 8 veslača veslačkog kluba Partizan (selekcija partizan1) i 2 veslača iz veslačkog kluba Grafičar. Prosečna starost veslača je 18,9 godina, sa prosečno 5,3 godina sportskog staža, prosečne telesne visine 187,42cm i prosečne telesne mase 83,03kg.

rbr.	Godine starosti	Godine staža	TV(cm)	TM(kg)
1	18	2	188.5	88.2
2	18	8	189.9	88.5
3	20	8	184.5	87.1
4	17	4	188.3	80
5	17	3	190.4	80
6	19	5	187.6	84.4
7	17	4	190.2	84.2
8	17	2	191.8	77.2
9	26	11	171	77.7
10	20	6	192	83
srednja vrednost	18.9	5.3	187.42	83.03
opseg	17-26	2-11	171-192	77.2-88.5

Osnovne informacije analiziranog uzorka.

Cilj ove analize je da uporedi iste varijable ove dve metode i time pokaže razlike u pristupu. Računate su apsolutne razlike ovih metoda.

Varijable izračunate iz analize bioelektrične impedance: **FM, BCM, LBM.**

FM predstavlja ukupnu količinu masnog tkiva, BCM ukupnu količinu živog ćelijskog aparata i reprezentuje mišićno tkivo kao dominantno u okviru BCM (zato upoređujemo BCM sa M) i LBM kao bezmasna masa, onaj deo tkiva koji se dobija prostim izuzimanjem FM.

Varijable izračunate iz analize po metodi Matejka: **D, M, FFMm.**

D je ukupna količina masti, M reprezentuje ukupnu količinu mišićnog tkiva i FFMm je varijabla izvedena za potrebe ovog istraživanja i predstavlja analogiju LBM iz analize bioelektričnom impedancom i ustanovljena je jednostavnim izuzimanjem D iz TM.

Hipoteze:

- FM bi trebalo da bude veća od D jer je metoda matejka direktno vezana za merenje debljine kožnih nabora, a BIA to analizira protokom struje kroz celo telo.
- Trebalo bi da BCM bude uvek veća od M jer obuhvata kompletan živ ćelijski aparat

- Za LBM se očekuje da prikazuje manje vrednosti ako se pokaže da BIA odvaja više masnog tkiva u FM nego što to radi matejka za D.

16.2 Metode i način prikupljanja podataka

Svim ispitanicima su telesna visina (TV) i telesna masa (TM) izmerene jednom i korišćene su za obe metode. Potom se pristupilo rutinskom uzimanju cirkularnih mera, debljina kožnih nabora za potrebe metode po matejki. Prikupljanje mernih parametara bioelektrične impedance usledilo je kraju.

Daljim proračunima izdvojene su varijable relevantne za ovu analizu. Za potrebe računanja sastava tela po metodu bioelektrične impedance korišćen je multifrekventni, osetljiv na fazni ugao, analizator firme Data Input Gmgh (Deutschland) sa soferom Nutri 3.



Nutri 3
File Participant Internet Help

bezbradica marko 7/26/1990

Participant base
Participant measurement
Protocols (day/month)
Export

Archive **New**

Name First name Label

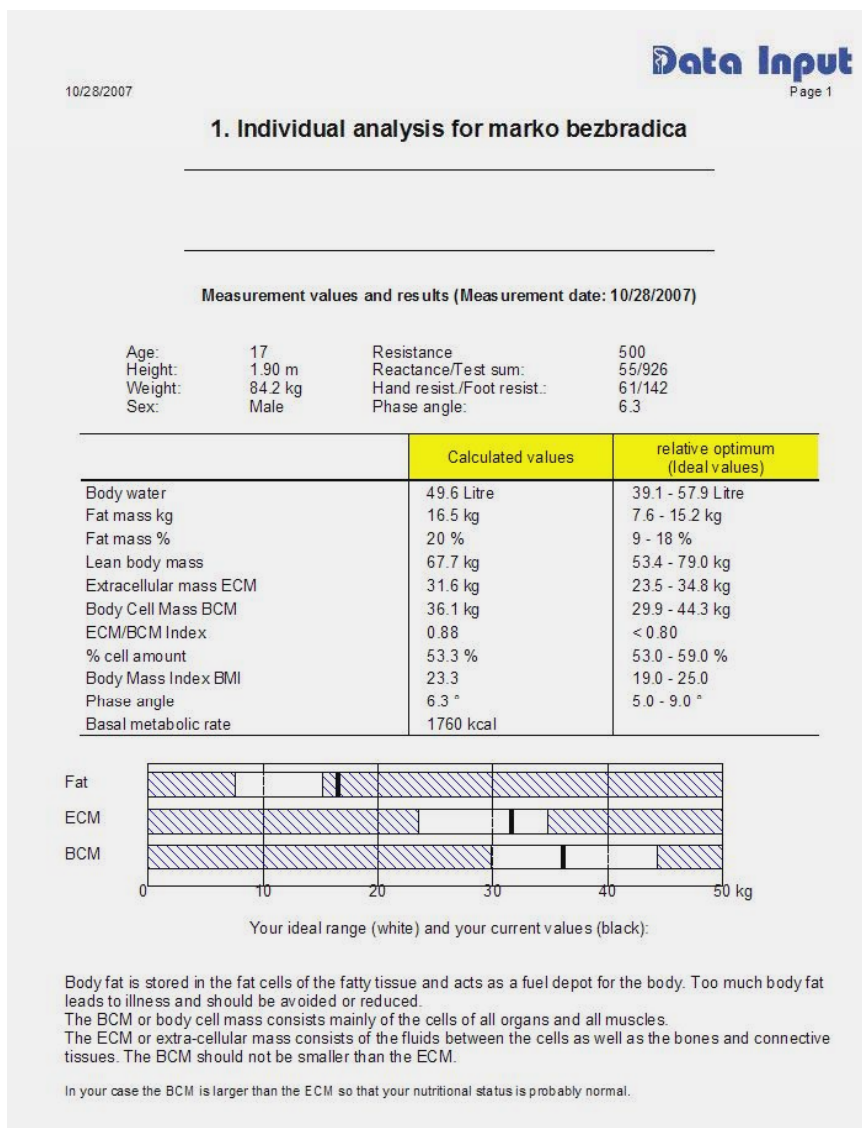
Name	First name	Date of birth	Postcode	Town	Measurements
bezbradica	marko	7/26/1990			1
bulicic	nenad	8/9/1988			1
grujevic	milos	5/9/1989			1
kukic	filip	2/13/1989			1
petrovic	aleksandar	5/16/1990			1
smiljanic	uros	1/14/1987			1
stankovic	lazar	4/13/1987			1
susnic	martin	3/26/1981			1
vukovic	miljan	10/1/1990			1
zlatarov	vuk	10/17/1990			1

Data **Anamnesis**

Name: bezbradica Date of birth: 7/26/1990
 First name: marko Label:
 Street:
 Postcode: Town:
 Tel.: Fax:
 Mobile phone: E-mail:
 Sex: Female Male

Delete Adopt change

10/28/2007 5:11 PM 1169 x 832 (1680 x 1050)

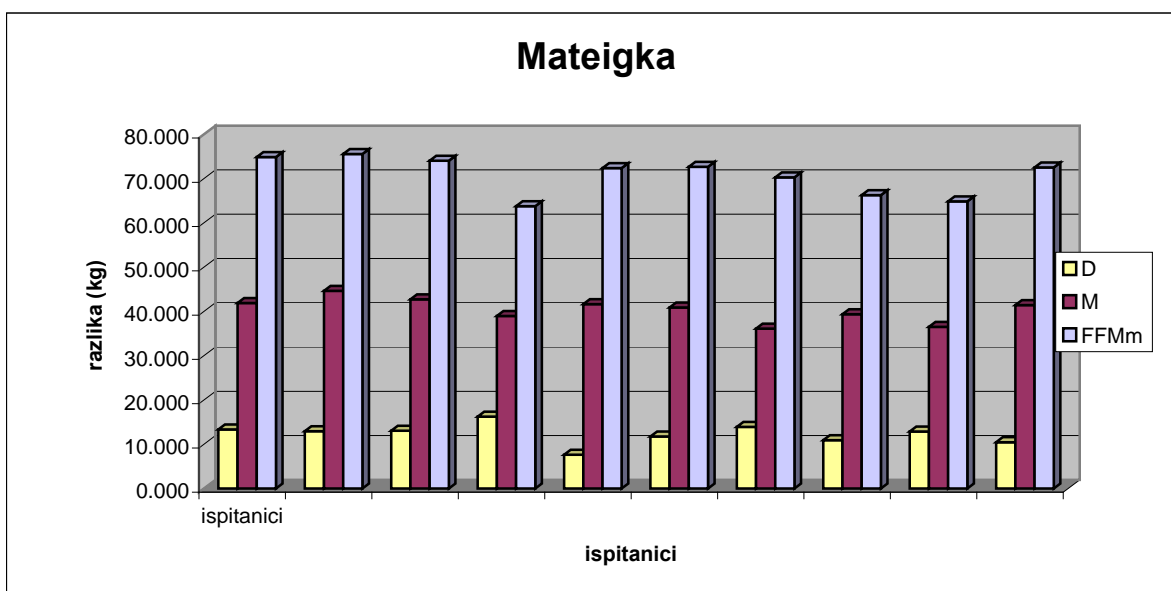
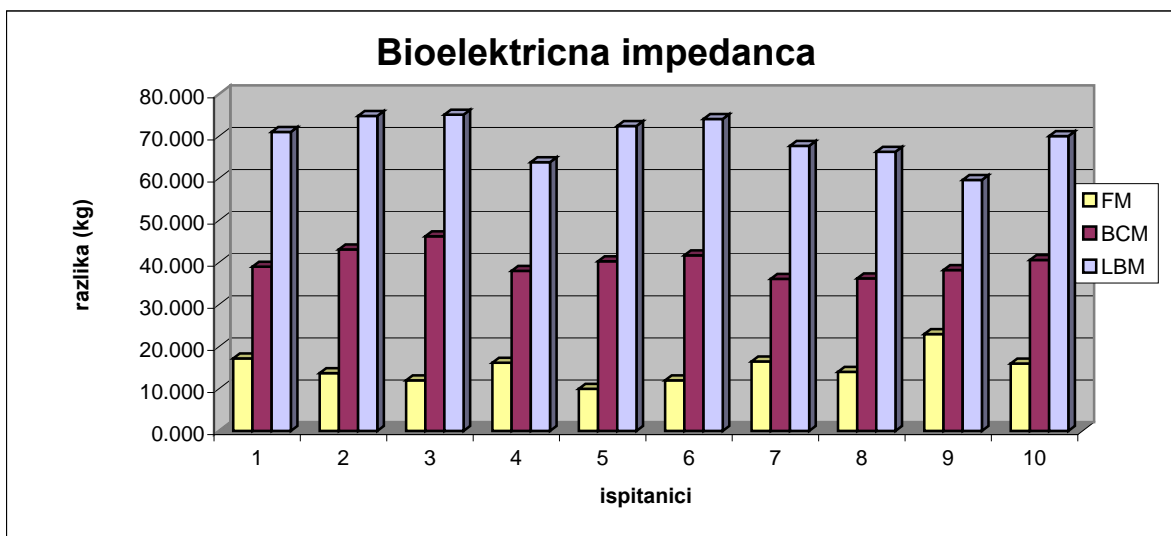


Varijable izdvojene za potrebe analize:

BIA	FM(kg)	BCM(kg)	LBM(kg)	Matejka	D(kg)	M(kg)	FFMm(kg)
r.br.				r.br.			
1	17.200	39.000	71.000	1	13.336	41.899	74.864
2	13.700	43.100	74.800	2	12.962	44.659	75.538
3	12.000	46.200	75.100	3	13.065	42.727	74.035
4	16.200	38.000	63.800	4	16.251	38.964	63.749
5	10.000	40.300	72.400	5	7.645	41.634	72.355
6	12.000	41.700	74.100	6	11.761	40.888	72.639
7	16.500	36.100	67.700	7	13.937	36.122	70.263
8	14.000	36.200	66.300	8	10.932	39.375	66.268
9	23.000	38.200	59.600	9	12.861	36.499	64.839
10	16.000	40.600	70.000	10	10.473	41.425	72.527

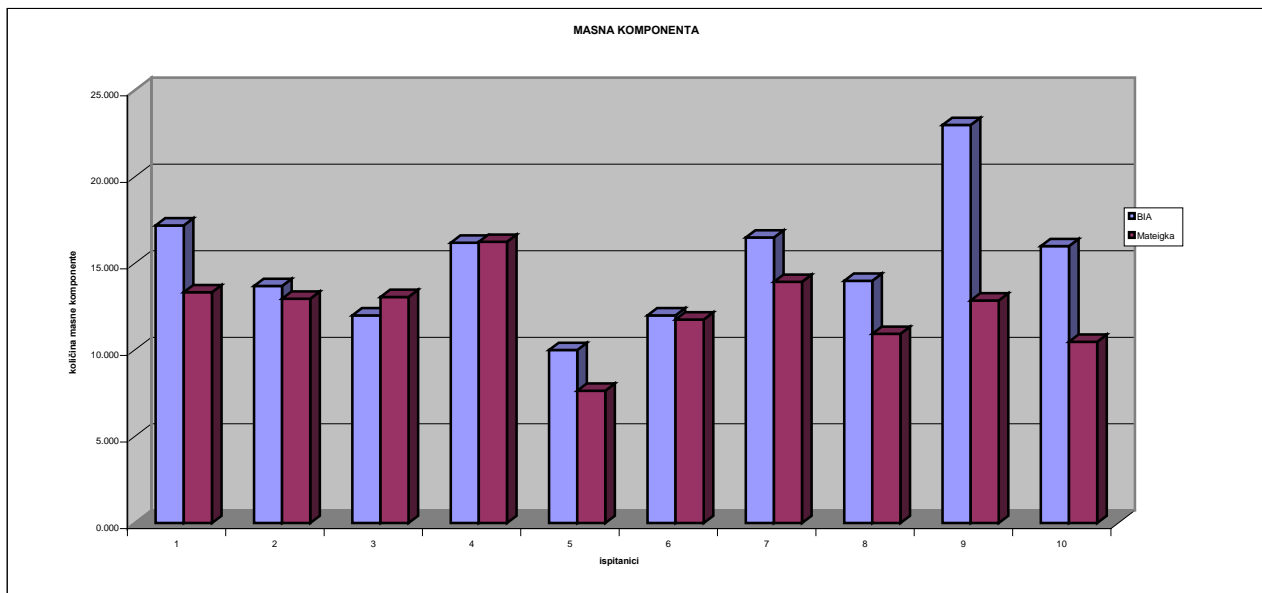
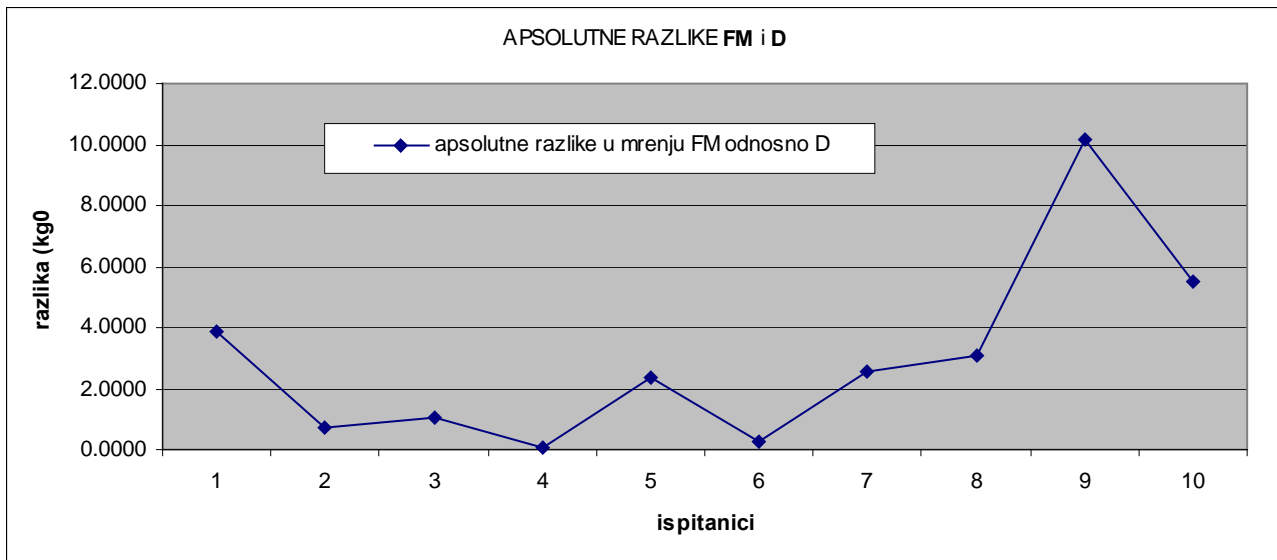
17. Diskusija istraživanja i zaključak

Zbirni pikaz dobijenih varijabli oba metoda.



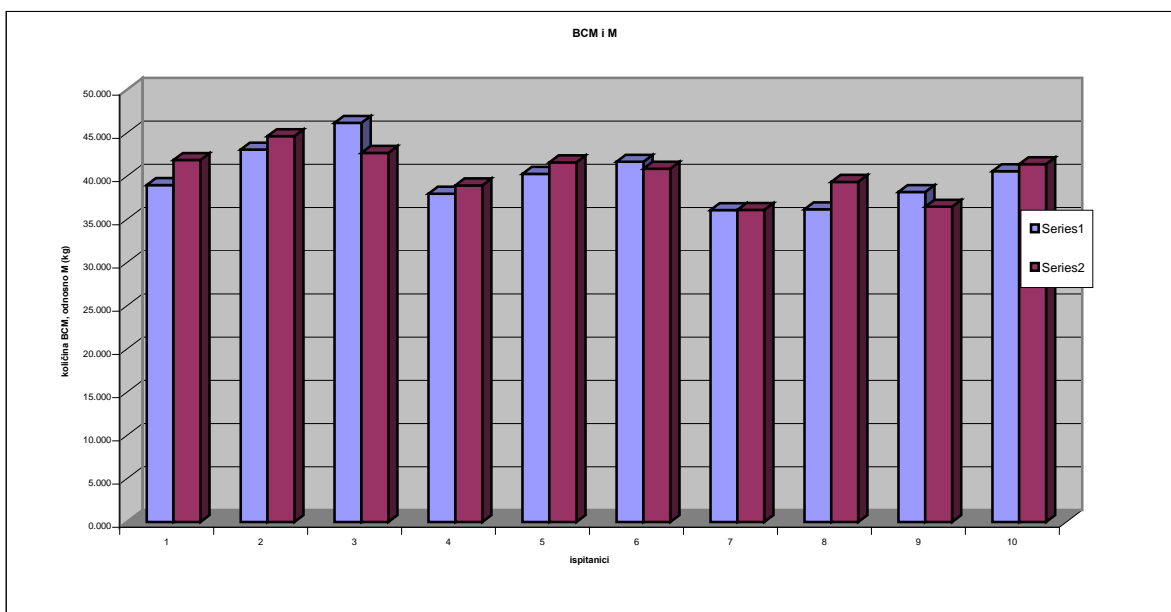
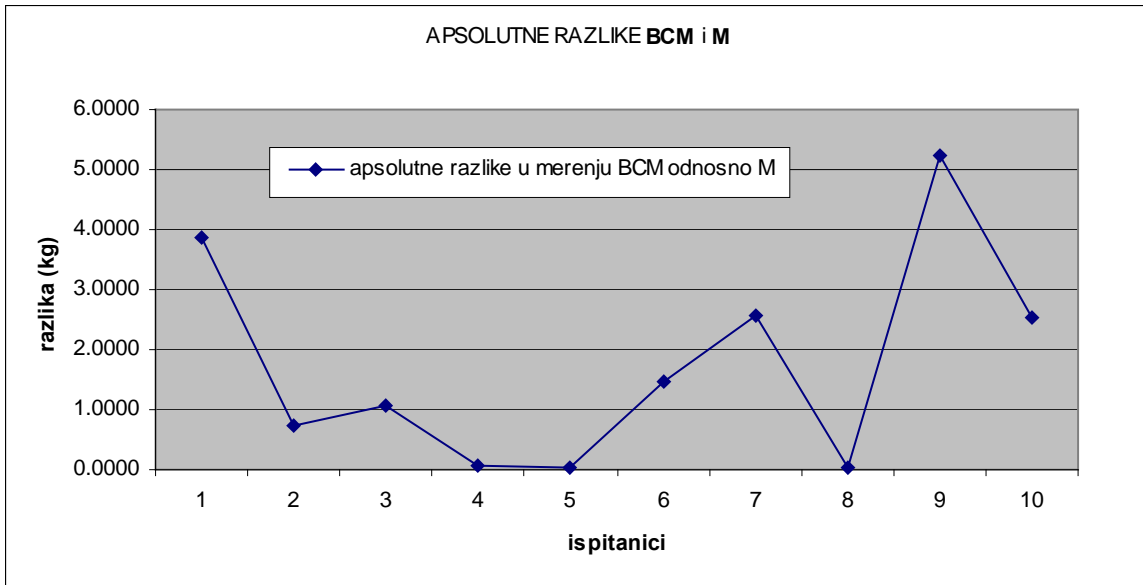
Upoređivanje apsolutnih razlika u merenju uporedivih varijabli.

	Razlika FM i D (kg)	Razlika BCM i M(kg)	Razlika LBM i FFM (kg)
1	3.8640	2.8990	3.8640
2	0.7380	1.5590	0.7380
3	1.0650	3.4730	1.0650
4	0.0510	0.9640	0.0510
5	2.3550	1.3340	0.0450
6	0.2390	0.8120	1.4610
7	2.5630	0.0220	2.5630
8	3.0680	3.1750	0.0320
9	10.1390	1.7010	5.2390
10	5.5270	0.8250	2.5270

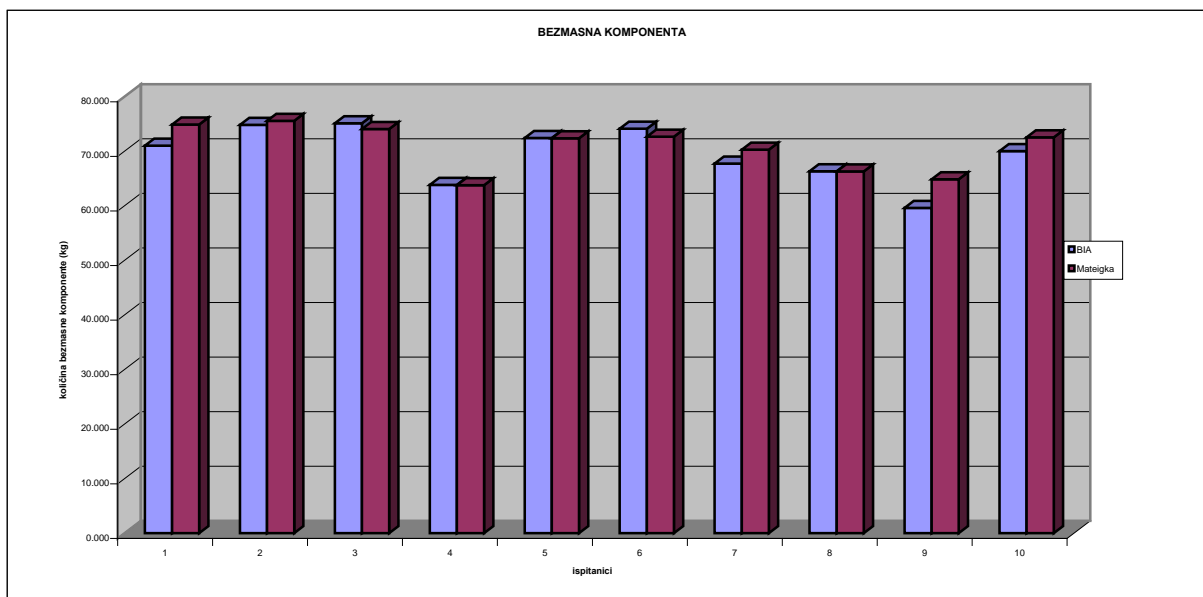
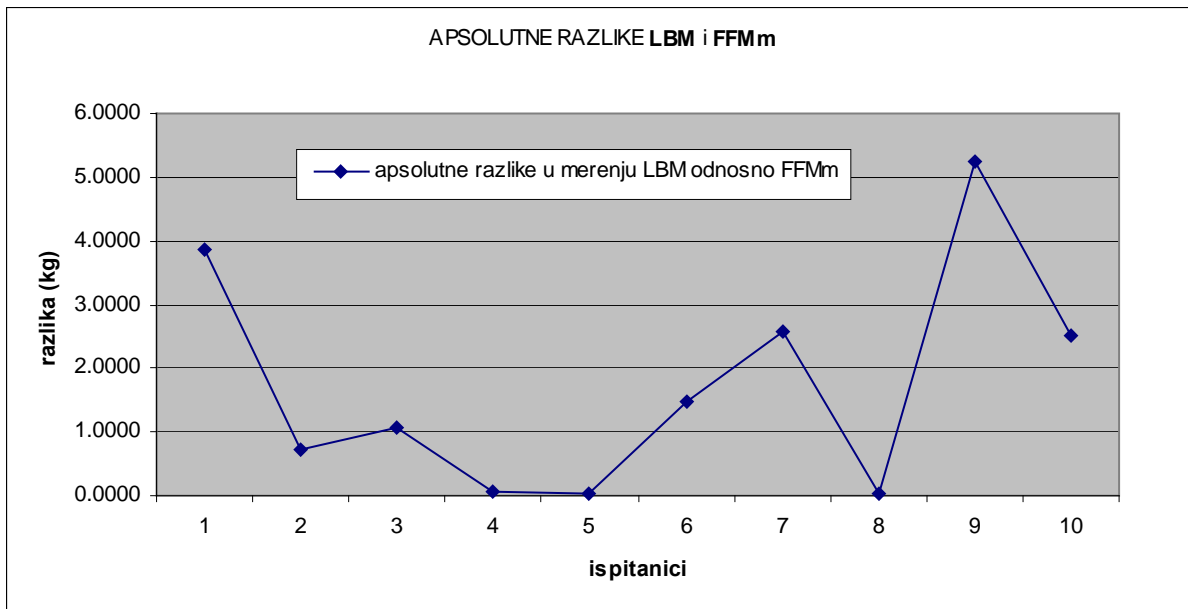


Značajna razlika u masnoj komponenti je prisutna kod dvojice ispitanika na kraju serije, i zanimljivo je da su obojica iz drugog kluba. Prvih osam ispitanika je iz velikog kluba (iz prve selekcije od tri takmičarske) i kontinuirano treniraju. Poslednja dvojica ispitanika su iz malog kluba, i zbog manjka materijalnih sredstava nisu održavali kontinuitet u treniranju. Verovatno su iz tog razloga akumulirali više masnih depoa, provocirajući pomenuti mehanizam odbrane tela radi čuvanja zapremine tela.

Predpostavka da je matejka manje osetljiva na masti ispod nivoa kožnih nabora se pokazala ispravnom, jer je dala veće količine BCM odnosno M, i veće količine LBM odnosno FFMm, združeno.



Druga hipoteza se pokazala kao neosnovana, kao što se vidi na grafiku u sedam od deset slučajeva je BCM manji od M.



LBM se pokazala kao manja vrednost u sedam od deset slučajeva, čime je po drugi put potvrđena neosetljivost matejke na masti unutar tela ispod kožnih nabora.

18. Pitanja i odgovori

Nekoliko sledećih činjenica koje se odnose direktno na analzu bioelektričnom impedancom trebaju biti vodilja svima onima koji je eksploatišu. Forma pitanja i odgovora se najlakše pamti, tako da se opredeljujem za nju.

1. U kojoj meri i na koji način, velika količina masnog tkiva kod nekog čoveka može uticati na rezultate bioelektrične impedance?

Masno tkivo može uticati na rezultatne parametre bioelektrične impedance kada njegova zapremina prelazi zapreminu mišićnog tkiva. Rezultati u ovom slučaju su blago precenjivanje FFM (oko +3kg) kada je jednačina bioelektrične impedance kalibrisana prema populaciji koja nije gojazna. [17]

2. Koliko je validna procena količine mišićnog tkiva u ekstremitetu bioelektričnom impedancom?

Indeksom impedance ($L2/Z$) za segmente tela utvrđeno je (sa visokim nivoom korelacije prema MRI sa $r = 0,902-0,976$; $P < 0,05$) da BIA daje vrlo pouzdane procene količine mišićnog tkiva segmentualnim merenjem. [21]

3. Čime se najpreciznije utvrđuje količina masnog tkiva u telu čoveka?

DEXA daje ekstremno precizne podatke o količini masnog tkiva.[12] DEXA se u israživačkom radu najčešće koristi kao referentno merenje.

Literatura:

1. **Clarys JP**, Martin AD, Marfell-Jones MJ, Janssens V, Caboor D, Drinkwater DT.: Human body composition: A review of adult dissection data. Department of Experimental Anatomy, Vrije Universiteit Brussel, Brussels, Belgium.
2. **Council of Europe**, Committee of ministers (1987): Recommendation no. R (87) 9 of the committee of ministers to member states: On the Eurofit tests of physical fitness (Adopted by the Committee of Ministers on 19 May 1987 at the 408th meeting of the Ministers' Deputies)
3. **Milica Sinobad** (1999): Poređenje antropometrijskih karakteristika i telesnog sastava između školske dece i košarkaša istog uzrasta, Institut za anatomiju, Medicinski fakultet, Beograd
4. **Eremija M.** (1997): Biologija razvoja čoveka sa osnovama sportske medicine (praktikum). Beograd, Publik press.; 1-62
5. **EN Rathbun, N Pace.** (1945): The determination of total body fat by means of the body Specific gravity - Journal of Biological Chemistry
6. **Josef Brožek**, Francisco Grande, Joseph T. Anderson, Ancel Keys: Densitometric Analysis Of Body Composition: Revision Of Some Quantitative Assumptions. Laboratory of Physiological Hygiene, University of Minnesota, Minneapolis
7. **Timothy A Welborn**, Satvinder S Dhaliwal, and Stanley A Bennett (2003): Waist–hip ratio is the dominant risk factor predicting cardiovascular death in Australia.; 179 (11/12): 580-585
8. **Steven B. Heymsfield**: Body Composition and Aging: A Study by In Vivo Neutron Activation Analysis
9. **Robert B. Rossa**, Bret Goodpasterc, David Kelleyc And Fernando Boadad (2000): Magnetic Resonance Imaging in Human Body Composition Research: From Quantitative to Qualitative Tissue Measurement. Annals of the New York Academy of Sciences 904:12-17
10. **Masayuki Kamba**, Koji Kimura, Masahiko Koda, and Toshihide Ogawa (2001): Proton magnetic resonance spectroscopy for assessment of human body composition
11. **Joan M. Conway** (1998): A new approach for the estimation of body composition: Infrared interactance
12. **Willa C. Fornetti**, James M. Pivarnik, Jeanne M. Foley, and Justus J. Fiechtner (1999): Reliability and validity of body composition measures in female athletes. Departments of Kinesiology and Osteopathic Surgical Specialties, Michigan State University, East Lansing, Michigan 48824
13. **Guyton A**, Hall J, (1999): Medicinska fiziologija. Beograd: Savremena administracija;1033-1043
14. **Loran M.** Salamone,¹ Thomas Fuerst,² Marjolein Visser,³ Marialice Kern,⁴ Thomas Lang,² Maurice Dockrell,⁵ Jane A. Cauley,¹ Michael Nevitt,⁵ Francis Tylavsky,⁶ and Tim G. Lohman⁷: Measurement of fat mass using DEXA: a validation study in elderly adults. *1Department of Epidemiology, University of Pittsburgh, Graduate School of Public Health, Pittsburgh, Pennsylvania 15261; 2Department of Radiology, and 5Prevention Sciences Group, University of California, San Francisco 94105; 4Department of Kinesiology, San Francisco State University, San Francisco, California 94132; 3Epidemiology, Demography and Biometry Program, National Institute on Aging, Bethesda, Maryland 20892; 6Department of Preventive Medicine, University of Tennessee, Memphis, Tennessee 38105; and 7Department of Physiology, College of Medicine, University of Arizona, Tucson, Arizona 85721*(1999)
15. **Clarys J. P.** ; Martin A. D. ; Marfell-Jones M. J. ; Janssens V. ; Caboor D. ; Drinkwater D. T.: Human Body Composition : A Review Of Adult Dissection Data. American journal of human biology (Am. j. human biol.) ISSN 1042-0533
16. **Cynthia Bartok** and Dale A. Schoeller: Estimation of segmental muscle volume by bioelectrical impedance spectroscopy. Department of Nutritional Sciences, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin 53706
17. **Richard N.** Baumgartner,¹ Robert Ross,² and Steven B. Heymsfield³: Does adipose tissue influence bioelectric impedance in obese men and women? *1Clinical Nutrition Program, University of New Mexico School of Medicine, Albuquerque, New Mexico 87131; 2Department of Physical and Health Education, Queen's University, Kingston,*

- California; and 3Obesity Research Center, St. Luke's-Roosevelt Hospital and Columbia University College of Physicians and Surgeons, New York, New York 10025
18. **Ian Janssen**,¹ Steven B. Heymsfield,² Richard N. Baumgartner,³ and Robert Ross¹: Estimation of skeletal muscle mass by bioelectrical impedance analysis.
¹School of Physical and Health Education, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada K7L 3N6; ²Obesity Research Center, St. Luke's/Roosevelt Hospital, Columbia University, College of Physicians and Surgeons, New York, New York 10025; and ³Clinical Nutrition Program, University of New Mexico, School of Medicine, Albuquerque, New Mexico 87131
 19. **Data-Input GmbH** (2005), R. Dörhöfer (Kap. A - I) PD Dr. med. Matthias Pirlich (Kap. Klinische Anwendungsgebiete J - K): Das B.I.A.-Kompendium
 20. **George, A. Brooks**, Thomas D. Fahey, Kenneth, M. Baldwin (2005): Exercise Physiology, Human Bioenergetics and Its Applications, fourth edition
 21. **Masae Miyatani**,¹ Hiroaki Kanehisa,¹ Yoshihisa Masuo,² Masamitsu Ito,³ And Tetsuo Fukunaga¹: Validity of estimating limb muscle volume by bioelectrical impedance. ¹Department of Life Sciences (Sports Sciences), University of Tokyo, Tokyo 153-8902; ²Art Haven 9, Kyoto 601-8116; and ³Graduate School of Health and Sport Science, Nippon Sport Science University, Tokyo 158-8508, Japan

Prilog: Lista skraćenica

A - poprečni presek

BCM - ukupna količina živog ćelijskog aparata (body cell mass)

BF – ukupna količina masti u organizmu (body fat)

BIA – bioelektrična impedanca (bioelectrical impedance analysis)

BMI - body mass index

ECM – vanćelijska masa, količina tkiva van ćelijskih opni (extra-cellular mass)

ECW – vanćelijska voda (extra-cellular water)

FFM – tkivo bez masti (fat-free mass)

TV – visina (height)

ICW – unutarćelijska voda, voda unutar ćelijskih opni (intra-cellular water)

KHz – kiloherc (kilo hertz)

L - dužina (u centimetrima)

LBM – bezmasna masa, količina tkiva bez uračunatih masnih depoa ali sa uključenom masti iz ćelijskih opni (lean body mass)

R - otpor (otpor vode u omima, Ω)

SEE – standardna greška merenja (standard error of the estimate)

TBW – ukupna količina vode u telu (total body water)

V – zapremina (u kubnim santimetrima)

Xc – reaktivnost, reaktanca, kapacitivni otpor (u omima, Ω)

Z - impedanca, (Impedance, Ω)