



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ МЕДИЦИНСКИХ НАУКА

Марко Д. Димитријевић

**Испитивање корелације различитих
антропометријских метода, методе
двоенергетске апсорпциометрије X зрацима
и методе биоелектричне импеданце у
анализи процента телесних масти код
професионалних спортиста**

докторска дисертација

Крагујевац, 2023.



UNIVERZITET U KRAGUJEVCU
FAKULTET MEDICINSKIH NAUKA

Marko D. Dimitrijević

**Ispitivanje korelacije različitih
antropometrijskih metoda, metode
dvoenergetske apsorpcionometrije X zracima i
metode bioelektrične impedance u analizi
procenata telesnih masti kod profesionalnih
sportista**

doktorska disertacija

Kragujevac, 2023.



UNIVERSITY OF KRAGUJEVAC
FACULTY OF MEDICAL SCIENCES

Marko D. Dimitrijevic

Examination of correlation of different anthropometric methods, dual-energy X-ray absorptiometry method and bioelectrical impedance method in analysis of body fat percentages o professional athletes

Doctoral Dissertation

Kragujevac, 2023.

ИДЕНТИФИКАЦИОНА СТРАНИЦА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

<i>Аутор</i>
Име и презиме: Марко Димитријевић
Датум и место рођења: 19.04.1976. године, Прибој, Република Србија
Садашње запослење: Факултет за спорт, Универзитет „Унион Никола Тесла“ у Београду
<i>Докторска дисертација</i>
Наслов: Испитивање корелације различитих антропометријских метода, методе двоенергетске апсорпциометрије X зрацима и методе биоелектричне импеданце у анализи процента телесних масти код професионалних спортиста
Број страница: 65
Број слика: 27 слика, 9 табела, 3 графика
Број библиографских података: 66
Установа и место где је рад израђен: Факултет медицинских наука, Универзитет у Крагујевцу, Крагујевац
Научна област (УДК): медицина
Ментор: Проф. др Владимир Живковић
<i>Оцена и одбрана</i>
Датум пријаве теме: 16.09.2022.
Број одлуке и датум прихватања теме докторске/уметничке дисертације: број IV-03-14/16 од 19.01.2023.
Комисија за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата: <ol style="list-style-type: none">1. Проф. др Драган Васиљевић, ванредни професор Факултета медицинских наука Универзитета у Крагујевцу за ужу научну област Хигијена и екологија, председник;2. Проф. др Иван Срејовић, ванредни професор Факултета медицинских наука Универзитета у Крагујевцу за ужу научну област Физиологија, члан;3. Проф. др Драган Радовановић, редовни професор Факултета спорта и физичког васпитања Универзитета у Нишу за ужу научну област Физиологија, члан.
Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације: <ol style="list-style-type: none">1. Проф. др Драган Васиљевић, ванредни професор Факултета медицинских наука Универзитета у Крагујевцу за ужу научну област Хигијена и екологија, председник;2. Проф. др Иван Срејовић, ванредни професор Факултета медицинских наука Универзитета у Крагујевцу за ужу научну област Физиологија, члан;3. Проф. др Драган Радовановић, редовни професор Факултета спорта и физичког васпитања Универзитета у Нишу за ужу научну област Физиологија, члан.
Датум одбране дисертације:

IDENTIFIKACIONA STRANICA DOKTORSKE DISERTACIJE

<i>Autor</i>
Ime i prezime: Marko Dimitrijević
Datum i mesto rođenja: 19.04.1976. godine, Priboj, Republika Srbija
Sadašnje zaposlenje: Fakultet za sport, Univerzitet „Union Nikola Tesla“ u Beogradu
<i>Doktorska disertacija</i>
Naslov: Ispitivanje korelacije različitih antropometrijskih metoda, metode dvoenergetske apsorpcionometrije X zracima i metode bioelektrične impedance u analizi procenata telesnih masti kod profesionalnih sportista
Broj stranica: 65
Broj slika: 27 slika, 9 tabela, 3 grafika
Broj bibliografskih podataka: 66
Ustanova i mesto gde je rad izrađen: Fakultet medicinskih nauka, Univerzitet u Kragujevcu, Kragujevac
Naučna oblast (UDK): medicina
Mentor: Prof. dr Vladimir Živković
<i>Ocena i odbrana</i>
Datum prijave teme: 16.09.2022.
Broj odluke i datum prihvatanja teme doktorske/umetničke disertacije: broj IV-03-14/16 od 19.01.2023.
Komisija za ocenu naučne zasnovanosti teme i ispunjenosti uslova kandidata: <ol style="list-style-type: none">1. Prof. dr Dragan Vasiljević, vanredni profesor Fakulteta medicinskih nauka Univerziteta u Kragujevcu za užu naučnu oblast Higijena i ekologija, predsednik;2. Prof. dr Ivan Srejović, vanredni profesor Fakulteta medicinskih nauka Univerziteta u Kragujevcu za užu naučnu oblast Fiziologija, član;3. Prof. dr Dragan Radovanović, redovni profesor Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Nišu za užu naučnu oblast Fiziologija, član.
Komisija za ocenu i odbranu doktorske disertacije: <ol style="list-style-type: none">1. Prof. dr Dragan Vasiljević, vanredni profesor Fakulteta medicinskih nauka Univerziteta u Kragujevcu za užu naučnu oblast Higijena i ekologija, predsednik;2. Prof. dr Ivan Srejović, vanredni profesor Fakulteta medicinskih nauka Univerziteta u Kragujevcu za užu naučnu oblast Fiziologija, član;3. Prof. dr Dragan Radovanović, redovni profesor Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Nišu za užu naučnu oblast Fiziologija, član.
Datum odbrane disertacije:

DOCTORAL DISSERTATION IDENTIFICATION PAGE

<i>Author</i>
Name and surname: Marko Dimitrijevic
Date and place of birth: 19.04.1976.Priboj, Republic of Serbia
Current employment: Faculty of Sport, University „Union Nikola Tesla” in Belgrade
<i>Doctoral Dissertation</i>
Title: Examination of the correlation of different anthropometric methods, the dual-energy X-ray absorptiometry method and the bioelectrical impedance method in the analysis of body fat percentages in professional athletes
No. of pages: 65
No. of images: 27 images, 9 tables, 3 graphs
No. of bibliographic data: 66
Institution and place of work: Faculty of Medical Sciences, University of Kragujevac, Kragujevac
Scientific area (UDK): medicine
Mentor: prof.dr Vladimir Zivkovic
<i>Grade and Dissertation Defense</i>
Topic Application Date: 16.09.2022.
Decision number and date of acceptance of the doctoral/artistic dissertation topic: no IV-03-14/16 from 19.01.2023.
Commission for evaluation of the scientific merit of the topic and the eligibility of the candidate: <ol style="list-style-type: none">1. Prof. dr Dragan Vasiljevic, associate professor of the Faculty of Medical Sciences, University of Kragujevac for the narrower scientific field of Hygiene and Ecology, president;2. Prof. dr Ivan Srejovic, associate professor of the Faculty of Medical Sciences University of Kragujevac for the narrow scientific field of Physiology, member;3. Prof. dr Dragan Radovanovic, full professor of the Faculty of Sport and Physical Education of the University of Niš for the narrower scientific field of Physiology, member.
Commission for evaluation and defense of the doctoral dissertation: <ol style="list-style-type: none">1. Prof. dr Dragan Vasiljevic, associate professor of the Faculty of Medical Sciences, University of Kragujevac for the narrower scientific field of Hygiene and Ecology, president;2. Prof. dr Ivan Srejovic, associate professor of the Faculty of Medical Sciences University of Kragujevac for the narrow scientific field of Physiology, member;3. Prof. dr Dragan Radovanovic, full professor of the Faculty of Sport and Physical Education of the University of Niš for the narrower scientific field of Physiology, member.
Date of Dissertation Defense:

ЗАХВАЛНИЦА

Посебно поштовање и захвалност дугујем проф. др Владимиру Јаковљевићу на указаном поверењу и драгоцену прилици да будем део његовог тима Центра за претклиничка и функционална истраживања. На неизмерној и несебичној људској и професионалној помоћи и подршци у свим сегментима реализације ове дисертације.

Неизмерно се захваљујем свом ментору проф. др Владимиру Живковићу на огромној научној, моралној и пријатељској подршци и помоћи у свим фазама израде овог доктората. Веома сам му захвалан на непроцењивим саветима, на прилици да радим и учим од њега, на издвојеном времену и уложеном труду, као и огромном стрпљењу и посвећености нашем заједничком раду.

Веома се захваљујем свом пријатељу проф. др Небојини Чокорилу, на професионалној, пријатељској подршци и помоћи, као и одличним сугестијама и саветима током објављивања радова у научно истраживачким, као и колеги Ђорђу Милованову.

Велику захвалност дугујем мојој породици Лани и Маји, куму Марку Грујичићу и протојереју Предрагу Шћепановићу на безграничном разумевању, стрпљењу, подршци, мотивацији, извору енергије и што су увек веровали и верују у мене.

На крају, увек сам захвалан Господу Христу на благослову да истрајем и завршим увек све започето. Уз помоћ Божју и вољу увек сам трагао и проналазио најтежа али и најбоља решења.

“Сви се питају како да буду посебни, нико да пожели да буде обичан. А бити обичан, изгледа постижу само посебни !”

Патријарх Павле

Хвала Вам!

*Мојој ћерки Лани,
мојој животној инспирацији...*

САЖЕТАК

Многобројне студије током вишедеценијског истраживања су извеле антропометријске једначине за предвиђање процента телесних масти код професионалних спортиста као приступачнију и економичнију алтернативу другим методама. У овој студији су испитиване корелације вредности добијених применом седамнаест одабраних антропометријских једначина са вредностима добијених БИА и ДХА методама. У студију су били укључени професионални спортисти ($n=101$) из три борилачка спорта са тежинским категоријама: џудисти ($n=35$), рвачи ($n=33$) и кикбоксерсери ($n=33$), просечне старости од $20,9 \pm 4,2$ година. Процент телесних масти је одређен постојећим антропометријским једначинама и БИА и ДХА методама. Корелације између вредности процента телесних масти добијених из постојећих антропометријских једначина и ДХА методе, као и вредности добијених БИА и ДХА методама су одређене применом Спирманове ранг корелације (r_s). За шест од седамнаест постојећих антропометријских једначина за процену процента телесних масти је утврђена скоро савршена корелација са вредностима добијеним ДХА методом ($r_s = 0,904-0,909$). Најјачи коефицијент корелације са ДХА методом је показала Јухасова антропометријска једначина ($r_s=0,909$) (1), а затим и антропометријске једначине Оливер и сар. (2), Еванс и сар. (две једначине) (3), Торланд и сар. (4) и Фолкнеру (5) ($r_s \approx 0,9$). Статистичка анализа је такође показала позитивну корелацију вредности добијених БИА и ДХА мерењима ($r_s=0,710$). Испитивање корелације седамнаест одабраних постојећих антропометријских једначина и БИА методе са ДХА методом је показало да антропометријске једначине генерално јаче корелирају са ДХА методом, а даљом анализом се дошло до закључка да су једначине по Јухасу, Оливеру и сар. и Фолкнеру најоптималније алтернативе за процену процента телесних масти код професионалних спортиста из спортова са тежинским категоријама попут рвача, џудиста и кикбоксерсера.

Кључне речи: телесне масти, спортисти, борилачки спортови, антропометрија, БИА, ДХА.

ABSTRACT

Multiple anthropometric equations have been developed aiming to provide accurate and affordable assessment of body fat composition in professional male athletes. This study examined correlation values of seventeen different existing anthropometric equations and BIA method with DXA method. Professional male athletes (n=101) from three different weight-sensitive combat sports: wrestling (n=33), judo (n=35) and kickboxing (n=33), average age 20.9 ± 4.2 were included. Body fat percentage was estimated using anthropometry, BIA and DXA. Correlations between existing anthropometric methods and DXA, as well as BIA and DXA, was determined using Spearman rang correlation (r_s). Although sixteen out of seventeen existing anthropometric equations showed a very strong correlation, six showed almost perfect correlation with values derived from DXA measurements ($r_s = 0.904-0.909$). The strongest correlation coefficient with DXA was revealed using equation developed by Yuhasz ($r_s = 0.909$) (1), followed by equations from Oliver et al. (2), Evans et al. (two equations) (3), Thorland et al. (4) and Faulkner equation (5) ($r_s \approx 0.9$). Statistical analysis of body fat percentage from BIA and DXA measurements also showed a very strong positive correlation ($r_s = 0.710$). Examining the correlation of seventeen different anthropometric equations and BIA method and DXA method showed that existing anthropometric equations developed for sport-specific and general male sport population in general correlate stronger with DXA method than BIA method and with further analysis it was concluded that equations by Yuhasz, Oliver et al. and Faulkner appear to be most optimal alternative when assessing body fat percentage among professional male athletes from weight-sensitive sports such as wrestling, judo and kickboxing.

Key words: body fat, male athletes, combat sports, anthropometry, BIA, DXA.

САДРЖАЈ

I УВОД	1
1. 1. Телесни састав	2
1.2. Модели и методе за процену телесног састава	4
1.2.1. Метода подводног мерења (хидродензитометрија).....	5
1.2.2. Плетизмографија истискивањем ваздуха.....	6
1.2.3. Антропометријске методе	7
1.2.4. Биоелектрична импеданца	20
1.2.5. Двоенергетске апсорпциометрије X зрака	23
II ЦИЉЕВИ ИСТРАЖИВАЊА	26
2. 1. Циљеви истраживања.....	27
III МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ	28
3. 1. Испитаници и дизајн студије	29
3. 2. Припрема испитаника за тестирање	29
3. 3. Антропометријска мерења	29
3.3.1. Одређивање висине тела	29
3.3.2. Метода мерење обима	30
3.3.3. Метода мерења дебљине кожних набора.....	30
3.4. Метода биоелектричне импеданце.....	35
3.5. Метода двоенергетске апсорпциометрије X зрака.....	37
3.6. Статистичка анализа.....	41
IV РЕЗУЛТАТИ	42
4. 1. Демографске карактеристике	43
4. 2. Процена телесних масти антропометријским и методама биоелектричне импеданце и двоенергетске апсорпциометрије X зрака.....	44
4. 3. Корелације процената телесних масти процењених антропометријским методама и методом двоенергетске апсорпциометрије X зрака	45
4. 4. Корелација процената телесних масти процењених методама биоелектричне импеданце и двоенергетске апсорпциометрије X зрака	56
V ДИСКУСИЈА	58

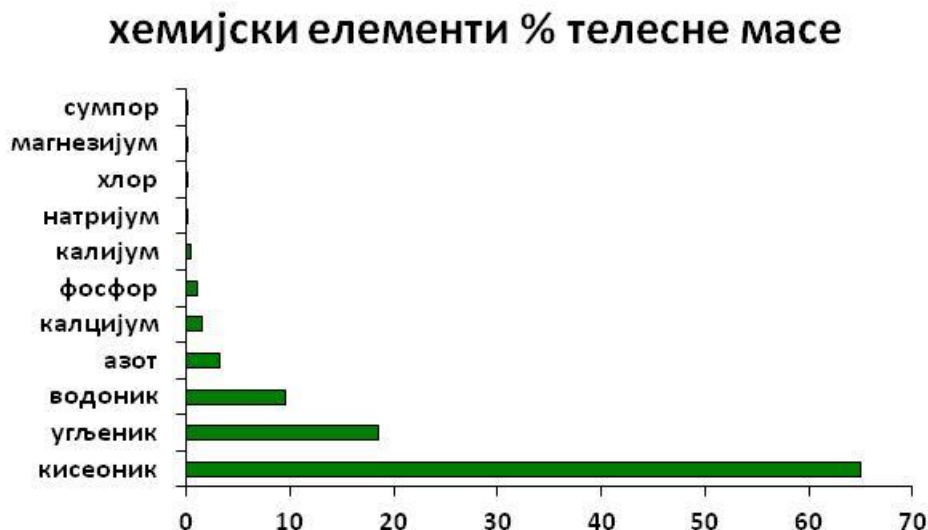
5. 1. Увод у дискусију	59
5. 2. Проценти телесних масти добијени проценом различитих антропометријских метода	59
5.3. Проценти телесних масти добијени проценом биоелектричне импеданце	61
5.4. Корелације процента телесних масти процењених антропометријским методама и методом двоенергетске апсорпциометрије X зрака.....	61
5.5. Корелације процента телесних масти процењених методама биоелектричне импеданце и двоенергетске апсорпциометрије X зрака.....	63
5.6. Сумарна анализа резултата	63
VI ЗАКЉУЧЦИ	66
6.1. Закључци	67
VII ЛИТЕРАТУРА	68
СКРАЋЕНИЦЕ	73

I УВОД

1. 1. Телесни састав

Телесну масу човека чине четири независна елемента: коштана маса, мишићна маса, маса масног ткива, уз остале компоненте (мозак, унутрашњи органи, крв и сл.). Телесни састав представља заступљеност ових конститутивних елемената у укупној телесној маси (6). Деценијама је сматрано да је телесни састав непроменљив и генетски предодређен. Међутим, савремена истраживања су показала да он има генетску основу, али да на њега итекако утичу животно окружење, животне навике и начин живота.

Телесни састав у спортским наукама представља показатељ физиолошког профила спортисте. Развој техника за процену телесног састава потиче од потребе да се процене удели мишићне и масне масе тела зато што оне имају пресудан утицај на здравље и учинак спортисте. Анализа телесног састава човека може се обављати на најмање пет нивоа: атомски, молекуларни, ћелијски, ниво ткива, као и ниво целог тела. Сматра се да око педесет хемијских елемената учествује у изградњи човековог тела, али да око 95% телесне масе чине кисеоник, угљеник, водоник и азот (слика 1). Телесни састав на молекуларном нивоу чине вода (око 60% телесне масе), масти, протеини и минерали.



Слика 1. Хемијски елементи који учествују у изградњи човековог тела
(преузето из: <https://askabiologist.asu.edu/content/atoms-life>)

До данас су развијена три модела телесног састава на молекуларном нивоу: двокомпонентни модел- телесну масу чине маса масти (енгл. *fat mass*, *FM*) и безмасна маса (енгл. *fatfree mass*, *FFM*); трокомпонентни модел- маст, минерали из костију и безмасна маса; и четворокомпонентни модел- масти, вода, мишићи и минерали из костију (7). Телесна маса на ћелијском нивоу подразумева ћелије и ванћелијски садржај. Ћелијску масу (енгл. *body cell mass*, *BCM*) чине све метаболички активне ћелије у организму, док ванћелијску масу (енгл. *extracellular mass*, *ECM*) чини везивно ткиво, кости, течности (плазма, интерстицијална и трансћелијска вода). Однос ванћелијске и ћелијске масе (*ECM/BCM*) је важан показатељ при сагледавању здравственог и нутритивног статуса човека (8). Анализа телесног састава на нивоу ткива подразумева испитивање скелетних мишића, костију, масног ткива, крви, мозга и унутрашњих органа.

Телесна маса је једна од најпроменљивијих антропометријских димензија. За разлику од телесне масе, за телесну висину након завршеног периода раста можемо рећи да је релативно непроменљива. Коштано ткиво представља везивно ткиво које телу пружа потпору и заједно са мишићима омогућава кретање. Масно ткиво чини у просеку око 20% телесне масе одраслих мушкараца (18–34 год.) и у просеку око 28% телесне масе жена. На молекуларном нивоу масти имају важне улоге: фосфолипиди учествују у изградњи ћелијских мембрана, триглицериди у масном ткиву обезбеђују велике енергетске резерве и топлотну изолацију, масти имају улогу у транспорту и разлагању липосолубилних витамина (витамини А, Д, Е, К), неопходне су за правилно функционисање нервног система, репродуктивног система и такође имају важну улогу у правилном расту и развоју деце и адолесцената (9).

Масне ћелије (адипоцити) складиште највећу количину енергије у организму у облику масти (триглицерида). Адипоцити су преодминантно распоређени у специјализовано целуларно везивно ткиво које је претежно поткожно локализовано чиме доприноси обликовању тела. Међутим, масно ткиво има и потпорну улогу у длановима, табанима, орбитама и око бубрега. Масно ткиво поред метаболичке улоге и улоге у терморегулацији преставаља и активан ендокрини орган (10), стога је умерена заступљеност масти неопходна за правилно функционисање метаболизма и имунског система. Иако још увек не постоје универзалне норме за оптималан проценат телесних масти нити консензус о тачном проценту телесних масти који би био сматран здравственим ризиком, у литератури појединих здравствених институција и организација као што је Амерички колеџ за спортску медицину (енгл. *American College of Sports Medicine, ACSM*) се понекад могу наћи неке од норми за проценат телесних масти и неких од осталих компоненти телесног састава (Табеле 1 - 4).

	Узраст (год.)	Врло мршаво (%)	Мршаво (%)	Просечно (%)	Прекомерно (%)	Гојазно (%)
Мушкарци % телесних масти	6 - 18	6 - 9	10 - 17	18 - 28	19 - 35	> 35
	20 - 29	4 - 7	8 - 12	13 - 17	18 - 23	> 23
	30 - 39	7 - 11	12 - 16	17 - 20	21 - 25	> 25
	40 - 49	9 - 13	14 - 18	19 - 22	23 - 26	> 26
	50 - 59	11 - 15	16 - 20	21 - 23	24 - 28	> 28
	60 - 69	12 - 17	18 - 21	22 - 24	25 - 29	> 29
	70 - 79	14 - 16	17 - 21	22 - 24	25 - 29	> 29
Жене % телесних масти	6 - 18	9 - 16	17 - 22	23 - 29	30 - 34	> 34
	20 - 29	11 - 15	16 - 18	19 - 22	23 - 28	> 28
	30 - 39	11 - 16	17 - 19	20 - 23	24 - 30	> 30
	40 - 49	12 - 17	18 - 21	22 - 25	26 - 32	> 32
	50 - 59	13 - 19	20 - 24	25 - 28	29 - 34	> 34
	60 - 69	14 - 20	21 - 25	26 - 29	30 - 35	> 35
	70 - 79	11 - 18	19 - 24	25 - 28	29 - 35	> 35

Табела 1. Препоручени распон процента (%) телесних масти код одраслих особа и деце (11)

Мушкарци (% телесних масти)				Жене (% телесних масти)			
Узраст (год.)	Доњи (%)	Просечан (%)	Горњи (%)	Узраст (год.)	Доњи (%)	Просечан (%)	Горњи (%)

18 - 34	5	10	15		18 - 34	16	23	28
35 - 55	7	11	18		35 - 55	20	27	33
55+	9	12	18		55+	20	27	33

Табела 2. Препоручени ниво процента (%) телесних масти код физички активних особа (12)

Узраст (год.)	Жене			Мушкарци		
	низак	нормалан	висок	низак	нормалан	висок
10 – 14	<36%	36 – 43 %	>43 %	<44%	44 – 57 %	>57 %
15 – 19	<35%	35 – 41 %	>41 %	<43%	43 – 56 %	>56 %
20 – 29	<34%	34 – 39 %	>39 %	<42%	42 – 54 %	>54 %
30 – 39	<33%	33 – 38 %	>38 %	<41%	41 – 52 %	>52 %
40 – 49	<31%	31 – 36 %	>36 %	<40%	40 – 50 %	>50 %
50 – 59	<29%	29 – 34 %	>34 %	<39%	39 – 48 %	>48 %
60 – 69	<28%	28 – 33 %	>33 %	<38%	38 – 47 %	>47 %
70 – 100	<27%	27 – 32 %	>32 %	<37%	37 – 46 %	>46 %

Табела 3. Процент укупне телесне мишићне масе (11)

Узраст (год.)	Жене			Мушкарци		
	лош	добар	Врло добар	лош	добар	Врло добар
10 - 100	<45 %	45 – 60 %	>60 %	<50 %	50 – 65 %	>65 %

Табела 4. проценат телесне укупне воде (11)

1. 2. Модели и методе за процену телесног састава

Поред вишедеценијског истраживања одређивање телесног састава је још увек веома актуелна тема научног рада у медицини и спорту из више разлога: телесни састав дефинише критеријуме селекције, може да служи за праћење ефективности тренинга, промена у начину исхране, као и општег здравственог стања спортиста. Развој технологије омогућио је значајано повећање прецизности метода за процену телесног састава, међутим још увек постоје етичка и методолошка ограничења за дефинисање апсолутног стандарда. Технике за одређивање телесног састава можемо сврстати у следеће категорије: директне (сецирање ткива), индиректне (мерење сурогат параметра који служи за процену састава ткива) и двоструко индиректне (мерење једног индиректног параметра служи за процену другог индиректног параметра коришћењем регресионе анализе) методе (7). Све индиректне анализе се базирају на моделирању састава тела преко дефинисаних варијабла/компоненти као што су густина тела, укупна количина воде у телу и минерални састав костију.

Најстарији модел је двокомпонентни модел (енгл. *2-compartment, 2C model*) и самим тим је деценијама уназад био и најзаступљенији у истраживањима и пракси. Овај модел подразумева одређивање густине тела (енгл. *body density, BF*) методом

хидродензитометрије и укупне количине воде у телу (енгл. *total body water, TBW*) методом дилуције изотопа. Код 2Ц модела подразумевамо да телесну масу чине 2 компоненте, телесне масти (енгл. *body fat mass, BF*) и безмасна маса тела (енгл. *fat free mass, FFM*) (13). Очигледна ограничења 2С модела, довела су до развоја трокомпонентног модела (3С модел), који укључује одређивање BF, FFM и безмасне суве масе тела (енгл. *fat-free dry mass, FFDM*), при чему се подразумева константан однос минерала и протеина (енгл. *mineral to protein ratio*) од 0,35. Напретком технологије током деценија развијене су и усавршене нове методе за мерење телесног састава, као што је двоенергетска апсорпциометрија X зрака (енгл. *dual-energy X-ray absorptiometry, DXA*) којом се одређује густина минерала у костима. Тиме је омогућено и развијање четворокомпонентног модела (4С модел) за анализу телесног састава који се базира на мерењу телесних масти, укупне количине воде, густине минерала костију и телесног остатка. За разлику од 3С модела, 4С модел може да процени биолошке варијабилности густине костију и укупне количине воде у телу употребом DXA уређаја (13). Процент масти у телу је и даље најважнији податак за спортисте и тренере јер се масно ткиво најчешће перципира као непотребни баласт у многим спортовима.

1.2.1. Метода подводног мерења (хидродензитометрија)

Хидродензитометрија представља индиректну методу за одређивање %BF и %FFM на основу разлике у специфичној густини масти и коштаном-мишићног система (14). Ова метода се базира на двокомпонентном моделу при чему BF има мању густину од FFM. Хидродензитометрија се заснива на Архимедовом закону потиска: на тело које је уроњено у неку течност делује сила потиска због које ће тело изгубити ону масу која је једнака маси истиснуте течности. Метода је заснована на претпостављеним вредностима густине FFM за које је касније показано да се разликују између полова, етничке припадности и телесне масе, што доводи до грешака у процени %BF. Хидродензитометрија је такође непоуздана за примену код људи код којих може да дође до промена у FFM. Наиме, лажно повишене вредности %BF се могу добити као последица болести, претераног задржавања течности и губитка минерала (15). Спада у дуготрајне, скупе и компликоване методе недоступне широј популацији, јер је поред осталог неопходна и пуна сарадња са испитаником и вишеструко понављање како би се добила жељена прецизност мерења. Деценијама је дефинисана као једна од најпрецизнијих и најзаступљенијих референтних метода у истраживачким радовима. Сматра се да је грешка процене масног ткива у саставу тела методом хидродензитометријом $\pm 2,5 \%$ (16).



Слика 2. Метода подводног мерења (хидродензитометрија)
(преузето из: <https://www.healthline.com/health/hydrostatic-weighting>)

1.2.2. Плетизмографија истискивањем ваздуха

Хидродензитометрија је поред неекономичности у пракси тешко изводљива метода јер захтева поседовање базена са водом (слика 2). Запремину тела је алтернативно могуће измерити методом плетизмографије односно истискивања ваздуха (енгл. *air displacement plethysmography, ADP*). Ова метода омогућава аутоматизовано и комфорно одређивање телесне композиције код било које популације испитаника (деца, гојазни, старији, особе са посебним потребама). Мерење се врши у затвореној комори која је одвојена мембраном од референтне коморе (слика 3). Улазак испитаника у комору изазива промену запремине чија вредност се одређује променом притиска у комори па се на основу масе тела и запремине тела прерачунавају густина тела, односно FM и FFM. Међутим, овом методом се не добијају подаци о дистрибуцији масти и мишића. Плетизмографија је популарно позната као BOD POD (Cosmed Concord, California, USA). На тачност мерења утиче пре свега хидрираност, стога BF и FFM подаци добијени плетизмографијом могу бити и прецењени и потцењени. Сматра се да је грешка ове методе у процени заступљености масног ткива од $\pm 2,2\%$ до $\pm 3,7\%$ (16).

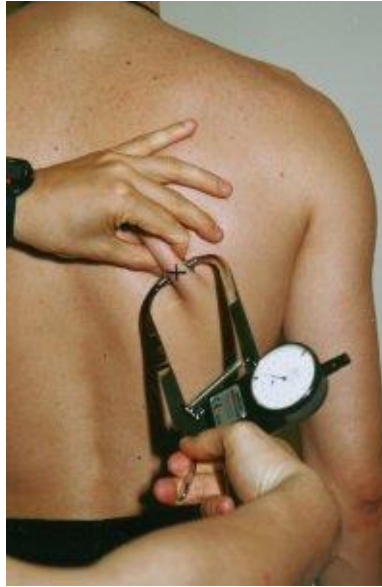


Слика 3. Плетизмографија истискивањем ваздуха
(преузето из: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BodPod.jpg>)

1.2.3. Антропометријске методе

Антропометрија је широко распрострањена метода која подразумева мерење масе тела, лонгитудиналне и трансферзалне димензионалности скелета, као и обима и дебљине кожних набора (енгл. *skinfold, SF*). Антропометријске методе су уз биоелектричну импеданцу најзаступљеније методе за одређивање телесног састава у спортским и медицинским установама и у теренским условима. Иако спадају у двоструко индиректне методе, једноставност извођења антропометријских мерења и финансијски фактор су одредили њихову широку заступљеност и примену у пракси. Прва једначина за процену процента телесних масти на основу мерења кожних набора развијена је још давне 1921. године (17). Мерењем дебљине кожних набора калипером (слика 4) добијају се вредности на основу којих се развијају једначине за процену процента телесних масти (енгл. *body fat percentage, %BF*). Током деценија истраживања на изради најпрецизније антропометријске методе развијене су многобројне методе и формулисане једначине на различитим популацијама испитаника. Међутим, управо велики избор једначина често доводи до забуне и грешака приликом њиховог одабира у пракси. Како би у практичној примени ових метода били добијени што прецизнији подаци неопходно је добро познавање метода, а нарочито популације на којима ће бити примењена. Метод мерења кожних набора се одвија тако што се мери дупли набор од коже и поткожног адипозног ткива помоћу калипера, инструмента конструисаног по принципу микрометра (слика 7). Калипер примењује константан притисак (компресију) на место дебљине набора. Стишљивост односно компресибилност адипозног ткива зависи од старости, пола, локације, хидрираности ткива и величине адипоцита. У релативно испражњеном адипоциту пропорција масти у односу на друге структуре у ћелији је ниска, док у попуњеном адипоциту маст заузима пропорционално велику запремину у односу на друге структуре.

Када је у питању валидност код мерења дебљине кожних набора, морамо узети за претпоставку да ограничен број места (тачака) кожних набора на којима вршимо мерења представља репрезентативни узорак поткожног адипозног ткива, односно да дистрибуција телесних масти показује регуларност од једне до друге особе. У вези са тим, дефинисана су два основна обрасца дистрибуције масти, андроидни који подразумева централно накупљање масних наслага и гинекоидни где преовладава глутео-феморално накупљање. Међутим, у пракси је дистрибуција поткожног масног ткива индивидуална. Такође, примена методе мерења кожних набора претпоставља да поткожно масно ткиво у тим тачкама представља и унутрашње масти у које убрајамо висцералне масти, масти на оментуму, масти у коштаног сржи и интерстицијалне масти. Иако је познато да однос између поткожних и унутрашњих масти зависи од више чинилаца, посебно од година, пола и ухрањености, постоје студије које указују да се унутрашње масти повећавају са поткожним мастима. (18). Сматра се да је грешка у процене масног ткива у саставу тела методом кожних набора око $\pm 3,5\%$ (16).



Слика 4. Мерење дебљине кожног набора калипером
(преузето из: <http://www.harpenden-skinfold.com/measurements.html>)

Имајући у виду да су антропометријске једначине за процену %BF базиране на мерењима тачно одређене популације испитаника, при одабиру одговарајуће једначине за примену у пракси неопходно је применити једначину која је изведена из узорка испитаника који су имали сличне карактеристике као и испитаник на коме се врши процена, што практично значи да испитаник треба да буде сличне старости, истог пола и етничке припадности, и сличног здравственог и спортско/рекреативног статуса. Такође, важно је имати у виду да ако се једначине базирају на неколико тачака кожних набора горњег дела тела треба узети у обзир одступања у обрасцима масти, стога је генерална препорука да се користе једначине базиране на тачкама кожних набора руку, трупа и ногу. Посебно је неопходно да се истакне значајност мерења кожних набора ногу јер су студије показале да су мерења са доњих екстремитета добри индикатори укупне телесне масноће. Наиме, показано је да мере добијене са предње стране бутине и медијалне стране листа добро представљају значајне варијације у укупној телесној масноћи, било независно или у комбинацији са мерама кожних набора горњих делова тела. Такође је показано да запремине поткожног абдоминалног адипозног ткива и запремине масти на бутини, процењених помоћу магнетне резонанце, боље корелишу од корелација збира кожних набора бицепса, трицепса, субскапуларног дела и илијачне кристе (19). Узевши у обзир важност кожних набора доњег екстремитета, посебно предње стране бутине, као предиктора укупних телесних масти руководећа група Британске Олимпијске Асоцијације (БОА) издала је препоруку да се кожни набор предње стране бутине дода збиру четири кожна набора која се користе у Дурнин и Вомерсли једначини из 1974. године (20), ради прецизније процене FM код утренираних и здравих одраслих особа. (21). Важност кожног набора предње стране бутине односно исправност одлуке БОА потврђена је и студијом у којој су коришћена DXA метода и четворокомпонентни модел на популацијама здравих, младих мушкараца и жена (22). Варијабилност у мерењу методама кожних набора се може умањити правилним одабиром калипера, правилном техником одабира локација антропометријских тачака и поштовањем смерница за припрему испитаника.

Смернице за мерење кожних набора су следеће:

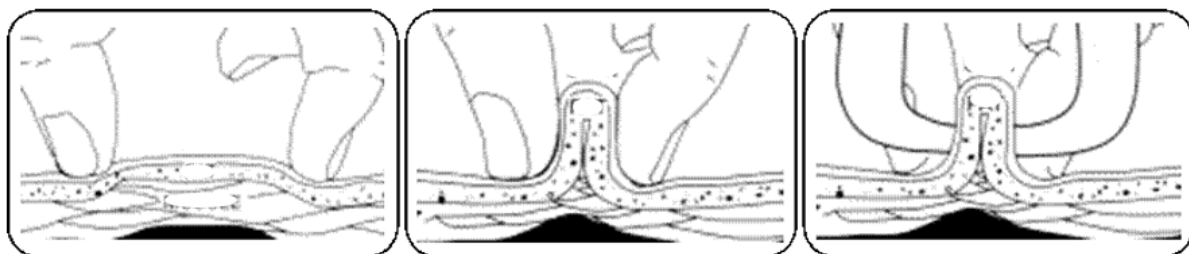
- обавестити испитаника када се врши мерење
- претходно припремити опрему и записничке формуларе;
- мерење треба вршити у простору који је чист, топао и тих;
- обезбедити асистента који ће записивати измерене вредности у записнички формулар;
- препорука је да жене понесу купаћи костим у виду бикинија, који ће потпомоћи у мерењу абдоминалне регије и осигурати да мушкарци обуку широк шорц или купаће гаће, тзв. антропометријско одело;
- особа која врши мерење треба да узме у обзир интимни простор и осетљиве регије испитаника;
- и најважније, прецизно одредити локацију мерених тачака;

Општа техника мерења кожных набора:

- Током мерења испитаник би требало да стоји усправно опуштених рамена и руку. Оптимална температура и пријатна атмосфера ће помоћи испитанику да се опусти, што ће онда олакшати локализовање и манипулацију кожным наборима;
- Сви кожни набори се мере на десној страни тела;
- Препоручљиво је да се тачке кожных набора обележе фломастером који се лако може опрати;
- За валидан резултат мерења неопходно је одићи набор од коже и поткожног адипозног ткива тако да мишић који се налази испод не омета мерење;
- Кожни набор се захвата палцем и кажипрстом леве руке, пратећи уз то природну линију ресцепа коже;
- Калипер се држи десном руком, а плочице на калиперу преко којих се врши притисак, се примењују перпендикуларно (нормално) на набор и 1 цм испод или десно од прстију, у зависности од правца одигнутог набора;
- Резултат мерења се читава 2 секунде након што је хваталком захваћен кожни набор (у овом интервалу се савладава еластичитет ткива, па су очитане вредности ближе реалним) (слика 5). Дуже задржавање хваталки може да услови њихово помицање и клизање чиме би се умањила тачност резултата.
- Мерења би требало изводити у серијама, односно кретати се од једне тачке до друге док се цео протокол не заврши.
- С обзиром на велику варијабилност резултата мерења неопходно је да се оно обави узастопно барем још два пута. Затим се као резултат мерења узима средња вредност од два или медијана од три поновљена мерења (уколико се прва два мерења разликују за више од 5%) (23)



Слика 5. Очитавање вредности мерења дебљине кожног набора



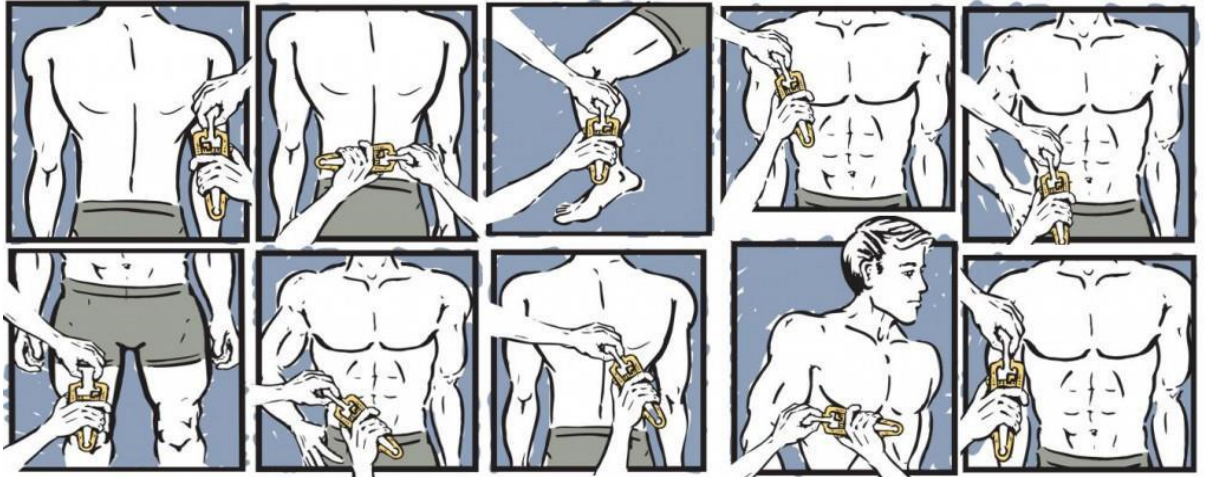
Слика 6. Техника мерења кожног набора

(преузето из: <https://kinesiologists.ca/wp/pt-store/free-resources/protocol-skinfold-clips/>)



Слика 7. Харпенден калипер

(преузето из: <https://performbetter.co.uk/product/harpenden-calipers>).



Слика 8. Локације тачака кожних набора
(преузето из: <http://www.linear-software.com/malesites.html>)

Опис и локације кожних набора (слика 8):

- Грудни кожни набор (пекторални) се односи на коси набор одигнут дуж границе великог грудног мишића између антериорног пазушног набора и мамиле. Код жена се мери на растојању од једне трећине између антериорног пазушног набора и мамиле, док код мушкарца на половини растојања између антериорног пазушног набора и мамиле (слика 9). У литератури понекад можемо наићи на још два грудна кожна набора. Ради једноставније терминологије, можемо их назвати други и трећи грудни кожни набори. Други грудни кожни набор (познат и као кожни набор десетог ребра) подразумева хоризонталан кожни набор одигнут на грудима изнад десетог ребра на тачки међупресека са антериорном пазушном линијом. Трећи грудни кожни набор (енгл. *juxta-nipple skinfold site*) се мери латерално и у нивоу од десне брадавице на средини измеђи брадавице и антериорне пазушне линије.
- Пазушни кожни набор (мидаксиларни) представља вертикални кожни набор одигнут на средње-пазушном нивоу, односно на нивоу ксифостерналног споја средње-пазушне линије (слика 10).



Слика 9. Мерење грудног кожног набора Слика 10. Мерење пазушног кожног набора.

- Абдоминални кожни набор је хоризонталан набор одигнут 3цм латерално и 1цм инфериорно у односу на умбиликус (слика 11).

- Кожни набор илијачног гребена је дијагоналан набор одигнут одмах изнад илијачног гребена на вертикалној линији која иде од средине пазуха. Овај кожни набор се може наћи и под називом „супраилијачни” у студији Дурнина и Вомерслија (20) и као „илиокристални“ по Парисковој (24) (слика 12).



Слика 11. Мерење абдоминалног кожног набора.



Слика 12. Мерење супраилијачног кожног набора.

- Супраспинални кожни набор се доноси на набор одигнут одмах изнад илијачног гребена на вертикалној линији која иде из антерионог пазушног набора (13).
- Субскапуларни кожни набор је одигнут 1цм испод инфериорног угла лопатичне кости, 45 степени у односу на хоризонталну раван, који се протеже природном линијом расцепа коже (14).



Слика 13. Мерење супраспиналног кожног набора.



Слика 14. Мерење субскапуларног кожног набора.

- Кожни набор бицепса је вертикалан кожни набор одигнут на страни антериорног гледишта на бицепс, на истом хоризонталном нивоу као кожни набор трицепса (слика 15).
- Кожни набор трицепс је вертикални кожни набор одигнут на страни постериорног гледишта на трицепс, тачно на пола пута између продужетка

олекранона и продужетка акромиона, када се рука налази у супинацији (слика 16).



Слика 15. Мерење кожног набора бицепса **Слика 16.** Мерење кожног набора трицепса.

- Кожни набор пателе (пателарни) је вертикални кожни набор који се мери у средњој сагиталној равни одигнут 2cm изнад проксималне ивице пателе док испитаник има благо савијено колено.
- Кожни набор квадрицепса (набор предње стране натколенице) је вертикалан кожни набор одигнут на страни предњег дела бутине, на средини пута између препонске бразде и проксималне границе пателе. Током мерења испитаник треба да буде у стојећем положају са петом стопала постављеном да се одмара на другом стопалу. Алтернативно, испитаник треба да савије колено под углом од 90 степени у седећем положају, или да стоји са ногом постављеном на степер (слика 17).
- Кожни набор медијалног дела листа представља вертикални кожни набор одигнут на страни медијалног гледишта на лист у нивоу најширег обима листа. Током мерења испитаник може да буде у седећем положају седи или да стоји са ногом постављеном на степер (слика 18).
- Кожни набор проксималног дела листа је кожни набор одигнут са постериорне стране листа, у средњој сагиталној равни, 5cm испод од заколеничне јаме (25).



Слика 17. Мерење кожног набора квадрицепса.

Слика 18. Мерење кожног набора медијалног дела листа

Преглед антропометријских метода коришћених у овој студији:

Фолкнерова метода (1968)

Првобитно је сматрано да је Фолкнер формулисао своју једначину за популацију пливача (5). Међутим, недостатак доказа у литератури о њеном настанку мотивисао је Пирес-Нето и Гранера да 2007. године докажу да је ова метода заправо модификована Лухасова метода (26). Штавише, у тој студији је објављено да је Фолкнер изјавио да је ову једначину модификовао сам Лухас комбинујући податке две једначине које је првобитно објавио у својој дисертацији 1962. године (1). На основу свега приказаног у овом раду, Пирес-Нето и Гранер су предложили да Фолкнерову једначину заправо треба сматрати необјављеном Лухасовом једначином, јер су сви докази указивали на то да Фолкнер није формулисао ову једначину користећи узорак пливача. Даљом анализом Фолкнерове једначине и њеним поређењем са другим студијама, Пирес-Нето и Гранер су закључили да је Фолкнерова једначина примењива за младу утренирану мушку популацију.

$$\%BF = 5.783 + (0.153 (Tr + Sb + Si + Ab)),$$

где су %BF – проценат телесних масти, Tr – кожни набор трицепса, Sb – субскапуларни кожни набор, Si – супраилијачни кожни набор, Ab – абдоминални кожни набор.

Метода Зутија и Голдинга (1973)

Пораст процента људи са прекомерном телесном масом седамдесетих година прошлог века је изазвао потребу да се одреди јендоставна метода за одређивање телесног састава коју би користили лекари и тренери. Зути и Голдинг креирали су студију са циљем да одреде које од 39 различитих антропометријских мера могу да предвиде густину тела односно проценат масти (27). За потребе студије регрутовали су 30 испитаника мушког пола укључених у програм свакодневног тренирања. Густину тела су одредили подводним мерењем користећи методу дилуције хелијума за корекцију запремине плућа. Применом степенасте вишеструке регресије су показали да 3 антропометријске мере: обим струка, дијаметар зглоба десне руке и дебљина пекторалног кожног набора, могу валидно да предвиде густину тела и проценат масти. Укључивањем још 30 испитаника и применом методе вишеструке регресије формулисали су једначине за предвиђање густине тела односно %BF:

$$BD = 1.0806 - (0.001187 \times WC) - (0.001076 \times Ch) + (0.015306 \times WD),$$

$$\%BF = 8,7075 + 0,489309 \times WC + 0,448561 \times Ch - 6,358583 \times WD,$$

где су BD – густина тела (енгл. *body density*), $\%BF$ – проценат телесних масти, WC – обим струка (енгл. *waist circumference*), Ch – грудни кожни набор (енгл. *chest*) и WD – дијаметар зглоба шаке (енгл. *wrist diameter*);

Јухасова метода (1962)

Мајкл Јухас је извео своју антропометријску једначину за процену $\%BF$ у својој докторској дисертацији 1962 год (1). У односу на претходне до тада формулисане једначине које су биле базиране на мерама добијеним од испитаника просечне телесне грађе, Јухасова једначина је прилагођена за младе спортисте и напредне рекреативце. Она укључује 6 мера кожних набора (трицепс, субскапуларно, абдоминално, супраилијачно, натколеница и лист).

Јухасова једначина за процену процента телесних масти помоћу 6 тачака кожних набора:

$$\%BF = (0,1051 \times \Sigma[Tc, Sb, Ab, IC, Th, Ca]) + 2,585 ,$$

где су $\%BF$ – проценат телесних масти, Tc – кожни набор трицепса, Sb – субскапуларни кожни набор, Σ – збир кожних набора, Ab – абдоминални кожни набор, IC – илиокристални кожни набор (енгл. *iliocristale*, означава исто што и супраилијачни), Th – кожни набор квадрицепса (енгл. *thigh*), Ca – кожни набор листа (енгл. *calf*)

Метода Форсајта и Сининга (1973)

Студија Форсајта и Сининга је валидирала и формулисала једначине за $\%BF$ код спортиста јер су до тада у употреби биле једначине базиране на мерама добијеним од испитаника из опште популације (28). За потребе студије регрутовали су 50 спортиста представника 4 различита спорта са колеца (17 играча бејзбола, 15 атлетичара, 11 играча америчког фудбала и 7 тенисера). Густине тела су одређене методом подводног мерења уз корекцију резидуалног ваздуха методом дилуције азота. Испитаницима је измерена телесна маса (тачност ваге 14 г), затим су узете мере кожних набора (трицепс, субскапуларно, пекторално у две тачке, абдоминално, и предње стране бутине (квадицепса) и 8 мера пречника (би-акромијални, би-трохантерни, грудни, би-илијачни, ручни зглоб, лакат, колена и чланак). Добијене мере су поред валидације са претходно примењиваним једначинама искоришћене за добијање нових једначина применом методе вишеструке регресије. За конструкцију једначина коришћене су различите комбинације узетих мера: све мере, само кожни набори, кожни набори и висина, само дијаметри, дијаметри у комбинацији са висином, телесном масом и Пондерални индекс. Показано је да једначине које не укључују мере кожних набора имају низак степен корелације са измереним вредностима густине тела.

Једначина Форсајта и Сининга која укључује 2 кожна набора (у студији једначина 2а):

$$BD = 1,103 - (0,00168 \times SKF_{\text{субскапуларни}}) - (0,00127 \times SKF_{\text{абдоминални}})$$

Једначина која укључује 4 кожна набора (у студији једначина. 2б):

$$BD = 1,10647 - (0,00162 \times SKF_{\text{субскапуларни}}) - (0,00144 \times SKF_{\text{абдоминални}}) - (0,00077 \times Tr) + (0,00071 \times Ma)$$

Једначина која укључује 2 кожна набора и висину (у студији једначина 3а):

$$BD = 1,02415 - (0,00169 \times SKF_{\text{субскапуларни}}) + (0,00444 \times Ht) - (0,00130 \times SKF_{\text{абдоминални}})$$

Једначина која укључује 4 кожна набора и висину (у студији једначина 3б):

$$BD = 1,03316 - (0,00164 \times SKF_{\text{субскапуларни}}) + (0,00410 \times Ht) - (0,00144 \times SKF_{\text{абдоминални}}) - (0,00069 \times SKF_{\text{мидаксиларни}}), + (0,00062 \times SKF_{\text{грудни}})$$

где је Ht-висина.

Показано је и да одабране и ново формулисане једначине примењене на мерама узетих од испитаника подељених по спортовима недовољно прецизно процењују ниске и високе вредности густине тела. На основу резултата предложили су да се конструишу једначине специфичне за одређене спортове.

Метода Торланда и сар. (1984)

Торланд и сарадници су сматрали да дотадашње антропометријске технике у процени густине тела код спортиста у адолесцентном добу нису довољно прецизне те су спровели студију са циљем да изведу нове једначине и да ураде унакрсну валидацију на групи такмичара адолесцентног доба из других спортова (4). За развијање нових једначина, користили су групу мушких (узраста 14 - 19 година) и групу женских (узраста 11 - 19 година) спортиста регрутованих са такмичења националних првенстава из атлетике, гимнастике, роњења и рвања. За унакрсну валидацију ново изведених једначина користили су узорак мушких рвача средњошколаца и узорак одраслих алтетичарки. Измерили су дебљину кожных набора са 7 локација (трицепс, скапуларно, мидаксиларно, супраилијачно, квадрицепс и листа медијално). Узели су и мере 14 телесних обима (врат, рамена, груди, абдомен 1, абдомен 2, кукови, ручни зглоб, подлактица, бисепс у екстензији, бицепс у флексији, натколеница, лист и чланак), и 9 мера пречника (би-акромиални, би-делтоидни, грудни, би-илијачни, би-трохантерни, ручни зглоб, лакат, колено и чланак). Густина тела је одређивана подводним мерењем уз примену корекције за резидуални волумен плућа и била је узета за стандард наспрам којег су изведене антропометријске процене густине тела.

$$BD = 1.1136 - (0.00154 \times \Sigma[Tc, Sb, Ax]) + (0.00000516 \times \Sigma[Tc, Sb, Ax]^2),$$

где су BD – густина тела, Tc – кожни набор трицепса, Sb – субскапуларни кожни набор, Ax – пазушни кожни набор.

Једначина Торланда и сарадника за израчунавање густине тела помоћу дебљине 7 кожных набора за мушкарце:

$$BD = 1.1091 - (0.00052 \times \Sigma[Tc, Sb, Ax, IC, Ab, Th, Ca]) + (0.00000032 \times \Sigma[Tc, Sb, Ax, IC, Ab, Th, Ca]^2),$$

где су BD – густина тела, Ax – пазух, Tc – трицепс, Σ – збир кожных набора, Sb – субскапуларни кожни набор Ab – абдоминални кожни набор, IC – супраилијачни кожни набор (илиокристални), Th – кожни набор квадрицепса, Ca – кожни набор листа.

Метода Еванса и сар. (2005)

На основу претраге литературе Еванс и сарадници су установили да до тада није рађена валидација антропометријских једначина са мерама које спадају у четворокомпонентни модел (3). Стога је основни циљ ове студије био да се формира антропометријска једначина и изврши њена унакрсна валидација користећи четворокомпонентни модел као стандард. У студију је било укључено 132 испитаника који су се бавили спортом на нивоу колеца у САД. За четворокомпонентни модел мерени су укупни садржај воде методом дилуције деутеријума, минерални састав кости ДХА методом и густина тела подводним мерењем. Мерења су дебљина субскапуларног, пекторалног, мидаксиларног, супраилијачног, кожног набора трицепса, абдомена и бутине (означене у оригиналној студији као 7SKF). Једначину су формирали укључујући 7SKF мере, као и расу и пол (кодиране 0 за женски пол односно кавказоидну расу и 1 за мушки пол односно негроидну расу) 102 испитаника:

$$\%BF = 10,566 + 0,12077 \times 7SKF - 8,057 \times \text{пол} - 2,545 \times \text{раса}$$

Унакрсна валидација са процентом масти добијеним преко четворокомпонентног модела је урађена на преосталих 30 испитаника и резултати су показали да једначина Еванса и сарадника боље предвиђа %BF од осталих антропометријских једначина које су одабрали да тестирају (једначине по Ортизу, Сирију и Вагнеру). Занимљиво је да се истакне да су у студији приказали и једначину која укључује мере са три локације кожных набора (3SKF) која има сличну прецизност као једначина са мерама седам кожных набора ($p = 0,85$).

$$\%BF = 8,977 + 0,24658 \times 3SKF - 6,343 \times \text{пол} - 1,998 \times \text{раса}$$

Метода Ђивара и сар. (2002)

Примарни циљ ове студије је био да валидирају методу биоелектричне импеданце у односу на одабране антропометријске једначине користећи подводно мерење као стандард (29). Поред тога извршили су и унакрсну валидацију одабраних антропометријских једначина и формирали нову на основу мера добијених са своје популације испитаника. У студију је било укључено 99 спортиста мушког пола са нивоа универзитетских такмичења просечне старости око 20 година. Процена телесног састава је урађена методом подводног мерења телесне масе, БИА методом и стандардним антропометријским мерењем висине, телесне масе и дебљине кожных набора. Резултати статистичке анализе су показали да БИА метода недовољно прецизно даје %BF код активних младих мушкараца. Такође, резултати унакрсне валидације седам одабраних антропометријских једначина су показали да једначина Дурнина и Вомерслија (20) најпрецизније предвиђа %BF код младих спортиста мушког пола. Напошетку су приказали и једначину формирану на основу података добијених са своје популације испитаника:

$$\%BF = 0,432 \times SKF_{\text{трицепс}} + 0,193 \times SKF_{\text{абдоминални}} + 0,364 \times SKF_{\text{бицепс}} + 0,077 \times BM - 0,891$$

Међутим, њихова једначина је била мање прецизна ($p = 0,8426$) од једначине Дурнина и Вормслија ($p = 0,937$).

Метода Рајлија и сар. (2009)

Рајли и сарадници су у својој студији тестирали да ли једначине развијене на популацији спортиста из различитих спортова могу бити примењене и на групу испитаника који се баве једним спортом, у њиховом случају професионалним фудбалом (30). Поред тога на основу популације испитаника укључених у своју студију, Рајли и сарадници су развили и једначину специфичну за професионалне фудбалере. У студију је било регрутовано 45 професионалних фудбалера. Испитаницима су узете дебљине кожных набора са осам места (трицепс, бицепс, субскапуларно, илијачно, супраспинално, абдоминално, квадрицепс и медијална страна листа) поред осталих антропометријских параметара. За тестирање одабраних једначина и валидацију нове једначине специфичне за професионалне фудбалере као референтне вредности су користили %BF добијен DXA методом. Резултати статистичких анализа су показали да су се %BF добијени применом одабраних једначина у различитој мери разликовали од DXA вредности и да су вредности добијене применом једначине Витерса и сарадника показале највећи степен корелације са DXA вредностима. Применом методе регресионе анализе формирали су своју једначину у коју су укључене вредности дебљине кожных набора квадрицепса, абдомена, трицепса и средњег дела листа:

$$\%BF = 5,174 + 0,124 \times SKF_{\text{квадрицепс}} + 0,147 \times SKF_{\text{абдоминални}} + 0,196 \times SKF_{\text{трицепс}} + 0,13 \times SKF$$

На основу резултата приказаних у својој студији Рајли и сарадници су показали да једначине формиране на основу мера популације испитаника из више спортова имају тенденцију да дају више вредности за %BF у односу на референтне вредности. Закључили су да је неопходно да се изведу једначине специфичне за одређене спортове и да је апсолутни императив да будуће студије имају референтни метод као што је на пример DXA.

Метода Стјуарта и Ханана (2000)

Студија Стјуарта и Ханана је имала за циљ да испита која метода, БИА или антропометријске методе, боље предвиђа количину BF и FFM (31). Поред тога, циљ им је био и да изведу нову једначину за предвиђање BF и FFM које су прецизније од до тада познатих једначина. DXA је коришћена као референтна метода. Студију су спровели на 82 испитаника, спортиста мушког пола који се баве различитим спортовима на универзитетском нивоу. Свим испитаницима су узете стандарне антропометријске мере, дебљине кожных набора са стандардизованих локација и обављена су мерења БИА и DXA апаратом. Помоћу статистичке методе регресионе анализе извели су следећу једначину за процену масне масе тела:

$$BF [g] = (331,5 \times SKF_{\text{абдоминални}}) + (356,2 \times SKF_{\text{квадрицепс}}) + (111,9 \times m) - 9108,$$

и једначину за процену безмасне масе тела:

$$FFM [g] = 888xm - 252 \times SKF_{\text{абдоминални}} - 382 \times SKF - 335 \times SKF_{\text{квадрицепс}} + 9120,$$

где су BF – телесне масти (енгл. *body fat mass*); FFM – безмасна маса тела (енгл. *fat free mass*), маса тела у kg и SKF – дебљина кожних набора у мм.

Резултати студије су такође показали да антропометријске једначине прецизније предвиђају телесни састав и масне и безмасне масе тела, од БИА методе.

Метода Витерса и сар. (1987/2009)

За разлику од студија објављених до 1987. године које су рађене на специфичним популацијама, Витерс и сарадници су конструисали једначину користећи већи број спортиста из различитих спортова (32). Студија је урађена на 185 мушких спортиста, припадника 18 репрезентативних састава из јужне Аустралије. Укључени су спортски састави који учествују на такмичењима из бадминтона, кошарке, бициклизма, атлетике, цуда, хокеја на терену, лакроса на терену, гимнастике, тркача на ролерима, сквоша, пливања, одбојке, рагбија, паверлифтинга, веслача, аустралијског фудбала (аустралијска верзија америчког фудбала) и фудбала. Витерс и сар. су узели мере Харпенден калипером са кожних набора трицепса, бицепса, субскапуларно, пекторално, супраспинално, абдоминално, предње стране натколенице и листа. Затим су мерили обиме са 10 телесних локација калибрисаном изолираном траком које укључују врат, ручни зглоб, савијена надлактица, опуштена надлактица, струк, пупак, натколеница, лист, чланак и груди, као и 3 телесна пречника (грудни, би-илијачни и би-актромиални) помоћу антропометра са широком оштрицом. Густину тела су одредили подводним вагањем док је резидуални волумен плућа одређен дилуцијом хелијума. Вредности мерења су искоришћене за формирање једначине методом степенасте анализе мултипле регресије. У коначну регресиону анализу су укључене само оне варијабле које су имале статистички значајну предикцију. На основу добијених вредности Витерс и сарадници су формирали једначину за процену телесне густине, а тиме и процену %BF, помоћу кожних набора са 7 локација:

$$BD = 1,0988 - (0,0004 \times \Sigma[Tc, Sb, Bc, Sp, Ab, Th, Ca]),$$

где су BD – густина тела, Bc – кожни набор бицепса, Tc – кожни набор трицепса, Σ – збир кожних набора, Sb – субскапуларни кожни набор, Ab – абдоминални кожни набор, Sp – супраспинални кожни набор, Th – кожни набор квадрицепса, Ca – кожни набор листа.

Унакрсна валидација њихових мерења и вредности добијених применом 11 претходно изведених једначина је показала да те једначине имају ограничену примену код репрезентативаца (32).

Метода Оливера и сар. (2012)

Студија Оливера и сарадника је имала за циљ да статистичком методом вишеструке регресионе анализе формулише једначине за предвиђање процента масти на основу антропометријских мера и да изврше валидацију нових једначина у односу на мере добијене ДХА методом (2). Студија је рађена на 157 испитаника који су били играчи америчког фудбала у лиги колеџа. Испитаницима је мерен телесни састав ДХА апаратом и узете су мере кожних набора (пекторални, трицепс, субскапуларни, супраилијачни, абдоминални и кожни набор бутине) и обима чланка, листа, бутине,

кука, струка, груди, ручног зглоба, подлактице, надлактице и врата. Методом вишеструке регресионе анализе су добили три једначине за предвиђање %BF.

$$\%BF = (0,178 \times \text{АНП}) + (0,097 \times \text{АУМБ}) + (0,089 \times \text{SFSUM}) - 219,641$$

$$\%BF = (0,193 \times \text{АНП}) + (0,133 \times \text{АУМБ}) + (0,371 \times \text{SFAB}) - 23,0523$$

$$\%BF = (0,132 \times \text{SFSUM}) + 3,530$$

АНП – обим кука (енгл. *hip circumference*, у cm); АУМБ – обим струка (енгл. *umbilical circumference*, у cm); SFAB – абдоминални кожни набор (енгл. *abdominal skinfold*, у mm); SFSUM – збир свих кожных набора (енгл. *skinfold sum*, у mm)

Све три једначине су показале високо статистички значајну позитивну корелацију са %BF добијеним DXA апаратом. На основу тога су извели закључак да оне могу бити адекватна замена за DXA апарат у праћењу промена телесног састава код играча америчког фудбала у колеџ лиги.

1.2.4. Метода биоелектричне импеданце

Метода биоелектричне импеданце (БИА) је метода која се заснива на електричним својствима организма на ткивном и ћелијском нивоу. Историјски гледано сматра се да је италијански физичар Галвани, 1786. године посматрајући утицај електричне струје на ткивне структуре жабе извео први забележени експеримент у којем је коришћена биоелектрична импеданца. Потом су Томазе (Томасет) и сарадници 1960. године развили први апарат за мерење биоелектричне импеданце који би се примењивао за анализу ткива. Међутим, принципе функционисања биоелектричне импеданце који се данас користи установио је амерички истраживач Нибер (enl. Nyboer) 1970. године (33). Од тада биоелектрична електрична импеданца је постала веома популарна метода из више разлога: једноставности руковања, портабилности, неинванзивности и ниског до средњег ценовног ранга.

Принцип БИА методе подразумева одређивање отпора односно импеданце ткива при проласку слабе наизменичне електричне струје кроз тело испитаника, при чему већи отпор протоку струје пружају ткива са мањим садржајем воде. Дакле, струја пролази кроз тело без отпора кроз мишиће, док отпор који постоји при пролазу кроз масно ткиво се назива биоелектрична импеданца. Измерена вредност биоелектричне импеданце најбоље корелира са вредношћу укупне телесне воде, па су на основу тога конструисане формуле за израчунавање укупне телесне воде. Безмасна маса тела се потом добија на основу те израчунате вредности укупне телесне воде, при чему се користи константна вредност процентуалног садржаја воде у безмасној маси тела. На крају, масна маса тела се израчунава као разлика укупне телесне масе и безмасне масе тела. Односно, апарат подешен са подацима испитаника (пол, висина, тежина, ниво активности) преко инсталираног софтвера, израчунава процентуални садржај масти (и осталих сегмената) у структури састава тела. Дакле, БИА методом добијамо неколико важних информација о телесном саставу: укупну количину воде, масну масу тела, безмасну масу тела, минерални садржај костију, укупну количину живих ћелија у организму, екстрацелуларну масу, индекс нутритивног статуса и ћелијске фракције. Важно је да се истакне да у укупну количину воде у организму не улази вода која је унета у дигестивни тракт непосредно пре мерења, јер није апсорбована односно није укључена у метаболичке процесе. Такође, БИА апарат не региструје екстремно

нагомилавање воде и течности у абдоминалној дупљи јер та течност није саставни део безмасне масе. Референтне вредности укупне количину воде су: нормалан распон за мушкарце 50 – 60%; нормалан распон за жене 55 – 65%; за мишићни тип 70 – 80%; гојазан тип 45 – 50%. Масна маса тела (телесне масти) представља укупну количину масти (неесенцијалних и есенцијалних) у телу, док је безмасна маса тела количина ткива која не садржи масти у која спадају предоминантно мишићи, затим остали унутрашњи органи, скелет, и централни нервни систем. Минерални састав костију (енгл. mineral bone content, ВМС) представља количину минерала у костима и зависи од величине и густине костију. Укупна количина живих ћелија у организму (енгл. body cell mass, ВСМ) подразумева укупну количину метаболички активних ћелија у организму. Према том параметру се прати глобално стање организма у смислу ухрањености. Екстра целуларна маса (енгл. extracellular mass, ЕСМ) представља део безмасне масе тела који се налази ван живих ћелија у организму. Неизменљиви и стални делови ЕСМ су структуре везивног карактера: колаген, еластин, кожа, тетиве, фасције и кости; док течни део ЕСМ чине плазма, интерстицијална течност и трансцелуларна вода. Индекс нутритивног статуса који представља однос екстрацелуларне о укупне количине ћелија у организму (ЕСМ/ВСМ) се узима као показатељ ухрањености особе. Код здравих људи ћелијска маса је незнатно већа од ванћелијске масе, тако да је овај индекс мало мањи од 1. Ћелијска фракција изражена у процентима представља ћелије безмасне компоненте које припадају укупној маси ћелија. Стога ћелијска фракција добро осликава нутритивни статус и кондицију. Нормални нивои процента ћелијске фракције су: за мушкарце 53 – 59%, а за жене 50 – 56%. Лоша исхрана као и хиперхидратација смањује овај проценат (33).

Као што је претходно објашњено, вредности добијене БИА методом зависе пре свега од укупне количине воде у телу. Због те чињенице било какве промене статуса хидрираности могу значајно да утичу на валидност резултата БИА методе. На пример, пацијенти који узимају диуретике не би требало да буду мерени на БИА апарату јер резултати неће бити валидни. Поред хидрираности, на тачност мерења могу да утичу и интензитет вежбања, позиција тела и температуре коже.



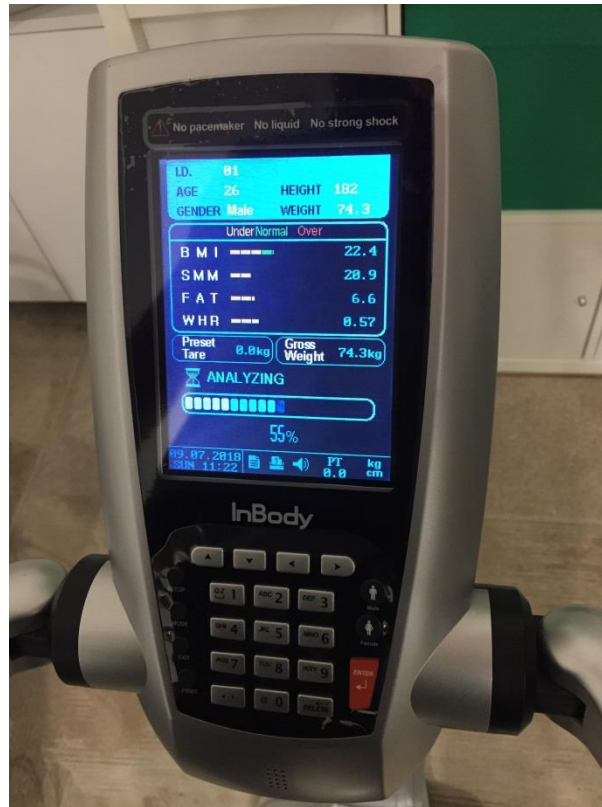
Слика 19. InBody 970 БИА анализатор
(преузето из: <https://inbodyusa.com/products/>)

Како би се боље контролисали ови фактори који могу да утичу на валидност БИА мерења, треба поштовати следеће смернице пре тестирања:

- не јести и не пити ништа претходна 4 сата;
- не би требало вежбати претходних 12 сати;
- не конзумирати алкохол унутар претходних 48 сати;
- не користити диуретике претходних 7 дана;
- уринирати у претходних 30 минута.

Специфичне смернице које треба узети у обзир могу да зависе и од модела БИА апарата који користи. Заједничка карактеристика свих апарата је да морају да имају две тачке контакта тела са електродама тзв. „hand-hand”, „foot-foot” и најзасушљенији „hand-foot”. Предност „hand-foot” БИА апарата је што даје информације о распореду масних наслага (енгл. *segmental fat*), док „hand-hand” даје примарно мере за горњи део тела, а „foot-foot” за доњи део тела. Постоје модели „hand-foot” апарата чије се електроде стављају на шаке и стопала испитаника и испитаник је у лежећем положају, док код других модела испитаник држи ручице апарата и закорачи на платформу на којој се налазе електроде за ноге. Калибрацију већине апарата ради уграђени софтвер. Пре самог мерења у програм уређаја се убацују демографски подаци о испитанику, као што су старост, пол, висина и телесна маса. Телесна висина и маса се мере пре самог мерења. Неки од БИА апарата имају и опцију уношења нивоа физичке активности испитаника, као и етничке припадности. Процент односно маса масног ткива у саставу

тела се добија помоћу основних или специфичних једначина. Код неких модела БИА уређаја постоје опције одабира адекватне једначине за израчунавање.



Слика 20. Дисплеј *InBody* 230 БИА анализатора

1.2.5. Метода двоенергетске апсорпциометрије X зрака

Метода двоенергетске апсорпциометрије X зрака (DXA) је савремена метода дензитометрије која користи веома мале дозе јонизујућег зрачења (X-зраци) како би биле генерисане слике из унутрашњости тела. Проласком X-зрака кроз тело његова енергија се смањује (атенуира) услед апсорпције ткива. Степен пригушења зависи од дебљине ткива, густине и хемијског састава ткива. Метода се заснива на чињеници да кости и мека ткива имају различите коефицијенте атенуације (слабљења) сигнала када се кроз њих пропусти јонизујуће зрачење. Ако се користе X-зраци једне енергије није могуће разлучити колико њиховом слабљењу енергије доприносе мека ткива а колико кости. Због тога је развијена метода у којој се примењују X-зраци две различите енергије јер коефицијент атенуације зависи од енергије X-зрака, односно, однос коефицијената атенуације се мења са променом енергије X-зрака. Тако да DXA апарат, његов софтверски део на основу те разлике у апсорпцији, односно разлике у коефицијентима атенуације уз одговарајуће корекције елиминира ефекат апсорпције меког ткива како би се добила количина апсорпције костију, а тиме и густина кости. Дакле, DXA је метода која даје слике у две димензије односно слике могу бити раздвојене на две компоненте, кости и мека ткива. Пиксели у којима је однос коефицијената атенуације испод одређеног прага се класификују као меко ткиво. У тим пикселима слабљење енергије X-зрака је у линераној зависности у односу на удео масти у меком ткиву. Пиксели изнад прага садрже сигнале из костију и меког ткива при

чему се онда сигнали меког ткива интерполирају на основу пиксела околног меког ткива (34).

Апарати DXA састоје се од скенера и рачунара. Скенер чини постолје на којем лежи испитаник, извор и детектор X-зрака (слика 3). Извор X-зрака се обично налази испод постолја и пропушта X-зраке кроз тело испитаника, док атенуисане зраке који прођу кроз тело сакупља детектор који се налази изнад испитаника. Да би мерење дало валидне резултате током мерења које траје од 5-20 минута, извор и детектор су подешени тако да се крећу ректилинеарно.



Слика 21. DXA апарат серије iLunar
(преузето из: www.gehealthcare.com)

DXA метода се примарно користи као златни стандард за одређивање густине костију и тиме у дијагностици остеопеније и остеопорозе (35). У последње време раширена је употреба ове методе у одређивању телесног састава, јер DXA скенер поред густине минерала у костима може да одреди и BF и FFM. (36). DXA метода у зависности од типа скенера може да мери вредности за цело тело и појединачне сегменте. При основном подешавању софтвер дели тело на 6-7 сегмената: главу, торсо, пелвис и удове, док детаљније мерење појединих сегмената подешава оператер. Сматра се да хидрираност тела испитаника минимално утиче на валидност мерења. Поред тога DXA метода је неинвазивна, укупна ефективна доза зрачења је минимална, лака је за извођење и резултати не зависе од других мерења (телесне масе, висине и сл.). Значајна предност је и да у поређењу са магнетном резонанцом, DXA мерење може да да проценат висцералног масног ткива код гојазних особа (37). У потенцијалне недостатке ове методе убрајају се ограничење телесне масе испитаника (због издржљивости кревета) и евентуална варијабилност у хидрираности и дебљине ткива између индивидуа односно популације испитаника.

На основу свега наведеног намеће се закључак да је праћење промена у телесном саставу важан део праћења прогреса током периода интензивних тренинга и припрема за такмичења. Истраживачке групе широм света су уложиле пуно времена и ресурсе у валидацији антропометријских метода и БИА, као једноставнијим методама за

извођење, користећи DXA као референтни метод. Оливер и сар. су на пример показали да на популацији играча америчког фудбала антропометријске једначине које су извели прецизно предвиђају проценат телесних масти када се упореде са вредностима добијеним мерењем телесног састава DXA методом, што их чини приступачном алтернативом и у економском и у практичном смислу (2). Такође, Стјуарт и Ханан су валидацијом БИА и антропометријских метода у односу на DXA методом утврдили да антропометријске једначине прецизније предвиђају проценат масти (31).

II ЦИЉЕВИ ИСТРАЖИВАЊА

2. 1. Циљеви истраживања

Мерењем дебљине кожних набора спортиста из борилачких спортова и употребом одабраних постојећих једначина за процену процента телесних масти као и анализом метода биоелектричне импеданце и двоенергетске апсорпциометрије X зрака утврдити:

1. Проценте телесних масти процењени различитим антропометријским методама.
2. Проценте телесних масти процењени БИА и DXA методама.
3. Корелацију процента телесних масти процењених антропометријским методама и DXA методом.
4. Корелацију процента телесних масти процењених БИА и DXA методама.

III

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

3. 1. Испитаници и дизајн студије

Студија је обухватала 101 професионалног спортисту борилачких спортова (n=101), старости од 17-33 година, од којих 33 рвача (n=33), 35 џудиста (n=35) и 33 кикбоксера (n=33). Испитаници су регрутовани преко спортских клубова са више места у Републици Србији позивом упућеним од матичних савеза (национални савез за рвање, џудо и кик-бокс). Критеријум инклузије спортиста је подразумевао бављење такмичарским спортом на националном и/или интернационалном нивоу дуже од 2 године, уз то да последњих шест месеци нису имали дуже тренажне паузе и мировање узроковано повредом или неким другим фактором. У том смислу испитаници су испуњавали критеријуме елитног спортисте дефинисане по *Свону* и сарадницима: редовно се такмиче на највишем нивоу али немају успехе (енгл. *competitive-elite*), такмиче се на највишем нивоу и имају успехе (енгл. *successful-elite*) или су спортисти светске класе што подразумева освајање медаља (енгл. *world-class-elite*) (38). Сви испитаници укључени у студију су након детаљног објашњења дизајна и циљева студије потписали образац за добровољни пристанак на учешће у истраживању. Студија је одобрена од стране Етичког комитета Факултета Медицинских наука, Универзитета у Крагујевцу (број дозволе 01-14980).

3. 2. Припрема испитаника за тестирање

Антропометријска мерења (мерење висине, телесне масе и дебљине кожних набора) и анализе телесног састава БИА и ДХА методама урађене су на Одељењу за реуматологију, КЦ Војводина, Нови Сад. Пре доласка на мерења испитаници су били обавештени о датуму и времену вршења анализа и саветовани да понесу адекватну одећу (антропометријско одело) у виду широког шорца или купаћих гаћа. Испитаници су били подељени у три групе и сва мерења су обављена у три дана (27, 28, 29.11.2021. године). Прво им је одређена висина тела, потом је урађена БИА анализа током које им је одређена и телесна маса, затим скенирање целог тела ДХА методом и на крају антропометријска мерења. Сва опрема потребна за мерење је била претходно припремљена и калибрисана. Са посебном пажњом су извршена мерења дебљине кожних набора како би се осигурало прецизно одређивање локација тачака за мерење и комфор испитаника.

3. 3. Антропометријска мерења

3.3.1 Одређивање висине тела

Висина тела је мерена висиномером или стадиометром *SECA (model SECA 206, Germany)*. Овај инструмент се састоји од вертикалног лењира, који је најчешће постављен на зид, као и хоризонталног граничника који може да клизи дуж њега. Након стављања на зид, калибрација висиномера није потребна јер је чврсто фиксиран. Приликом мерења телесне висине било је потребно да се испоштују одређени стандарди како би се добили валидни резултати. Испитанику је речено да приступи мерењу у антропометријском оделу и да буде потпуно бос. Током мерења испитаник је стајао усправно, са рукама и раменима опуштеним крај тела. Стопала су му била равна, пете су се додиривале, а прсти у односу на пету су били под углом од 45 степени. Све време током мерења висине тела пете, глутеална регија, горњи део грудног коша и потиљак испитаника су били у контакту за зидном површином. Испитанику је речено да нормално удахне и да задржи ваздух док гледа испред себе како би глава била постављена у неутрални положај у односу на браду односно франкфуртска равна била

паралелна са подлогом. Хоризонтални граничник је затим спуштен да додирује врх главе и очитана вредност изражена у сантиметрима је забележена у записник.

3.3.2 Мерење обима

Обими су мерени флексибилном металном траком калибрисаном у сантиметрима која је градуисана у милиметрима (Lufkin metal tape). Мерење обима хумеруса и фемура је обављено клизним калипером фирме Rosscraft распона 15 cm, градуисаног у милиметрима, чија је тачност мерења 0.5 mm.

3.3.3 Мерење дебљине кожних набора

Локације и дебљине кожних набора су одређиване према ISAK стандардима (*International Standards for Anthropometric Assessment, ISAK*) (2011) (39). Дебљина кожних набора је мерена Harpenden калипером који има мерни распон од 0 до 80mm (казалка описује четири пуна круга око скале баждарене од 0 до 20mm) и тачност очитавања од 0,2 mm. Калипер је био калибрисан сваког дана пре мерења. Сва мерења су вршена са десне стране испитаника. Мерења су вршена у серијама крећући се од једне тачке до друге док се не заврши цео протокол, како би се осигурала прецизност. Серије су понављане три пута, следећим редоследом:

- 1) Пекторални кожни (енгл. *chest*, Ch) набор је добијен подизањем коже дуж границе великог грудног мишића између антериорног пазушног набора и мамиле. Мера је узета на половини растојања између антериорног пазушног набора и мамиле испитаника;
- 2) Пазушни кожни набор (енгл. *midaxillar*, Ma) је добијен одизањем коже на пресеку замишљене вертикалне линије која полази из средине пазушне јаме и хоризонталне линије која полази од ксифоидног наставка грудне кости;
- 3) Абдоминални кожни набор (енгл. *abdominal*, Ab) је добијен вертикалним одизањем коже на латералној дистанци од 2cm од пупка испитаника;
- 4) Кожни набор илијачног гребена (супраилијачни, енгл. *suprailiac*, Si) је добијен дијагоналним одизањем коже одмах изнад гребена илијума на вертикалној линији која иде од средине пазуха испитаника;
- 5) Супраспинални кожни набор (енгл. *supraspinal*, Sp) је добијен одизањем коже одмах изнад гребена илијума на вертикалној линији која иде из антериорног пазушног набора испитаника;
- 6) Субскапуларни кожни набор (енгл. *subscapular*, Sb) је добијен косим одизањем коже 1 cm испод инфериорног угла лопатичне кости 45° степени у односу на хоризонталну раван, који се протеже природном линијом расцепа коже испитаника;
- 7) Кожни набор трицепса (енгл. *triceps*, Tr) је добијен вертикалним одизањем коже постериорног гледишта на трицепс, на средини између продужетка олекранона и продужетка акромиона док је рука испитаника у супинацији.
- 8) Кожни набор бицепса (енгл. *biceps*, Bc) је добијен вертикалним одизањем коже на страни антериорног гледишта на бицепс испитаника, на истом хоризонталном нивоу као кожни набор трицепса;
- 9) Кожни набор квадрицепса (енгл. *thigh*, Th) је добијен вертикалним одизањем коже на страни антериорног гледишта на бутину, на пола пута између препонске бразде и

проксималне границе пателе испитаника, при чему су испитаници колена држали благо савијено у стојећем положају са петом стопала ослоњеним да се одмара на другом стопалу;

10) Кожни набор медијалног дела листа (енгл. *medial calf*, Ca) је добијен вертикалним одизањем коже на страни медиалног гледишта на лист, на нивоу где је обим листа испитаника најшири, при чему су испитаници држали ногу благо одигнуто ослоњену на врхове прстију.



Слика 22. Мерење дебљине субскапуларног кожног набора.

Након мерења испитаника одговарајуће антропометријске вредности су убачене у одабране антропометријске једначине за процену густине тела или директно за процену процента масти. Одабрани протоколи односно једначине су приказане у Табели 5.

Табела 5: Одабране постојеће антропометријске методе и једначине за %BF у различитим популацијама спортиста.

Аутори/ метода	Антропометријска једначина
Јухас	Једначина која користи дебљине 6 кожних набора: $\%BF = 3,64 + (0,097 (Ch + Tr + Sb + Si + Ab + Th))$
Фолкнер и сар.	Једначина која користи дебљине 4 кожна набора. Данас се сматра као модификација Јухасове методе: $\%BF = 5,783 + (0,153 (Tr + Sb + Si + Ab))$
Форсајт и Сининг 1	Једначина која користи дебљине 2 кожна набора (једначина бр. 2а): $BD = 1,103 - (0,00168 \times Sb) - (0,00127 \times Ab)$
Форсајт и Сининг 2	Једначина која користи дебљине 4 кожна набора (једначина бр. 2б): $BD = 1,10647 - (0,00162 \times Sb) - (0,00144 \times Ab) - (0,00077 \times Tr) + (0,00071 \times Ma)$
Форсајт и Сининг 3	Једначина која користи дебљине 2 кожна набора и висину тела (једначина бр. 3а): $BD = 1,02415 - (0,00169 \times Sb) + (0,00444 \times Ht) - (0,00130 \times Ab)$
Форсајт и Сининг 4	Једначина која користи дебљине 4 кожна набора и висину тела (equation no. 3b): $BD = 1,03316 - (0,00164 \times Sb) + (0,00410 \times Ht) - (0,00144 \times Ab) - (0,00069 \times Tr) + (0,00062 \times Ma)$
Вајт и сар.	Једначина која користи дебљине 2 кожна набора: $BD = 1,0958 - (0,00088 \times Si) - (0,0006 \times Th)$
Торланд и сар. 1	Једначина која користи дебљине 7 кожних набора: $BD = 1,1091 - (0,00052 (Tr + Sb + Ma + Si + Ab + Th + Ca)) + (0,00000032 (Tr + Sb + Ma + Si + Ab + Th + Ca)^2)$
Торланд и сар. 2	Једначина која користи дебљине 3 кожна набора: $BD = 1,1136 - (0,00154 (Tr + Sb + Ma)) + (0,00000516 (Tr + Sb + Ma)^2)$
Витерс и сар.	Једначина која користи дебљине 7 кожних набора, публикована у студији Рајлију и сар. $BD = 1,0988 - (0,0004 (Tr + Sb + Vc + Sp + Ab + Th + Ca))$

Еванс и сар. 1	Једначина која користи дебљине 7 кожних набора, пол и расу: $\%BF = 10,566 + (0,12077 (Sb + Tr + Ch + Ma + Si + Ab + Th)) - (8,057 \times \text{пол}) - (2,545 \times \text{раса})$
Еванс и сар. 2	Једначина која користи дебљине 3 кожна набора, пол и расу: $\%BF = 8,997 + (0,24658 (Ab + Th + Tr)) - (6,343 \times \text{пол}) - (1,998 \times \text{раса})$
Оливер и сар.	Једначина која користи дебљине 7 кожних набора (модел једначине 3): $\%BF = 3,53 + (0,132 (Ch + Tr + Sb + Ma + Si + Ab + Th))$
Рајли и сар.	Једначина која користи дебљине 4 кожна набора: $\%BF = 5,174 + (0,124 \times Th) + (0,147 \times Ab) + (0,196 \times Tr) + (0,13 \times Ca)$
Бивар и сар.	Једначина која користи дебљине 3 кожна набора и телесну масу: $\%BF = (0,432 \times Tr) + (0,193 \times Ab) + (0,364 \times Vc) + (0,077 \times Wt) - 0,891$
Стјуарт и Ханан	Једначина која користи дебљине 2 кожна набора и телесну масу. Ова једначина даје процену масне масе у грамима: $BFM = (331,5 \times Ab) + (356,2 \times Th) + (111,9 \times Wt) - 9108$
Зути и Голдинг	$BD = 1,0806 - (0,001187 \times WC) - (0,001076 \times Ch) + (0,015306 \times WD)$

Ht – Висина тела (*height*); Wt – маса тела (*weight*); BD – густина тела (*body density*); %BF – проценат телесних масти (*body fat percentage*); BFM – маса тела у грамима (*body fat mass, in grams*); Vc – кожни набор бицепса (*biceps skinfold*); Tr – кожни набор трицепса (*triceps skinfold*); Ma – пазушни кожни набор (*midaxilar skinfold*); Sb – субскапуларни кожни набор (*subscapular skinfold*); абдоминални кожни набор (Ab – *abdominal skinfold*); супраилијачни кожни набор (Si – *suprailiac skinfold*); Sp – супраспинални кожни набор (*supraspinale skinfold*); Th – кожни набор средине бутине (*quadriceps skinfold*); Ca – кожни набор средине листа (*medial calf skinfold*); Ch – пекторални кожни набор (*chest skinfold*); WC – обим струка (*waist circumference*), WD – обим зглоба десне шаке (*wrist diameter*). Пол – мушки = 1, Пол – женски = 0 (*gender: man = 1, woman = 0*); раса – афроамеричка = 1, кавказоидна = 0 (*race: African American = 1, Caucasian = 0*).

Протокол по Јухасу

По овом протколу коришћене су мере 6 тачака кожних набора, мерећи прво дебљину кожног набора трицепса, дебљину кожног набора субскапуларно, дебљину кожног набора супраилијачно, дебљину кожног набора абдоминално, дебљину кожног набора надколенице и дебљину кожног набора медијалне стране листа. Добијене вредности мерења кожних набора су убачене у Јухасову једначину за израчунавање густине тела помоћу мера кожних набора (1). Добијене вредности за густину тела су потом убачене у Сиријеву једначину за процену %BF, чијом применом је процењен проценат телесних масти (40).

Протокол по Фолкнеру

По овом протоколу коришћене су мере 4 тачке кожных набора, мерећи прво дебљину кожног набора трицепса, затим кожног набора субскапуларно, дебљину кожног набора супраилијачно и потом абдоминално. Добијене вредности мерења кожных набора су убачене у Фолкнерову једначину за израчунавање густине тела помоћу мера кожных набора (5). Добијене вредности за густину тела су потом убачене у Сиријеву једначину за процену процента телесних масти, чијом применом је процењен %BF (40).

Протокол по Форсајту и Синингу

За примену овог протокола коришћене су вредности добијене мерењем дебљине субскапуларног, пекторалног, торакалног и абдоминалног кожног набора и телесне висине. Вредности мерења кожных набора су прво убачене у једначине Форсајта и Сининга за процену густине тела на основу два односно четири кожна набора, а потом и у једначине које поред два и четири кожна набора имају и висину тела као променљиву (28). Добијене вредности за густину тела су потом убачене у Сиријеву једначину за процену процента телесних масти, чијом применом је процењен %BF (40).

Протокол по Вајту и сар.

За примену овог протокола коришћене су вредности добијене мерењем дебљине субскапуларног и торакалног кожног набора (41). Добијене вредности за густину тела су потом убачене у Сиријеву једначину за процену %BF, чијом применом је процењен проценат телесних масти (40).

Протокол по Торланду и сар.

За примену овог протокола коришћене су измерене вредности дебљина кожных набора субскапуларно, трицепса, пазушно, пекторално, супраилијачно, абдоминално и медијалног листа. Ове вредности су убачене у једначине за израчунавање густине тела Торланда и сарадника, и то прво у једначину која користи вредности свих седам тачака кожных набора, а потом и у једначину која користи вредности три тачке (дебљине кожных набора скапуларно, пазушно и торакално) (4). На основу ових вредности је затим процењен %BF користећи Сиријеву једначину за процену процента телесних масти (40).

Протокол по Витерсу и сар.

По овом протколу коришћене су мере 7 тачака кожных набора: трицепса, скапуларног, бицепса, супраспиналног, торакалног и средине листа, које су убачене у једначину Витерса и сар. (30). Потом су добијене вредности за густину тела убачене у Сиријеву једначину за процену процента телесних масти, чијом применом је процењен %BF (40).

Протокол по Евансу и сар.

За примену овог протокола коришћене су измерене вредности дебљина кожных набора субскапуларно, трицепса, пекторалног, пазушног, супраилијачног, абдоминалног и средине бутине, као и подаци о раси и полу (афро-американска раса је кодирана бројем 1, кавказоидна бројем 0, односно мушки пол 1 а женски 2). Ове вредности за сваког испитаника су убачене у једначине за процену %BF Еванса и сар. и то прво у једначину која користи вредности свих седам тачака кожных набора, а потом и у једначину која

користи вредности три тачке (дебљине кожных набора абдоминално, торакално и трицепса) (3).

Протокол по Оливеру и сар.

По овом протоколу коришћене су мере 7 тачака кожных набора: пекторално, трицепса, субскапуларно, пазушно, супраспинално, абдоминално и средине бутине, које су убачене у једначину за процену %BF Оливера и сар. (2).

Протокол по Рајлију и сар.

За примену овог протокола коришћене су вредности добијене мерењем дебљине кожног набора средине бутине, абдомена, трицепса и средине листа. Вредности мерења кожных набора су убачене у једначину Рајли и сар. за процену %BF на основу четири кожна набора (30).

Протокол по Ђивару и сар.

По овом протоколу коришћене су вредности добијене мерењем дебљине 3 тачке кожных набора (трицепса, абдомена и бицепса) и телесне масе, које су убачене у једначину за процену %BF Ђивар и сар. (29).

Протокол Стјуарт и Ханан

По овом протоколу коришћене су вредности добијене мерењем дебљине 2 тачке кожных набора (абдомена и средине бутине) и телесне масе које су убачене у једначину Стјуарта и Ханана која даје процену масне масе тела у грамама (31).

Протокол по Зутију и Голдингу.

За примену овог протокола коришћене су измерене вредности дебљине пекторалног кожног набора као и обими струка и зглоба десне руке, које су убачене у једначину Зутија и Голдинга. за процену густине тела (27). Добијене вредности за густину тела су потом убачене у Сиријеву једначину за процену процента телесних масти, чијом применом је процењен %BF (40).

3. 4. Биоелектрична импеданца (БИА)

Анализа телесног састава испитаника БИА методом обављена је према упутствима произвођача на апарату модела InBody 230. Пре мерења у апарат су унете информације о старости, полу и телесној висини испитаника. Потом би испитаник стао на вагу тако да су му стопала била у чврстом контакту са електродама. Затим би испитаник узео рукохвате електрода положивши палац и прсте на одговарајуће позиције. Чврсто државши рукохвате са рукама благо одвојеним од тела испитаник је био спреман за мерење (слике 23 и 24).



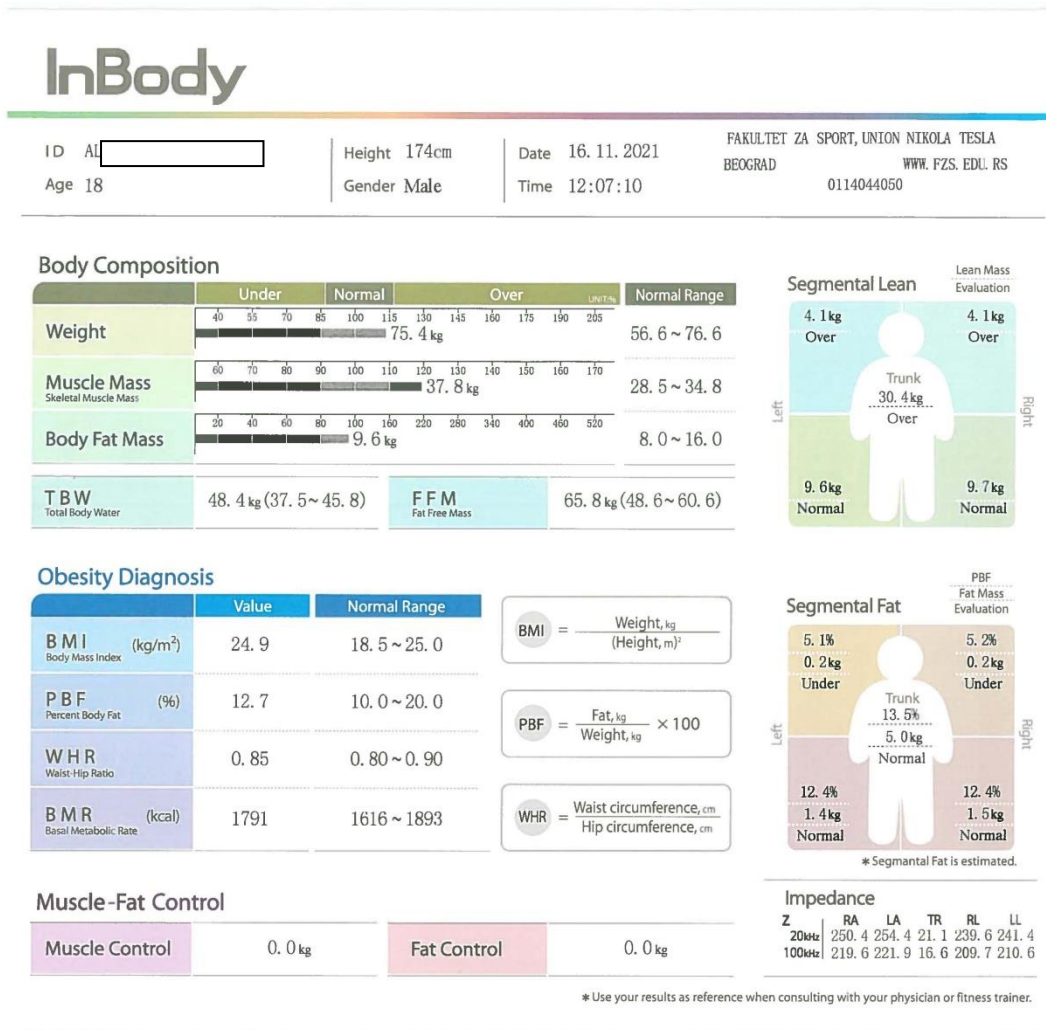
Слика 23. Положај тела испитаника приликом мерења на апарату модела InBody 230.

Након проласка струје ниске фреквенције кроз тело, софтвер би прочитао следеће вредности (слика 25):

1. Укупну количину воде изражену у литрима - TBW;
2. Чисту телесну масу изражену у килограмима - LBM (kg);
3. Процент телесне масти - BF(%);
4. Масу телесних масти изражену у килограмима - FM (kg);
5. Укупну количину живих ћелија у организму изражену у килограмима - BCM (kg);
6. Ванћелијску масу изражену у килограмима - ECM (kg);
7. Однос ванћелијске и масе ћелија - ECM / BCM Index;
8. Пропорцију ћелија - CP (%)
9. Ванћелијску воду изражену у литрима ECW (l)
10. Базални метаболизам изражен у килокалоријама - BMR (kcal).



Слика 24. Анализа телесног састава помоћу БИА апарата, модел InBody 230.



Слика 25. Репрезентативни пример извештаја анализе испитаника са БИА апарата, модел InBody 230.

3. 5. Двоенергетске апсорпциометрије X зрака

DXA скенирање је обављено на Lunar iDXA скенера (GE Healthcare, UK) према смерницама *Hind, Slater-a* и сарадника (42). Процес калибрације је рађен сваког јутра пре отпочињања прегледа помоћу калибрационог блока (QA block) који у себи садржи 3 еталона за густину костију и 3 еталона за састав тела. Испитаници обучени у лаку памучну одећу су током снимања били у лежећем положају на средини стола скенера. Шаке су им биле окренуте на страну са палчевима на горе и длановима усмерених ка ногама при чему су руке биле уз тело испитаника. Током скенирања ноге су биле благо растављене и фиксиране једном траком коју испитаник све време затеже ногама, што омогућава анализу сваке ноге понаособ. Појединачно снимање је трајало у просеку по 6 минута. Све процедуре калибрације, снимања и анализе радио је сертификовани техничар за DXA уређај. Након снимања софтвер за структуру тела *enCORE software V17 (GE Healthcare, UK)* одређује масу масноће и масу мишићног ткива регионално и на целом телу (слика 26). Софтвер има и могућност да прикаже изведене вредности које могу да буду приказане у статистичким форматима. Техничка грешка мерења је 3%.

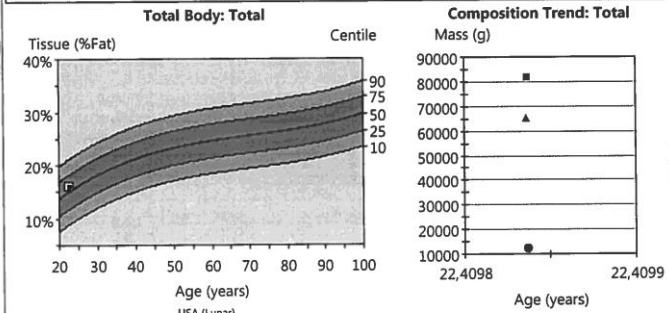
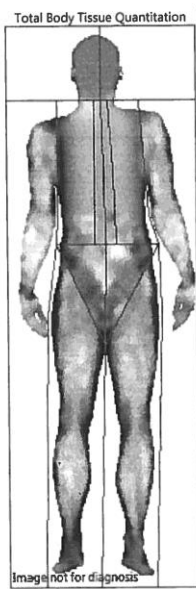


Слика 26. Анализа телесног састава на DXA скенеру iLunar.

KC VOJVODINE
 Hajduk Veljkova 1, 21000 NOVI SAD
 Phone: () - -

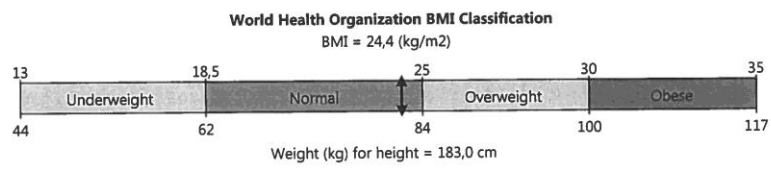
Patient:	ALI	Referring Physician:	Dr
Birth Date:	05.06.1999	Age:	22,4 years
Height:	183,0 cm	Weight:	81,6 kg
Sex:	Male	Ethnicity:	
		Measured:	02.11.2021 15:11:58 (17 [SP 4])
		Analyzed:	02.11.2021 15:14:22 (17 [SP 4])

Region	Composition (Enhanced Analysis)		Total Mass (kg)	Fat (g)	Lean (g)	BMC (g)
	Tissue (%Fat)	Centile				
Arm Right	12,9	-	5,7	692	4.671	288
Arm Left	11,5	-	5,5	601	4.612	269
Leg Right	17,7	-	15,1	2.560	11.868	709
Leg Left	16,1	-	15,3	2.347	12.195	710
Trunk	15,9	-	35,2	5.407	28.653	1.160
Trunk Right	16,9	-	18,0	2.926	14.433	615
Trunk Left	14,9	-	17,2	2.481	14.220	545
Android	13,7	-	5,3	713	4.484	92
Gynoid	19,1	-	12,6	2.341	9.892	398
Total	16,1	60	82,0	12.565	65.647	3.808



USA (Lunar) Trend: Total (Enhanced Analysis)									
Measured Date	Age (years)	Tissue (%Fat)	Centile	Total Mass (kg)	Tissue (g)	Fat (g)	Lean (g)	BMC (g)	Fat Free (g)
02.11.2021	22,4	16,1	60	82,0	78.212	12.565	65.647	3.808	69.455

USA (Lunar) Trend: Fat Distribution (Enhanced Analysis)				
Measured Date	Age (years)	Android (%Fat)	Gynoid (%Fat)	Total (%Fat)
02.11.2021	22,4	13,7	19,1	16,1



COMMENTS:

Statistically 68% of repeat scans fall within 1SD (± 0,4 % Fat, ±150 g Tissue Mass, ±280 g Fat Mass, ±310 g Lean Mass for Total Body Total); USA (Lunar) Total Body Composition; Male Reference Population (v113); Composition Matched for Age, Sex
 Date created: 02.11.2021 15:51:56 17 [SP 4]; Filename: 6tmy1r4j5k.meb; Total Body: 100,0;19:153;85:15,6 0,00:-1,00 2,40x3,04 12,0;%Fat=16,1%; 0,00:0,00 0,00:0,00; Scan Mode: Standard; 3,0 µGy
 GE Healthcare Page: 1 of 1 Lunar iDXA ME+212276

Слика 27. Репрезентативни пример дела извештаја анализе испитаника са DXA апарата Lunar iDXA.

3.6 Статистичка анализа

Статистичке анализе су урађене применом софтвера Statistical Package for the Social Sciences – SPSS (IBM, version 15.0, Armonk, NY, USA). Провера линеарности за валидност модела, присутност аутлајера и нормалност дистрибуције података је спроведена употребом распршеног графикана (енгл. *scatter plot graph*), Q-Q графикана, хистограма, скјуниса (нагнутост криве) и куртосиса (заобљености криве) и Колмогоров-Смирнов теста. На основу резултата провере, за испитивање корелације БИА методе односно DXA методе и антропометријских метода је примењена Спирманова ранг корелација (r_s), где су вредности $r_s = 0,0 - 0,09$ сматране врлом малом, тривијалном, $r_s = 0,10 - 0,29$ слабом, $r_s = 0,30 - 0,49$ умереном, $r_s = 0,50 - 0,69$ јаком, $0,70 - 0,89$ врло јаком, $0,90 - 0,99$ скоро савршеном и $r_s = 1$ савршеном корелацијом (43). Дескриптивни подаци су приказани кроз средње вредности и вредности стандардних девијација ($\text{mean} \pm \text{SD}$). У свим тестовима вредности вероватноће p мање од 0,05 сматране су значајним, а интервал поузданости је постављен на 95% (95%CI). Прављење графика је урађено у софтверу GraphPad Prism (GraphPad Software Inc, version 6 La Jolla, CA, USA).

IV

РЕЗУЛТАТИ

4. 1. Демографске карактеристике

Индекс телесне масе (енгл. *body mass index*, *BMI*) за сваког испитаника је одређен из измерених вредности телесне масе и телесне висине. Однос обима струка и кукова (енгл. *waste-to-hip ratio*, *WHR*,) је израчунат на основу измерених обима. Резултати су груписани по типу борилачког спорта и приказани у табели 6.

Табела 6. Демографске и антропометријске карактеристике испитаника.

Варијабла	Рвачи	Џудисти	Кикбоксерсери	Укупно
	X ± SD	X ± SD	X ± SD	X ± SD
Старост (године)	18.6 ± 1.9	23.9 ± 4.2	22.8 ± 5.4	20.9 ± 4.2
Телесна висина (cm)	177.2 ± 8.6	178.1 ± 7.1	183.8 ± 6	179.8 ± 7.8
Телесна маса (kg)	77.7 ± 15.5	79.0 ± 15.9	83.0 ± 13.3	80,0 ± 14.0
BMI (kg/m ²)	24.6 ± 3.3	24.8 ± 3.4	24.5 ± 3.3	24.0 ± 3.3
WHR (cm ²)	0.85 ± 0.06	0.85 ± 0.6	0.84 ± 0.07	0.85 ± 0.06
%BF _{BIA}	11.4 ± 4.9	11.0 ± 5.5	11.3 ± 5.3	11.2 ± 5.2
%BF _{DXA}	16.1 ± 5.1	16.5 ± 6.1	18.2 ± 5.6	17.0 ± 5.7

X – средња вредност (енгл. *mean*); SD – стандардна девијација (енгл. *standard deviation*); BMI – индекс телесне масе (енгл. *body mass index*); WHR – однос обима струка и кукова (енгл. *waste-to-hip ratio*); %BF_{BIA} – проценат масти добијен BIA методом (енгл. *body fat estimated by BIA*); %BF_{DXA} – проценат масти добијен DXA методом (енгл. *body fat estimated by DXA*).

Између група испитаника подељених по борилачким спортовима утврђене су статистички значајне разлике у старости и телесној висини ($p < 0,05$). Статистички значајне разлике не постоје, индексу BMI-у и односу WHR-у. Резултати су показали да кикбоксерсери имају већу телесну масу и висину у односу на џудисте и рваче, међутим, како се BMI израчунава као однос телесне масе и квадрата телесне висине та разлика не утиче на вредност BMI.

Процентуални удео испитаника из различитих борилачких спортова је приказан на графику 1.



График 1. Графикон заступљености испитаника по борилачким спортовима.

4.2. Процена %BF антропометријским и методама БИА и ДХА

Кроз мерења дебљине кожных набора, телесне висине и масе, процењене су вредности %BF применом одабраних антропометријских једначина представљених у табели 5 како је описано у одељку метода. Такође, %BF је одређен БИА и ДХА методама за сваког испитаника (табела 6).

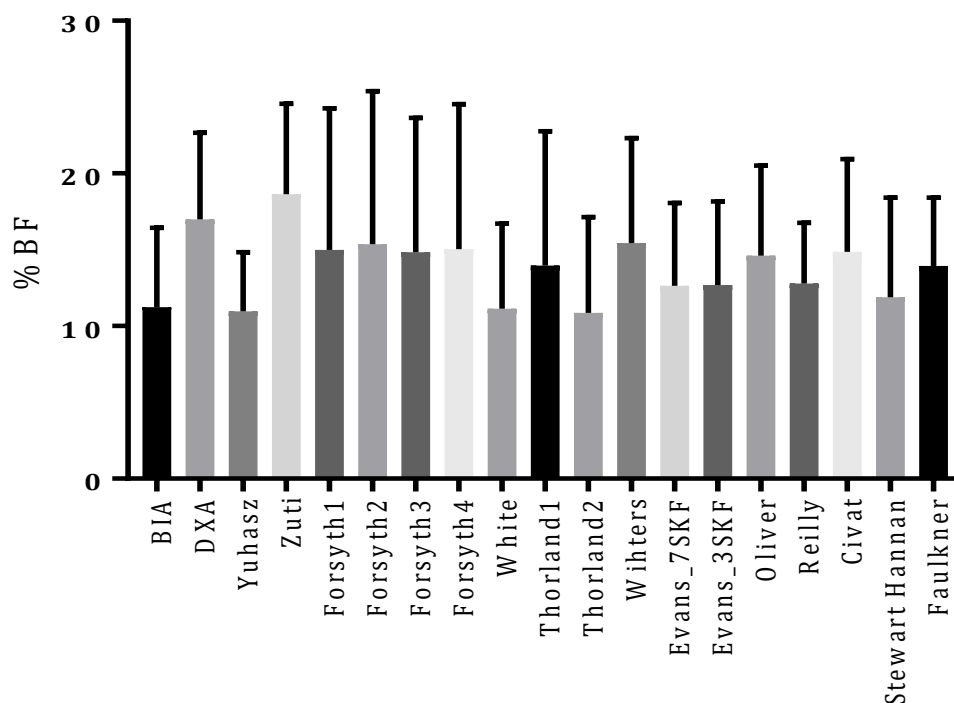


График 2. Прорачуном добијен %BF из антропометријских једначина односно БИА и ДХА методама (n=101). Резултати су приказани као средња вредност ± стандардна девијација.

Анализом графика 2 можемо уочити да су утврђене велике разлике у вредностима %BF одређених различитим антропометријским једначинама и методама БИА и DXA. Најмање процењене вредности се крећу од 10,9 % телесних масти по протоколу и једној од једначина Торланда и сар. (са 3 измерене тачке кожных набора) до 18,6 % телесних масти по протоколу Зутија и Голдинга. Вредност добијена БИА методом износи 11,2 %, док DXA показује 17 % (график 2).

4.3. Корелације процената %BF процењених антропометријским методама и методом DXA

Однос између вредности %BF одређених применом одабраних антропометријских метода и једначина и DXA методе испитан је применом Спирманове ранг корелације. За шеснаест од седамнаест процењених вредности %BF добијених применом антропометрије утврђене су статистички високо значајне корелације $p < 0,001$ са вредностима добијеним мерењем DXA методом са врло јаком и јаком корелацијом ($r_s = 0,569-0,909$). Резултати су сумирани у табели 7 и приказани на графицима 3-19. Највећи степен корелације уочен је за вредности %BF добијених једначином по Јухасу ($r_s = 0,909$, график 3). Међутим и вредности добијене применом једначина Оливер и сар, Еванс и сар, Торланд и сар. 1 и Фолкнера су показале сличан степен корелације са вредностима добијених DXA методом (r_s вредности око 0,9, графици 6, 7, 8 и 13). Изузетак је коефицијент корелације добијен анализом вредности одређених по Зутију и Голдингу, где је r_s вредност мања од 0,6 (график 4).

Табела 7. Корелације процењених %BF применом постојећих одабраних антропометријских једначина и DXA методе.

Антропометрија/ DXA	r_s	p
Стјуарт и Ханан	0.876**	< 0.001
Ћивар и сар.	0.834**	< 0.001
Рајли и сар.	0.899**	< 0.001
Оливер и сар.	0.907**	< 0.001
Еванс и сар. 2	0.907**	< 0.001
Еванс и сар. 1	0.905**	< 0.001
Витерс и сар.	0.890**	< 0.001
Торланд и сар. 2	0.840**	< 0.001

Торланд сар. 1	0.906**	< 0.001
Вајт и сар.	0.887**	< 0.001
Форсајт и Сининг 4	0.886**	< 0.001
Форсајт и Сининг 3	0.852**	< 0.001
Форсајт и Сининг 2	0.877**	< 0.001
Форсајт и Сининг 1	0.848**	< 0.001
Зути и Голдинг	0.569**	< 0.001
Фолкнер	0.904**	< 0.001
Јухас	0.909**	< 0.001

r_s – Спирманов коефицијент корелације; p – статистичка значајност; ** - $p < 0,001$.

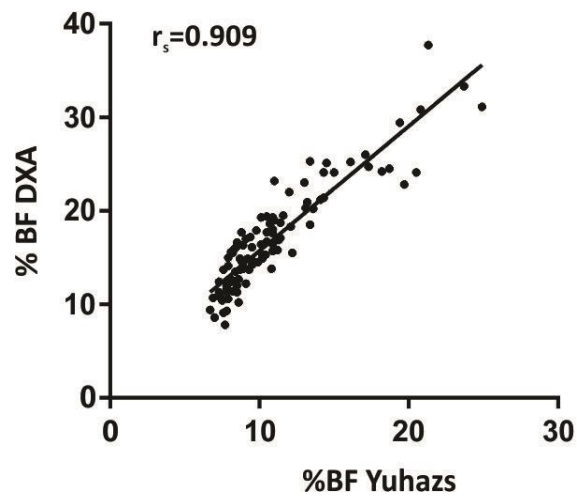


График 3. Приказ корелационих вредности %BF добијених DXA методом и методом антропометријске једначине по Јухасу.

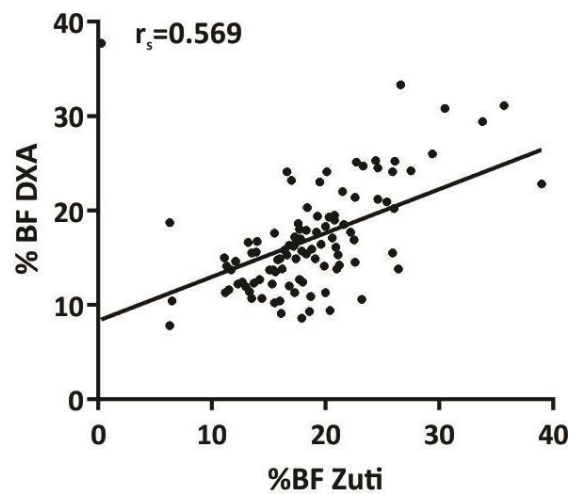


График 4. Приказ корелационих вредности %BF добијених DXA методом и методом антропометријске једначине по Зутију.

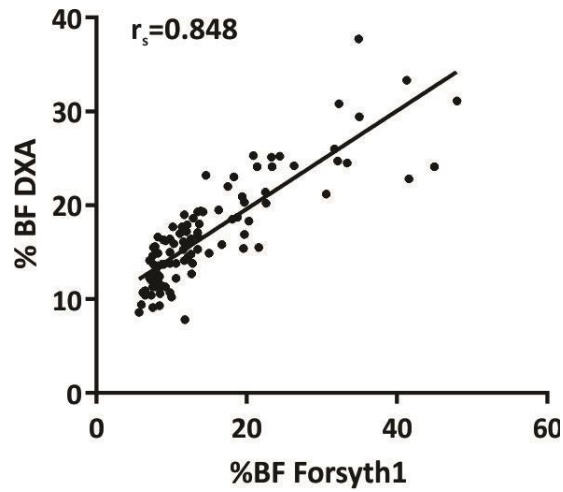


График 5. Приказ корелационих вредности %BF добијених DDXA методом и методом антропометријске једначине по Форсајту 1.

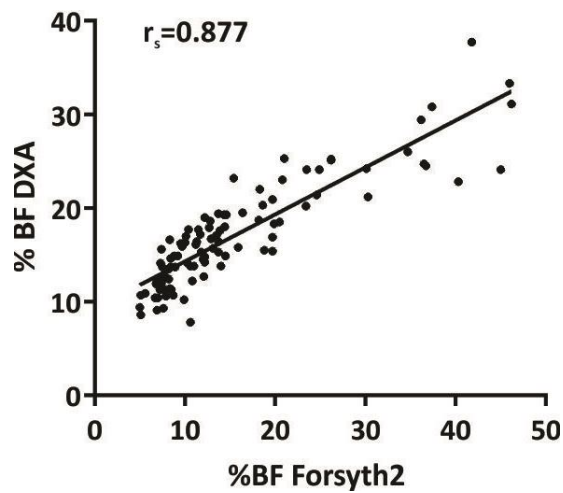


График 6. Приказ корелационих вредности %BF добијених DDXA методом и методом антропометријске једначине по Форсајту 2.

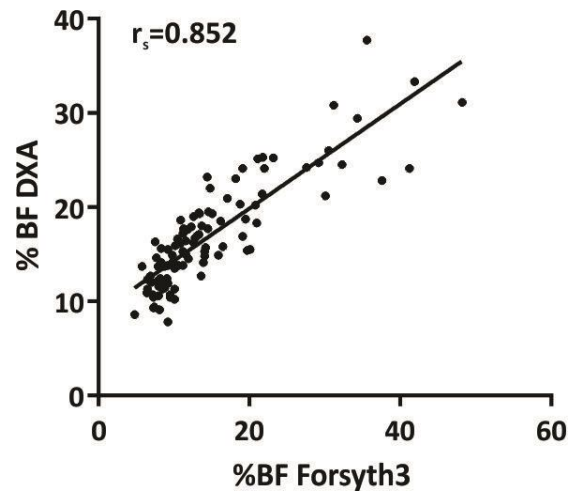


График 7. Приказ корелационих вредности %BF добијених DXA методом и методом антропометријске једначине по Форсајту 3.

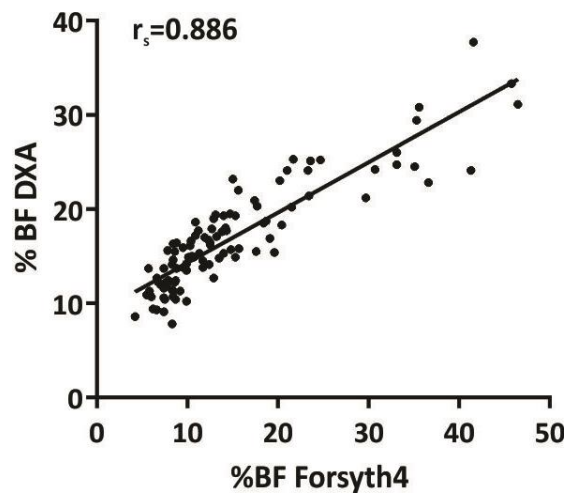


График 8. Приказ корелационих вредности %BF добијених DXA методом и методом антропометријске једначине по Форсајту 4.

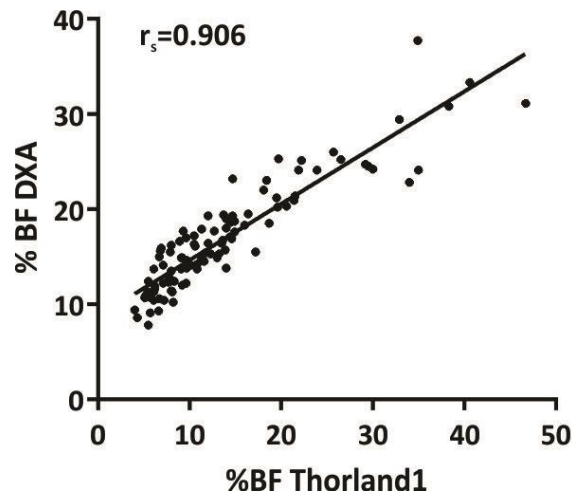


График 9. Приказ корелационих вредности %BF добијених DXA методом и методом антропометријске једначине по Торланду 1.

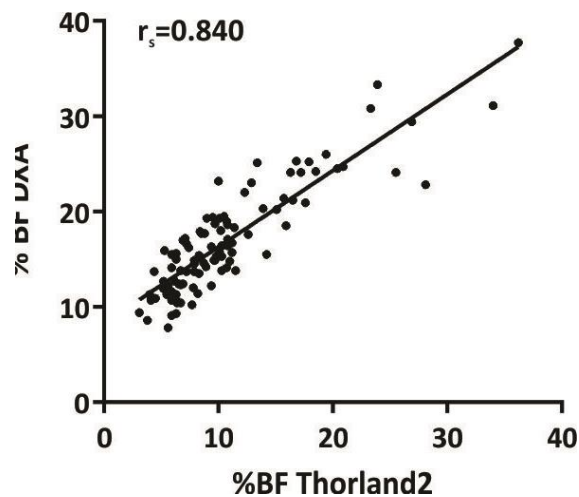


График 10. Приказ корелационих вредности %BF добијених DXA методом и методом антропометријске једначине по Торланду 2.

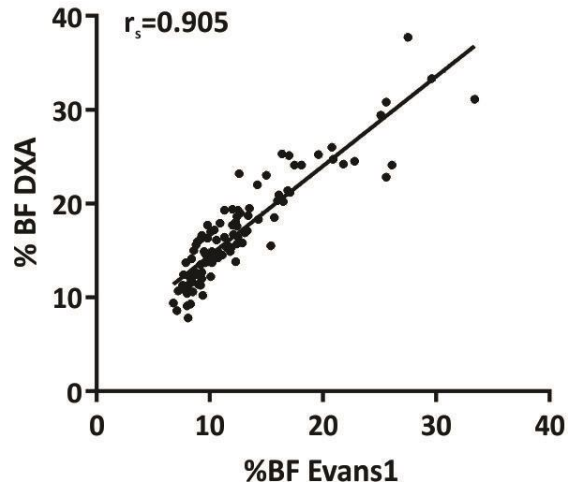


График 11. Приказ корелационих вредности %BF добијених DXA методом и методом антропометријске једначине по Евансу 1.

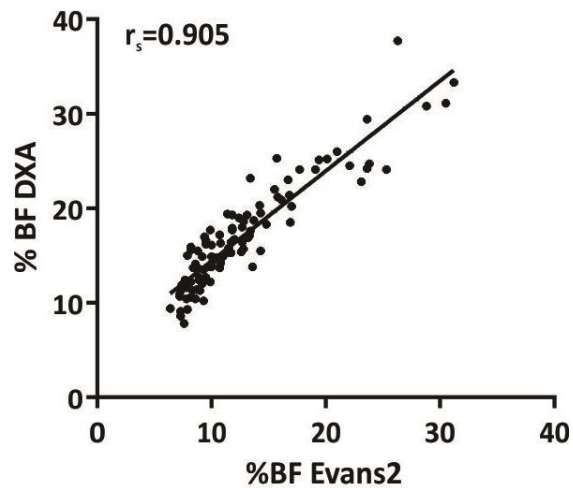


График 12. Приказ корелационих вредности %BF добијених DXA методом и методом антропометријске једначине по Евансу 2.

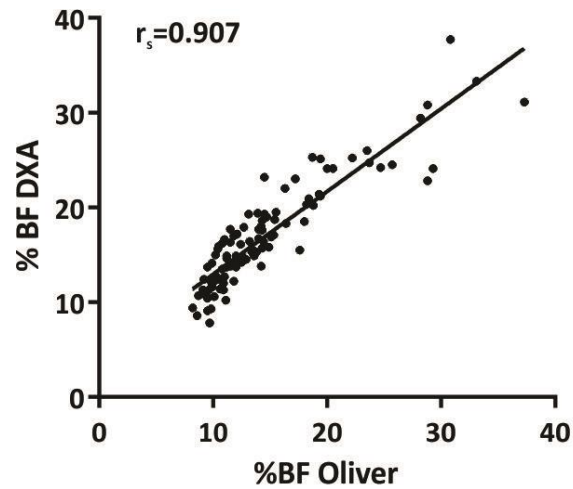


График 13. Приказ корелационих вредности %BF добијених DXA методом и методом антропометријске једначине по Оливеру.

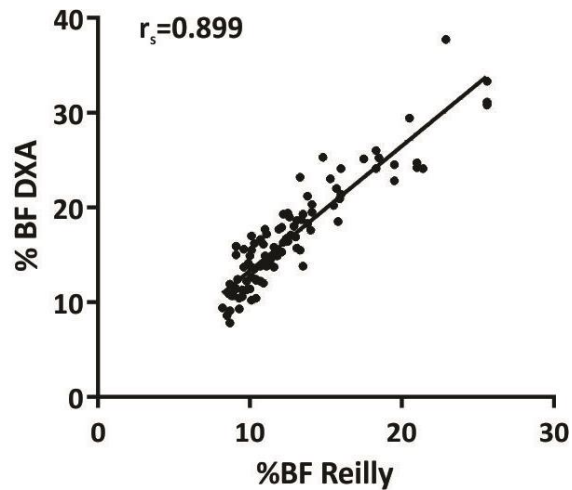


График 14. Приказ корелационих вредности %BF добијених DXA методом и методом антропометријске једначине по Рајлију.

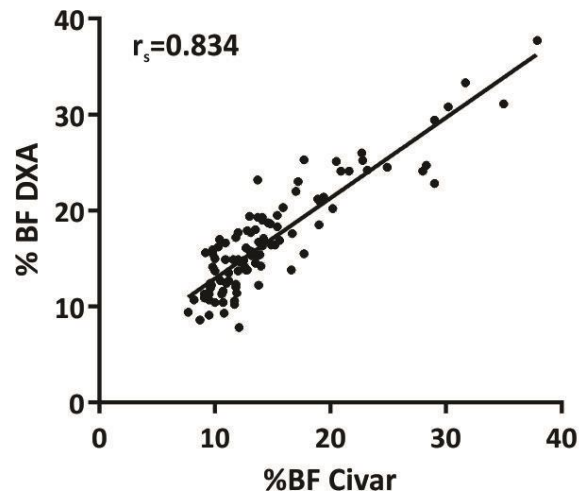


График 15. Приказ корелационих вредности %BF добијених DXA методом и методом антропометријске једначине по Цивару.

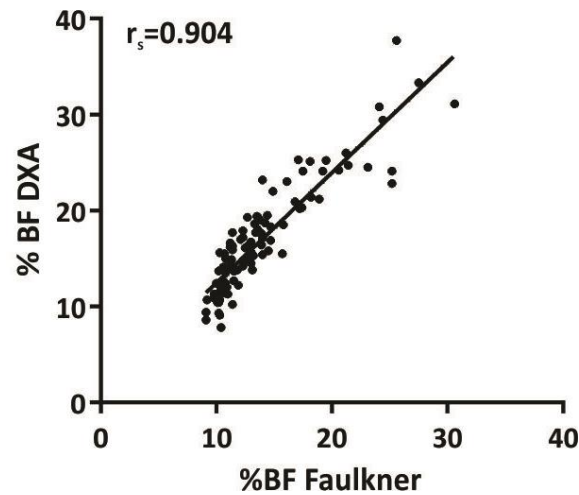


График 16. Приказ корелационих вредности %BF добијених DXA методом и методом антропометријске једначине по Фокнеру.

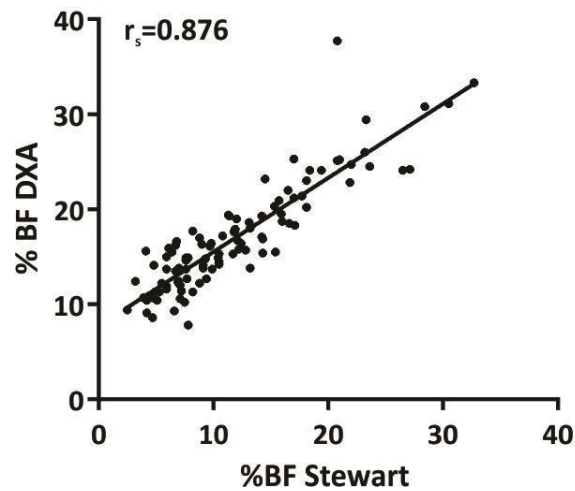


График 17. Приказ корелационих вредности %BF добијених DXA методом и методом антропометријске једначине по Стјуарту.

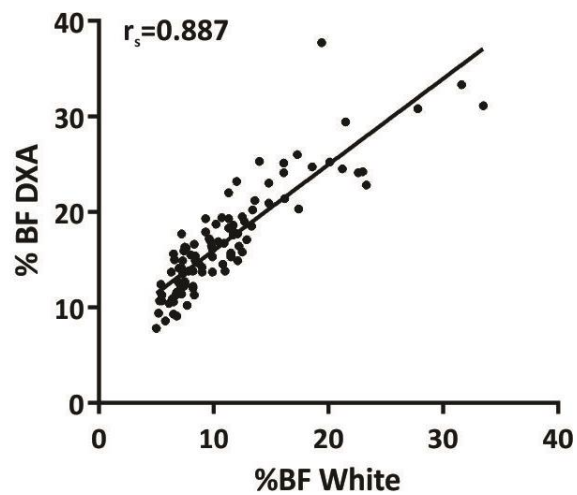


График 18. Приказ корелационих вредности %BF добијених DXA методом и методом антропометријске једначине по Вајту.

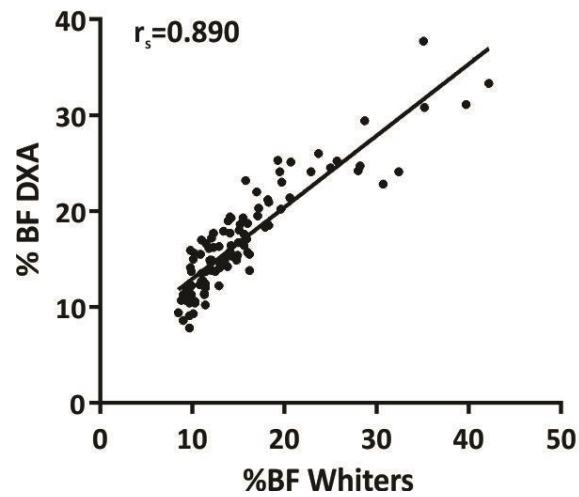


График 19. Приказ корелационих вредности %BF добијених DXA методом и методом антропометријске једначине по Витерсу.

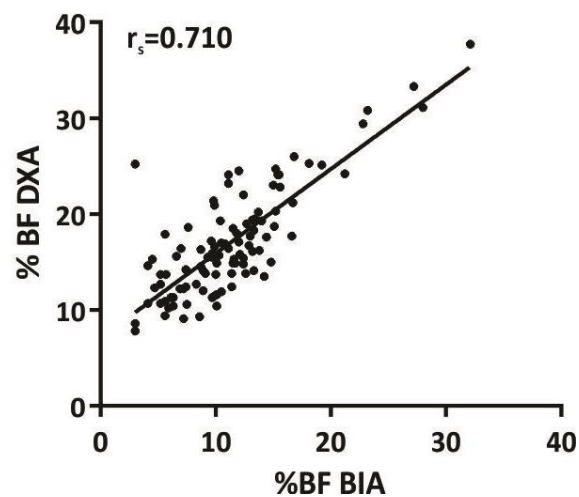


График 20. Приказ корелационих вредности %BF добијених DXA и БИА методама.

Поред тога уочен је висок степен преклапања 95% интервала поверења, а вредности су приказане у табели 8.

Табела 8. Средње вредности %BF добијене DXA, БИА и применом одабраних антропометријских једначина.

Метода	Средња вредност (доњи-горњи 95% интервал поверења)
DXA	17 (15,9-18,1)
БИА	11,2 (10,2-12,3)
Стјуарт и Ханан	11,9 (10,6-13,2)
Ћивар и сар.	14,9 (13,7-16,1)
Рајли и сар.	12,8 (12-13,6)
Оливер и сар.	14,6 (13,4-15,8)
Еванс и сар. 2	12,7 (11,6-13,8)
Еванс и сар. 1	12,6 (11,6-15,8)
Витерс и сар.	15,4 (14,1-16,8)
Торланд и сар. 2	10,9 (9,63-12,1)
Торланд сар. 1	14 (12,2-15,7)
Вајт и сар.	11,1 (10-12,2)
Форсајт и Сининг 4	15 (13,2-16,9)
Форсајт и Сининг 3	14,8 (13,1-16,6)
Форсајт и Сининг 2	15,4 (13,4-17,3)
Форсајт и Сининг 1	15 (13,2-16,9)
Зути и Фолдинг	18,6 (17,5-19,8)
Фолкнер	13,9 (13,1-14,8)
Јухас	11 (10,2-11,7)

4.3. Корелације %BF процењених методама БИА и DXA

Применом Спирманове ранг корелације анализирана је и повезаност вредности %BF одређених БИА и DXA методама, при чему је утврђена јака корелација и висока статистичка значајност (табела 9, график 20).

Табела 9. Корелација % ВФ одређених БИА и ДХА методама

Метод	r_s	p
БИА/ДХА	0,710**	< 0,001**

r_s – Спирманов коефицијент корелације; p – статистичка значајност; ** - p < 0,001.

V
ДИСКУСИЈА

5.1. Дискусија

Ако бисмо данас као спортски стручњак, тренер или чак и спортиста лично започели “онлајн” интернет претрагу за антропометријском методом или једначином коју бисмо желели да применимо у пракси, сусрели бисмо се са десетинама истраживачких студија у којима су развијене и препоручене антропометријске једначине за процену %BF код опште или неке специфичне спортске популације. Овако велики број антропометријских метода и једначина доводи до забуне и неретко погрешног избора антропометријских једначина у пракси. Доступност антропометријских студија кроз електронске базе путем интернета и релативно ниске цене DXA анализе су довели до тренда спровођења и објављивања овакве врсте антропометријских студија. Иако има назнака да DXA анализа пружа прецизније резултате када се ради о процени минералног садржаја костију и безмасне масе тела (44,45), ова метода другог нивоа валидности се данас сматра референтном или критеријумском методом и код процене телесних масти (31,46), мада је показано и да DXA као трокомпонентни модел у поређењу са четворокомпонентним моделом зна да потцењује %BF, поготово код особа са мршавијом масом тела (47–49). Утврђивањем корелације односно коефицијента корелације између постојећих антропометријских метода и DXA методе као и између БИА и DXA методе у процени %BF мушких спортиста би се проверило да ли нека од постојећих антропометријских метода и БИА методе корелира довољно високо са DXA методом и самим тим пружа могућност спортским стручњацима да је примене као оптималну замену за DXA методу у одређеним ситуацијама када DXA апарат није доступан. У овом раду смо добили одговор на питања “да ли?”, “колико јако?” и “које?” од познатијих постојећих антропометријских методе корелирају боље или лошије са критеријумском DXA методом и да ли су антропометријске метода оптималније као замена за DXA методу од БИА методе када се ради о примени ових метода на спортисте из спортова са тежинским категоријама односно тежинско-осетљивим спортовима као што су борилачки спортови. Провером линеарности модела и нормалности дистрибуције података отркивено је да је узорак спортиста у овом раду недовољно хомоген за примену Пирсонове линеарне корелације услед чега је за статистичку обраду резултата и података примењена Спирманова ранг корелација.

5.2. Проценти телесних масти добијени различитим антропометријским методама

Резултати овог рада су показали да шеснаест од седамнаест одабраних постојећих антропометријских једначина показује врло јаку или скоро савршену корелацију са DXA методом ($r_s = 8,40 - 0,909$), ако употребимо Хопкинсонову скалу за приказ јачине коефицијента корелације. Анализом графикана са слике 13. можемо уочити да су утврђене и велике разлике у вредностима %BF добијене овим различитим антропометријским једначинама. Распон процењених %BF се креће између 10,9% - 18,6% BF телесних масти за исти узорак испитаних спортиста у овом раду. Овакве значајне варијације између антропометријских метода су заправо неретка појава и у другим студијама. На пример, у студији Суарез-Аронес и сар. (50) је између осам антропометријских метода (укупно спортских и неспортских) забележен распон од 7,2% – 18% BF, док је у студији Лопез-Тејлора (51) од 14 спортских једначина примењених на узорак фудбалера је забележен распон од 9,2 - 14,3% BF.

За разлику од БИА или неке друге методе трећег нивоа валидности за процену %BF, антропометријско мерење је најмање подложно физиолошким варијацијама узрокованих дневним и свакодневним активностима, уносом хране, статусом хидрације, физичким замором односно вежбањем итд, што чини антропометрију адекватнијом за дугорочну примену наспрам осталих индиректних метода (52). Међутим, ограничења у антропометрији су бројна и значајна као и код свих осталих метода трећег нивоа валидности. Једно од главних ограничења антропометрије је техничка грешка мериоца, односно прецизност мериоца у мерењу кожних набора приликом поновљеног лоцирања истих анатомских тачака на телу са којих се узимају мере кожних набора (енгл. *intra-teste technical error of measurement, intra-tester TEM*) и разлика у антропометријском мерењу створена између два или више мериоца (енгл. *inter-tester technical error of measurement, inter-tester TEM*) када се мере кожни набори или неки други антропометријски параметри (нпр. разлике у лоцирању анатомских тачака на телу, разлике у техници мерења као што су јачина притиска прстима приликом захвата набора, величина површине захваћеног набора).

Важност прецизности у антропометрији се може видети у студији Кера и сар. где је показано да код мерења већине кожних набора одступање од само 1 cm приликом поновљеног лоцирања и мерења кожних набора на истим ИСАК прописаним анатомским тачкама ствара статистички значајну разлику у измереним вредностима (53). Ово нам говори колико је важно да антропометријска мерења изводи стручан и искусан антропометричар. Затим имамо и ограничење у виду претпоставке да је дебљина пресабијеног кожног набора константна приликом њихове компресије, иако постоје фактори који могу да утичу на пресабијени кожни набор, као што су различита јачина компресије прстију мериоца и кракова калипера који користи мерилац. Ограничење антропометрије се испољава и у томе што се сматра двоструко индиректном методом. Осим што се телесне масти мере индиректним путем, да би се вредности измерене антропометријом претвориле у проценат телесних масти потребно је употребити регресиону анализу за развијање антропометријских једначина тако што ће се резултати антропометријског мерења кроз регресиону анализу поредити са резултатима неке од критеријумских метода другог нивоа валидности попут ДХА методе које су такође индиректне методе, што самим тим ствара двоструку индиректност у антропометрији. На крају, када извршимо антропометријско мерење и дођемо до одабира антропометријске једначине коју планирамо да применимо за измерене вредности кожних набора, телесних обима и коштаних дијаметара, сусрећемо се са још једним врло значајним ограничењем у виду специфичности испитаника и специфичности методе и протокола мерења примењених за ту антропометријску методу. Фактори ограничења у виду ових специфичности могу бити године, пол, раса, примењен метод и протокол антропометријског мерења (нпр. *ISAK* или неки други протокол), ниво или ранг такмичења, кондиционо стање спортисте итд.

5.3. Проценти телесних масти добијени БИА методом

Резултати у овом раду су указали на врло јаку корелацију БИА и ДХА методе. Међутим, већина антропометријских метода је показала већи коефицијент корелације од БИА-е приликом поређења са истим ДХА апаратом. Када говоримо о процени %BF, метода БИА је данас једна од најзаступљенијих метода у пракси. Одликује се карактеристикама као што су неинвазивност, лака и безбедна употреба, релативно приступачна цена, па чак код већине модела и портабилност. Међутим иако врло популарна и заступљена метода, као и остале методе трећег нивоа валидности у процени телесног састава, БИА се такође одликује и мање или више значајним ограничењима.

Једно од најзначајнијих ограничења БИА методе код процене %BF су физиолошке промене унутар организма спортиста настале услед неке дневне или свакодневне физичке активности, уноса хране и промене статуса хидрације, које могу значајно да утичу на резултате БИА анализе. Затим, међу значајним ограничењима приликом поређење резултата БИА и ДХА методе у објављеним студијама је постојање и употреба различитих модела и врста БИА и ДХА апарата код процене телесне композиције. У студији Андреолија и сар. се може видети једно такво поређење резултата, где се кроз процењивање %BF и FFM показало да резултати једног БИА модела апарата значајно одступају од резултата друга два БИА модела апарата приликом поређења са истим ДХА апаратом, у процени %BF и FFM код просечне и гојазне популације (54). Кроз студије се дошло до сазнања и о ограничењу у виду непрецизности БИА апарата у процени процента телесног састава гојазних особа и особа са мишићном хипертрофијом (55–59). Као још једно ограничење ове методе се може навести употреба протокола у трајању од 48 часова где се корисницима верује на реч да су испоштовали протокол. И на крају, такође би требало споменути као ограничење ове методе и то што произвођачи БИА апарата често не пружају информацију о референтној популацији која је употребљена за развијање једначине коју примењује БИА апарат приликом БИА анализе телесног састава што може утицати на прецизност процене телесног састава.

5.4. Корелације процента телесних масти процењених антропометријским методама и ДХА методом.

Трећи циљ овог рада је био да се на основу мерења дебљине кожных набора, телесних обима и зглобних дијаметара утврди корелација %BF антропометријским методама и ДХА методом, код спортиста борилачких спортова са тежинским категоријама. Испитивањем корелације антропометријских метода и ДХА методе у овом раду утврђено је да антропометријске методе Јухас (1), Оливер и сар. (2), Еванс и сар. 1 (3), Торланд и сар. 1 (4), Еванс и сар. 2 (3) и Фолкнер (5) указују на највиши степен корелације са ДХА методом у процени %BF код мушког узорка спортиста борилачких спортова са тежинским категоријама. Ових шест метода су показале скоро савршену корелацију са ДХА методом и међусобно готово занемарљиву разлику у њиховим коефицијентима корелације ($r_s = 0,904 - 0,909$ или $r_s = 0,90 - 0,91$ уколико бисмо пријавили коефицијент са 2 децимале). У студији Лопез-Тејлора и сарадника (51) рађеној на мексичким фудбалерима друге лиге, где се утврђивала прецизност процене %BF постојећих спортских и неспортских антропометријских једначина наспрам ДХА методе, од спортских антропометријских једначина аутори су издвојили једначине Оливер и сар. (2) и Ђивар и сар. (29) као две од пет једначина које се нису статистички значајно разликовале од резултата анализе ДХА методом

Аутори поменуте студије су истакли да су Оливер и сар. и Ђивар и сар. једначине указивале на најуже границе споразума (енгл. *limits of agreement*) са ДХА-ом, док су преостале три од пет једначина Зути и Голдинг (27), Форсајт и Сининг (са 4 кожна набора и са два кожна набора) (28) указивале на нешто шире границе споразума. Резултати студије Лопез-Тејлора и сар. се делимично поклапају са резултатом овог рада, јер се у оба истраживања антропометријска метода или једначина Оливер и сар. (2012) наводи као метода која би изгледа могла да послужи као оптимална замена за ДХА методу у процени %BF код популације мушких спортиста. У студији Лопез-Тејлора и сар. антропометријска метода Оливер и сар. је указала на најбољи резултат код испитивања разлике и статистичке значајности са ДХА-ом, док се у овом раду показала као метода са другом најјачом корелацијом са ДХА-ом, мада већ споменуто са потпуно занемарљивом разликом у коефицијенту корелације наспрам Јухас методе која је на првом месту односно која је показала најјачи коефицијент корелације са ДХА-ом. Иако се једначина Ђивар и сар. у студији Лопез-Тејлора и сар. наводи као друга антропометријска метода која се добро показала приликом утврђивања разлика са ДХА-ом, у овом раду Ђивар и сар. метода, иако такође са врло јаким коефицијентом корелације са ДХА-ом, је од седамнаест анализираних постојећих једначина заузела претпоследње место по јачини показаног коефицијента корелације.

Интересантно је и то да се у студији Лопез-Тејлора и сар. наводи и метода односно једначина Зутија и Голдинга (1973) као једна од пет једначина код којих није било статистички значајне разлике приликом поређења са ДХА-ом, док се у овом раду метода Зутија и Голдинга показала као једина која није имала врло јаку или скоро савршену корелацију са ДХА-ом у процени %BF. У студији Суарез-Аронес и сар. (50) која је поредила корелацију неколико заступљенијих антропометријских метода и БИА методе у процени %BF код елитних фудбалера указано је такође на јаку корелацију свих осим једне од антропометријских метода када су се поредиле са ДХА-ом. Међутим, у истој студији антропометријске методе Јухас (1) и Оливер и сар. (2) међу осам испитаних метода (укупно спортских и неспортских) су имале нижи коефицијент корелације од метода Фолкнер (5) и Витерс и сар. (32). Заправо у студији Суарез-Аронес и сар. метода Фолкнер је једина указивала на коефицијент корелације преко $r_s = 0,80$ када су у питању спортске антропометријске једначине примењене у истој студији. Резултати из Суарез-Аронес се делимично поклапају са резултатима овог рада, јер је Фолкнер једначина једна од шест једначина која је испољила скоро савршену корелацију са ДХА-ом односно једна од шест једначина са кофицијентом корелације преко $r_s=0,9$.

Још једна студија у којој наилазимо на одређена поклапања у резултатима са овим радом је студија Петрија и сарадника (60) у којој се испитивала корелација антропометријских метода (укупно спортских и неспортских) са ДХА-ом у процени %BF на узорку фудбалских судија. Петри и сар. су показали да од шест антропометријских метода које су упоредили са ДХА методом, Фолкнерова и Јухас метода су заузеле прва два места по висини коефицијента корелације (уз неспортску методу Дурнин и Вомерслија (20) која је делила друго место са Јухас методом).

У студији Рајлија и сар. (30) у сегменту студије где су се упоређивале неке од постојећих антропометријских метода са ДХА методом у процени %BF фудбалера Премијер лиге, антропометријска једначина Витерс и сар. (32) је указала на најјачи степен корелације са ДХА-ом, мада би требало додати и то да остале једначине које су се поредиле са ДХА-ом у студији Рајлија и сар. нису биле развијене на спортској популацији, па је могуће да је једначина Витерс и сар. указала на најбољи резултат у поређењу са ДХА-ом базирано само на чињеници да је рађена на спортској популацији, док остале анализирани студије односно методе нису. Са друге стране, ово нам

потврђује да спортска антропометријска једначина даје бољу корелацију са ДХА-ом од неспортских једначина када се примене на неку спортску популацију. У овом раду антропометријска једначина Витерс и сар, коју су заправо Рајли и сарадници извели из података у студији Витерса и сарадника из 1987. године (30), је показала врло јаку корелацију са ДХА-ом уз коефицијент корелације који се међу седамнаест анализираних антропометријских једначина по јачини налази негде на средини.

5.5. Корелације процента телесних масти процењених БИА и ДХА методама.

Последњи циљ овог рада је био да се на основу мерења дебљине кожних набора, телесних обима и зглобних дијаметара утврди корелација %BF процењених БИА и ДХА методом. Досадашња истраживања у којима се испитују статистичка значајност, разлика или јачина корелације антропометријских метода и БИА методе наспрам ДХА методе најчешће указују на исход у корист антропометријских метода, односно на већу прецизност антропометрије у процени %BF него што БИА пружа, што се поклапа и са резултатима овог рада. У овом раду, поређење БИА и ДХА методе је указало на врло високу корелацију ове две методе, мада на самој граници са јаком корелацијом ($r_s = 0,710$).

У студији Леао и сар. (61), утврђивање корелације %BF између БИА и ДХА метода је указало на умерену корелацију ове две методе ($r = 0,335$). Након примене Бленд-Алтман анализе, Леао и сар. су приметили да што је мањи %BF измерен БИА-ом то је већа разлика наспрам %BF измерених ДХА-ом. Штавише, у истој студији код 94,5% младих елитних фудбалера са %BF испод 12% је уочено јасно потцењивање процене телесних масти БИА методе у поређењу са ДХА-ом (61). У већ поменутој студији Суарез-Аронес и сар. (50) рађеној такође са узорком са елитним фудбалера је такође показано да БИА потцењује %BF код елитних фудбалера када се пореди са ДХА методом. Суарез-Аронес и сар. указују и на то да предикциона једначина интегрисана у БИА модел који су користили у студији није јавно доступна и да самим тим корисници БИА апарата је не могу манипулисати односно прилагодити својем спортском узорку ни на који начин. Суарез-Аронес и сар. такође наводе да би било интересантно и врло корисно када би имали могућност да манипулишу једначином у БИА апарату ради потенцијалне прецизније процене %BF за специфичне популације спортиста (50). Студије Леао и сар. и Суарез-Аронес и сар су далеко од јединих које указују да БИА метода потцењује %BF у поређењу са ДХА методом, било да је у питању спортска или неспортска односно општа популација (62–64). Недоследности БИА анализе су такође уочене и у виду прецењивања %BF код спортиста са нижим %BF као и у виду потцењивања %BF код спортиста са вишим %BF (65, 66).

5.6. Сумарна анализа резултата

Након сагледања предности, ограничења и поређења антропометријских метода и БИА методе са ДЕХА методом и кроз доказе сагледане из других истраживачких студија такође, могло би се закључити да је најбоље решење за употребу антропометрије приликом процене %BF код тежински-осетљивих односно спортова са категоријама, то да тренери или спортски стручњаци развију сопствене антропометријске једначине на сопственом узорку спортиста унутар свог спортског клуба или унутар локалног/националног савеза, користећи регресиону анализу и ДЕХА методу као референтну за развијање антропометријске једначине. На овај начин би се елиминисала многа битна поменута антропометријска ограничења, као на пример сви фактори

специфичности узорка спортиста (просек година спортског узорка, разлике у полу и раси, разлике у методи и протоколу мерења, ранг такмичења спортиста, кондициони ниво односно ниво утренираности, итд) који праве разлику када користимо антропометријску једначину развијену на некој другој спортској популацији. Затим би се кроз овај начин елиминисало и битно ограничење у виду *inter-tester* ТЕМ-а где може доћи до значајних разлика у процени %BF услед разлика у техници мерења, као што су лоцирање анатомских тачака на телу, притисак прстију другог мериоца на захваћени кожни набор и притисак кракова калипера у зависности од модела и врсте калипера који је користио тај други мерилац. Такође би се ублажило и ограничење у виду *intra-tester* ТЕМ-а, јер не би морали да се ослоњамо на поверење у прецизност и примену поновљених мерења мериоца код развијања одређене антропометријске једначине коју желимо да употребимо, него бисмо били ослоњени искључиво на личну прецизност и примену поновљених мерења. Једина значајна ограничење која не бисмо могли отклонити развијањем антропометријске једначине на сопствени узорак спортиста је претпоставка да се израчунавање телесних масти помоћу антропометрије односи на целокупну вредност телесних масти (висцералне, поткожне масти и све остале масти у људском телу заједно), а не само на укупну вредност поткожних масти, и наравно ограничење познато као двострука индиректност методе, где прву индиректност чини индиректан начин мерења телесних масти помоћу кожних набора, телесних обима и коштаних зглобова, а другу индиректност валидација нове развијене једначине са мерама и процењеним вредностима %BF помоћу DXA анализе, која и сама спада у индиректне методе (другог нивоа валидности).

С обзиром да би за развијање сопствене антропометријске једначине за коју бисмо користили антропометријске мере сопственог узорка спортиста било потребно такође и познавање методологије и примена регресионе анализе, познавање рада и употреба статистичког програма и одлазак спортиста у установу у којој би морали да ураде и DXA анализу, тренери и спортски стручњаци често због недостатка оваквих услова и предуслова су окренути ка некој алтернативној опцији. Алтернатива развијању сопствене специфичне антропометријске једначине би било да употребе неку од постојећих антропометријских метода или БИА методу. У овом раду резултати су показали да иако обе и антропометријске методе и БИА метода испољавају јаку корелацију са DXA методом, коефицијент корелације антропометријских метода се ипак одликује вишом вредношћу од коефицијента корелације БИА методе када се пореде са DXA методом, а код многих антропометријских једначина коефицијент корелације указује чак и на скоро савршену корелацију. Као што је кроз дискусију споменуто, резултати овог рада се поклапају са резултатима већине других студија у којима је пријављено да су антропометријске методе показале јачу корелацију од БИА методе приликом поређења са DXA методом у процени %BF спорту-специфичне или опште популације спортиста. Узимајући ово у обзир и узимајући у обзир и све друге факторе који иду у корист антропометрије као што су мање заузимање простора и мања тежина опреме, па самим тим и лакша и практичнија портабилност, немогућност квара електронских компоненти, једноставнија и временски краћа припрема и протокол за тестирање и далеко мања могућност да на резултате антропометријског мерења утичу дневна или свакодневна физичка активност и физиолошке промене унутар организма мушких спортиста на дневној или на данас-до-сутра бази (физиолошке промене створене физичком активношћу, уносом хране, статусом хидратације итд.) као што се може десити код БИА анализе, изгледа да је употреба спорту-специфичних, тежински-осетљивих (спортови са теж. категоријама) или општих спортских дизајнираних антропометријских метода и једначина које процењују %BF оптималнија и прецизнија замена за DXA методу.

Након закључка и препоруке за оптималан одабир врсте методе, где се антропометрија показала као јасан победник, последњи корак је закључак и препорука везана за оптималан одабир постојеће антропометријске методе за тежинско-осетљиву спортску популацију односно за спортисте из борилачких спортова са категоријама. У овом раду је показано да шест антропометријских једначина има скоро савршену корелацију са ДХА методом и међусобно углавном занемарљиву разлику у јачини показаног коефицијента корелације. Од ових шест антропометријских једначина, три једначине су се често истицале као најбоље или међу најбољим и у многим другим студијама (било са спорту-специфичним или општим узорком спортиста) од којих су неке и наведене у дискусији овог рада. Ове три антропометријске једначине су Јухас, Оливер а сар. и Фолкнер. Ако сагледамо на каквом спортском узорку су развијене ове антропометријске методе односно једначине, можемо видети и логику или смисао зашто су често међу најбољим у корелацији са референтним методама у многим студијама, било да се ради о спорту-специфичној, општој спортској или тежинско-осетљивом спортском узорку у индивидуалној студији. Јухас је своју једначину извео на популацији спортиста универзитета из разних спортова (спортисти борилачких спортова, кошаркаши и пливачи унверзитета, кошаркаши Олимпијског тима Канаде, кошаркаши, итд.). Оливер и сар. су своју једначину извели на узорку спортиста америчког фудбала, где су узорак чинили спортисти драстично различитог телесног састава и конституције као што су белци, Афро-Американци, Латино Американци и спортисти мешовите етничке припадности, затим спортисти са играчких позиција као што су дефанзивни бекова, фул-бекови, халф-бекови, сејфтији, дефанзивни линијаши, шутери, лајнбекери, офанзивни линијаши, корнер бекови, тајт ендови (хватачи), крилни хватачи, квортербекови, итд.). Фолкнерова једначина је заправо модификована Јухасова једначина, која иако до данас није до краја разјашњена што се тиче спортског узорка, сматра се да врло вероватно узорак за извођење ове једначине чини Јухасов узорак спортиста из разних спортова са универзитета. Дакле, све три антропометријске методе имају прилично разноврстан спортски узорак уколико гледамо телесни састав.

Препорука аутора овог рада је да било која од ове три антропометријске методе или једначине, Јухас, Оливер и сар. и Фолкнер, може бити оптимална замена за ДХА методу, али је аутор такође и мишљење да би даља истраживања постојећих антропометријских метода и једначина на узорке спортиста борилачких спортова била значајна да поткрепе или ставе сумњу на резултате истраживања у овом раду.

VI

ЗАКЉУЧЦИ

У складу са постављеним циљевима ове докторске дисертације, а на основу добијених резултата могу се извести следећи закључци:

1. За шеснаест од седамнаест процена вредности процента масти израчунатих преко антропометријских једначина је утврђена јака позитивна корелација са вредностима добијеним DXA методом.
2. Највећи степен корелације су имале вредности добијене применом Јухасове једначине затим вредности добијене применом једначина по Оливеру, Евансу и Фолкнеру.
3. Показана је и позитивна корелација вредности добијених БИА и DXA мерењима, која међутим има нижу вредност коефицијента корелације у односу на коефицијенте корелација вредности антропометријских једначина и DXA.
4. Једначине по Јухасу, Оливеру, Евансу и Фолкнеру могу да се користе као одговарајуће алтернативе за процену процента масти код професионалних рвача, џудиста и кикбоксера.

VII

ЛИТЕРАТУРА

ЛИТЕРАТУРА

1. Yuhasz MS. The Effects of Sports Training on Body Fat in Man With Predictions of Optimal Body Weight. University of Illinois at Urbana-Champaign; 1962.
2. Oliver JM, Lambert BS, Martin SE, Green JS, Crouse SF. Predicting football players' dual-energy x-ray absorptiometry body composition using standard anthropometric measures. *J Athl Train.* 2012;47(3):257–63.
3. Evans EM, Rowe DA, Misic MM, Prior BM, Arngrímsson SÁ. Skinfold prediction equation for athletes developed using a four-component model. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(11):2006–11.
4. Thorland WG, Johnson GO, Tharp GD, Housh TJ, Cisar CJ, Biology SH, et al. Estimation of Body Density in Adolescent Athletes Published by: Wayne State University Press Stable URL : <https://www.jstor.org/stable/41463590> REFERENCES Linked references are available on JSTOR for this article : reference # references _ tab _ contents. 1984;56(3):439–48.
5. Faulkner JA. Physiology of Swimming and Diving. In: Falls HB, editor. *Exercise Physiology.* Baltimore, MD: Academic Press; 1968. p. 415–46.
6. Lukaski HC. Assessment of Human Body Composition: Methods and Limitations. In: Lukaski HC, editor. *Body Composition Health and Performance in Exercise and Sport.* 1st ed. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group; 2017. p. 13–26.
7. Ackland TR, Lohman TG, Sundgot-Borgen J, Maughan RJ, Meyer NL, Stewart AD, et al. Current Status of Body Composition Assessment in Sport.
8. Avram MM, Fein PA, Borawski C, Chattopadhyay J, Matza B. Extracellular mass/body cell mass ratio is an independent predictor of survival in peritoneal dialysis patients. *Kidney Int.* 2010;78(SUPPL. 117).
9. Heyward V and ALG. Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription. In: *Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription.* 7th ed. Champaign, Illinois: Human Kinetics; 2014.
10. Kershaw EE, Flier JS. Adipose tissue as an endocrine organ. In: *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism.* 2004. p. 2548–56.
11. Dumke CL. Health-Related Physical Fitness Testing and Interpretation. In: Riebe D, editor. *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription.* 10th ed. Philadelphia, PA: Wolters Kluwer Health; 2018. p. 79–80.
12. Lohman TG, Houtkeeper L, Going SB. Body Fat Measurement Goes High-Tech: Not All are Created Equal. *ACSM's Heal Fit J.* 1997;1(1):30–5.
13. Withers RT, Laforgia J, Pillans RK, Shipp NJ, Chatterton BE, Schultz CG, et al. Downloaded from www.physiology.org/journal/jappl by \${individualUser}. 2018.
14. Keys A, Brozek J. JuJ;Y 19s NUMBBR 3 Body Fat in Adult Man'. 1953.
15. Wells JCK, Fewtrell MS. Measuring body composition. Vol. 91, *Archives of Disease in Childhood.* 2006. p. 612–7.
16. Ehrman JK. *ACSM's Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription.* 6th ed. Philadelphia, PA: Wolters Kluwer Health; 2009. 277 p.
17. Matiegka CH. THE TESTING OF PHYSICAL EFFICIENCY. Vol. IV SEPTEMBER, *American Journal of Physical Anthropology.* 1921.
18. Eston R, Hawes M, Martin A, Reilly T. Human Body Composition. In: Eston R, Reilly T, editors. *Kinanthropometry and Exercise Physiology Laboratory Manual: Tests, procedures and data Third Edition Volume One: Anthropometry.* 3rd ed. London: Routledge, Taylor and Francis Group; 2009. p. 14.
19. Eliakim A, Burke GS, Cooper DM. Fitness, fatness, and the effect of training assessed

- by magnetic resonance imaging and skinfold-thickness measurements in healthy adolescent females. *Am J Clin Nutr.* 1997;66(2):223–31.
20. Durnin J, Womersley J. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *Br J Nutr.* 1974;32(1):77–97.
 21. Reilly T, Maughan RJ, Hardy L. Body fat consensus statement of the steering groups of the British Olympic Association. *Sport Exerc Inj.* 1996;(2):46–9.
 22. Eston RG, Rowlands A V., Charlesworth S, Davies A, Hoppitt T. Prediction of DXA-determined whole body fat from skinfolds: Importance of including skinfolds from the thigh and calf in young, healthy men and women. *Eur J Clin Nutr.* 2005;59(5):695–702.
 23. Eston R, Hawes M, Martin A, Reilly T. Human Body Composition. In: Eston R, Reilly T, editors. *Kinanthropometry and Exercise Physiology Laboratory Manual: Tests, procedures and data Third Edition Volume One: Anthropometry.* 3rd ed. London: Routledge, Taylor & Francis Group; 2009. p. 29–30.
 24. Parizkova J. Lean body mass and depot fat during ontogenesis. In: Parizkova J, Rogozkin VA, editors. *Nutrition, Physical Fitness and Health: International Series on Sport Sciences, Vol 7.* Baltimore, MD: University Park Press; 1978. p. 24–51.
 25. Eston R, Hawes M, Martin A, Reilly T. Human Body Composition. In: Eston R, Reilly T, editors. *Kinanthropometry and Exercise Physiology Laboratory Manual: Tests, procedures and data Third Edition Volume One: Anthropometry.* 3rd ed. London: Routledge, Taylor & Francis Group; 2009. p. 33–5.
 26. Neto CSP, Glaner MF. “Equação de Faulkner” para prever a gordura corporal: O fim de um mito. *Rev Bras Cineantropometria e Desempenho Hum.* 2007;9(2):207–13.
 27. Zuti WB, Golding LA. Equations for estimating percent fat and body density of active adult males. *Med Sci Sport.* 1973;5(4):262–6.
 28. Forsyth HL, Sinning WE. The anthropometric estimation of body density and lean body weight of male athletes. *Med Sci Sport.* 1973;5(3):174–80.
 29. Civar S, Aktop A, Tercan E, Ozdol Y, Ozer K. Validity of leg-to-leg bioelectrical impedance measurement in highly active women. *J Strength Cond Res.* 2006;20(2):359–65.
 30. Reilly T, George K, Marfell-Jones M, Scott M, Sutton L, Wallace JA. How well do skinfold equations predict percent body fat in elite soccer players? *Int J Sports Med.* 2009;30(8):607–13.
 31. Stewart AD, James Hannan W. Prediction of fat and fat-free mass in male athletes using dual x-ray absorptiometry as the reference method. *J Sports Sci.* 2000;18(4):263–74.
 32. Withers R, Craig N, Bourdon P, Norton K. The relative body fat and anthropometric prediction of body density of male athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1987;56(2):191–200.
 33. Technologies E, Military A, Capability P, Isbn M, Pdf T, Press NA, et al. *Emerging Technologies for Nutrition Research: Potential for Assessing Military Performance Capability Committee on Military Nutrition Research, Institute of Medicine.* Vol. 728, Medicine. 1997. 0–309 p.
 34. Borga M, West J, Bell JD, Harvey NC, Romu T, Heymsfield SB, et al. Advanced body composition assessment: From body mass index to body composition profiling. Vol. 66, *Journal of Investigative Medicine.* BMJ Publishing Group; 2018. p. 887–95.
 35. Garg M, Kharb S. Dual energy X-ray absorptiometry: Pitfalls in measurement and interpretation of bone mineral density. *Indian J Endocrinol Metab.* 2013;17(2):203.
 36. Mazess RB, Barden HS, Hanson J, Bisek JP. Dual-energy x-ray absorptiometry for

- total-body and regional bone-mineral and soft-tissue composition. *Am J Clin Nutr.* 1990;51(6).
37. Neeland IJ, Grundy SM, Li X, Adams-Huet B, Vega GL. Comparison of visceral fat mass measurement by dual-X-ray absorptiometry and magnetic resonance imaging in a multiethnic cohort: the Dallas Heart Study. *Nutr Diabetes.* 2016;6(7).
 38. Swann C, Moran A, Piggott D. Defining elite athletes: Issues in the study of expert performance in sport psychology. *Psychol Sport Exerc.* 2015;16(P1):3–14.
 39. Stewart A, Marfell-Jones M, Olds T, de Ridder H. Preliminary considerations. In: Stewart A, Marfell-Jones M, Olds T, de Ridder H, editors. *International Standards for Anthropometric Assessment.* 3rd ed. Lower Hutt, New Zealand; 2011.
 40. Siri WE. Body composition from fluid spaces and density: Analysis of methods. In: Brožek, J. Hanschels A, editor. *Techniques for Measuring Body Composition.* Washington, D.C.: National Academy of Science; 1961. p. 223.
 41. White J, Mayhew JL, Piper FC. Prediction of body composition in college football players. *J Sport Med Phys Fit.* 1980;3(20):317–24.
 42. Hind K, Slater G, Oldroyd B, Lees M, Thurlow S, Barlow M, et al. Interpretation of Dual-Energy X-Ray Absorptiometry-Derived Body Composition Change in Athletes: A Review and Recommendations for Best Practice. *J Clin Densitom.* 2018;21(3):429–43.
 43. Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(1):3–12.
 44. Bilborough JC, Christophe., Greenway K, Opar D, Livingstone S, Cordy J, Coutts AJ, et al. The accuracy and precision of DXA for assessing body composition in team sport athletes. *J Sports Sci.* 2014;32(19):1821–8.
 45. Barlow MJ, Oldroyd B, Smith D, Lees MJ, Brightmore A, Till K, et al. Precision Error in Dual-Energy X-Ray Absorptiometry Body Composition Measurements in Elite Male Rugby League Players. *J Clin Densitom.* 2015;18(4):546–50.
 46. Stewart AD, Sutton L. *Body Composition in Sport, Exercise and Health.* 1st ed. Abingdon: Routledge; 2012.
 47. Toombs RJ, Ducher G, Shepherd JA, De Souza MJ. The impact of recent technological advances on the trueness and precision of DXA to assess body composition. *Obesity.* 2012;20(1):30–9.
 48. Wong WW, Hergenroeder AC, Stuff JE, Butte NF, O'Brian Smith E, Ellis KJ. Evaluating body fat in girls and female adolescents: Advantages and disadvantages of dual-energy X-ray absorptiometry. *Am J Clin Nutr.* 2002;76(2):384–9.
 49. Van Der Ploeg GE, Withers RT, Laforgia J. Percent body fat via DEXA: Comparison with a four-compartment model. *J Appl Physiol.* 2003;94(2):499–506.
 50. Suarez-Arrones L, Petri C, Maldonado RA, Torreno N, Munguía-Izquierdo D, Di Salvo V, et al. Body fat assessment in elite soccer players: cross-validation of different field methods. *Sci Med Footb.* 2018;2(3):203–8.
 51. López-Taylor JR, González-Mendoza RG, Gaytán-González A, Jiménez-Alvarado JA, Villegas-Balcázar M, Jáuregui-Ulloa EE, et al. Accuracy of Anthropometric Equations for Estimating Body Fat in Professional Male Soccer Players Compared with DXA. *J Sports Med.* 2018;2018:1–7.
 52. Kerr A, Slater GJ, Byrne N. Impact of food and fluid intake on technical and biological measurement error in body composition assessment methods in athletes. *Br J Nutr.* 2017;117(4):591–601.
 53. Hume P, Marfell-Jones M. The importance of accurate site location for skinfold measurement. *J Sports Sci.* 2008;26(12):1333–40.
 54. Andreoli A, Melchiorri G, De Lorenzo A, Caruso I, Sinibaldi Salimei P, Guerrisi M.

- Bioelectrical impedance measures in different position and vs dual-energy X-ray absorptiometry (DXA). *J Sports Med Phys Fitness*. 2002;2(42):186–189.
55. Demura S, Yamaji S, Goshi F, Kobayashi H, Sato S, Nagasawa Y. The validity and reliability of relative body fat estimates and the construction of new prediction equations for young Japanese adult males. *J Sports Sci*. 2002;20(2):153–64.
 56. Utter AC, Lambeth PG. Evaluation of multifrequency bioelectrical impedance analysis in assessing body composition of wrestlers. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42(2):361–7.
 57. Boneva-Asiova Z, Boyanov MA. Body composition analysis by leg-to-leg bioelectrical impedance and dual-energy X-ray absorptiometry in non-obese and obese individuals. *Diabetes, Obes Metab*. 2008;10(11):1012–8.
 58. Shafer KJ, Siders WA, Johnson LAK, Lukaski HC. Validity of segmental multiple-frequency bioelectrical impedance analysis to estimate body composition of adults across a range of body mass indexes. *Nutrition*. 2009;25(1):25–32.
 59. Sun G, French CR, Martin GR, Younghusband B, Green RC, Xie YG, et al. Comparison of multifrequency bioelectrical impedance analysis with dual-energy X-ray absorptiometry for assessment of percentage body fat in a large, healthy population. *Am J Clin Nutr*. 2005;81(1):74–8.
 60. Petri C, Campa F, Teixeira VH, Izzicupo P, Galanti G, Pizzi A, et al. Body fat assessment in international elite soccer referees. *J Funct Morphol Kinesiol*. 2020;5(2):1–10.
 61. Leão C, Simões M, Silva B, Clemente FM, Bezerra P, Camões M. Body composition evaluation issue among young elite football players: DXA assessment. *Sports*. 2017;5(1).
 62. Wang JG, Zhang Y, Chen HE, Li Y, Cheng XG, Xu L, et al. Comparison of two bioelectrical impedance analysis devices with dual energy x-ray absorptiometry and magnetic resonance imaging in the estimation of body composition. *J Strength Cond Res*. 2013;27(1):236–43.
 63. Völgyi E, Tylavsky FA, Lyytikäinen A, Suominen H, Alén M, Cheng S. Assessing body composition with DXA and bioimpedance: Effects of obesity, physical activity, and age. *Obesity*. 2008;16(3):700–5.
 64. Pietrobelli A, Rubiano F, St-Onge MP, Heymsfield SB. New bioimpedance analysis system: Improved phenotyping with whole-body analysis. *Eur J Clin Nutr*. 2004;58(11):1479–84.
 65. Krzykała M, Konarski JM, Malina RM, Rachwalski K, Leszczyński P, Ziółkowska-Łajp E. Fatness of female field hockey players: Comparison of estimates with different methods. *HOMO- J Comp Hum Biol*. 2016;67(3):245–57.
 66. Sillanpää E, Häkkinen A, Häkkinen K. Body composition changes by DXA, BIA and skinfolds during exercise training in women. *Eur J Appl Physiol*. 2013;113(9):2331–41.

СКРАЋЕНИЦЕ

TBW – укупна телесна вода
BF – телесне масти
%BF - проценат телесних масти
FFM - безмасна маса тела
FFDM - безмасна сува маса тела
DXA - двоенергетска апсорбциометрија X зрацима
ADP - плетизмографија истискивањем ваздуха
BCM - метаболички активне ћелије у организму
ECM - ванћелијска маса
ACSM – Амерички колеџ за спортску медицину
SF - кожни набори
БИА – биоелектрична импеданца
%BF – проценат телесних масти
r_s – Спирманова ранг корелација
Tc – кожни набор трицепса
Bc – кожни набор бицепса
Sb – субскапуларни кожни набор
Si – супраилијачни кожни набор
Ab – абдоминални кожни набор
BD – густина тела
WC – обим струка
WD – дијаметар зглоба шаке
Ch – абдоминални кожни набор
IC – илиокристални кожни набор (назива се такође и супраилијални)
Th – кожни набор квадрицепса
Ca – кожни набор листа
Ht – телесна висина
Wt – телесна тжина
BMI – индекс телесне масе
X – средња вредност
SD – стандардна девијација
WHR – однос обима струка и кукова
%BFBIA – проценат телесних масти добијен БИА методом
%BFDXA – проценат телесних масти добијен DXA методом
AHIP – обим кука
AUMB – обим струка
SFAB – абдоминални кожни набор
SFSUM – збир свих кожних набора
LBM – мршава маса тела
CP – пропорција ћелија
ECW – ванћелијска вода
BMR – базални метаболизам

БИОГРАФИЈА

Марко Димитријевић, рођен је 19.04.1976. године у Прибоју. Основну школу је завршио у Прибоју а средњу медицинску школу у Краљеву, смер зубни техничар завршио је 1995 године са одличним успехом. Медицински факултет, Универзитета у Београду уписао је 1996 године. Након завршене спортске каријере у бодибилдингу уписује Факултет за спорт Универзитета Унион Никола Тесла који је завршио 2017 године. Мастер академске студије Медицинског факултета у Београду уписује 2017 године, модул „Физичка активност, здравље и терапија вежбањем“ које је завршио 2018 године са просечном оценом 9,57. 2019 године уписао Докторске академске студије Медицинског факултета у Крагујевцу, Експериментална физиологија и примена у медицини спорта, уписао је 2019 године. Носилац је бројних курсева из области спортске медицине: Фисаф Интернационал академија у Београду 2012 године сертификат коре фитнес инструктор. Фисаф Интернационал академија у Београду 2013 године сертификат персонални тренер у фитнесу McGill Method Level 2, Assessment: Converging a precise diagnosis, mentor Dr. Stuart McGill in 2019. McGill Method level 3, High performance training: Progressing backs from pain to performance, mentor Dr. Stuart McGill in 2019.

Списак релевантних публикација:

1. **Dimitrijevic M**, Paunovic V, Zivkovic V, Bolevich S, Jakovljevic V. Body Fat Evaluation in Male Athletes from Combat Sports by Comparing Anthropometric, Bioimpedance, and Dual-Energy X-Ray Absorptiometry Measurements. *Biomed Res Int.* 2022 Sep 5;2022:3456958.
2. Pavlović S, Pelemiš V, Marković J, **Dimitrijević M**, Badrić M, Halaši S, Nikolić I, Čokorilo N. The Role of Motivation and Physical Self-Concept in Accomplishing Physical Activity in Primary School Children. *Sports.* 2023; 11(9):173.
3. **Dimitrijevic Marko**, Lalovic Dijana, Milovanov Djordje. Correlation of Different Anthropometric Methods and Bioelectric Impedance in Assessing Body Fat Percentage of Professional Male Athletes" *Experimental and Applied Biomedical Research (EABR)*, vol.0, no.0, 2021. doi.org/10.2478/sjecr-2021-0026.

ИЗЈАВА АУТОРА О ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

Изјављујем да докторска дисертација под насловом:

Испитивање корелације различитих антропометријских метода, методе двоенергетске апсорпциометрије X зрацима и методе биоелектричне импеданце у анализи процента телесних масти код професионалних спортиста

представља *оригинално ауторско дело* настало као резултат *сопственог истраживачког рада*.

Овом Изјавом такође потврђујем:

- да сам *једини аутор* наведене докторске дисертације,
- да у наведеној докторској дисертацији *нисам извршио/ла повреду* ауторског нити другог права интелектуалне својине других лица,

У Крагујевцу, 15.09.2023. године,


потпис аутора

Образац 2

**ИЗЈАВА АУТОРА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ
ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Изјављујем да су штампана и електронска верзија докторске дисертације под насловом:

Испитивање корелације различитих антропометријских метода, методе двоенергетске апсорпциометрије X зрацима и методе биоелектричне импеданце у анализи процента телесних масти код професионалних спортиста

истоветне.

У Крагујевцу, 15.09.2023. године,


попис аутора

ИЗЈАВА АУТОРА О ИСКОРИШЋАВАЊУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ја, Марко Димитријевић,

дозвољавам

не дозвољавам

Универзитетској библиотеци у Крагујевцу да начини два трајна умножена примерка у електронској форми докторске дисертације под насловом:

Испитивање корелације различитих антропометријских метода, методе двоенергетске апсорпциометрије X зрацима и методе биоелектричне импеданце у анализи процента телесних масти код професионалних спортиста

и то у целини, као и да по један примерак тако умножене докторске дисертације учини трајно доступним јавности путем дигиталног репозиторијума Универзитета у Крагујевцу и централног репозиторијума надлежног министарства, тако да припадници јавности могу начинити трајне умножене примерке у електронској форми наведене докторске дисертације путем *преузимања*.

Овом Изјавом такође

дозвољавам


не дозвољавам¹

¹ Уколико аутор изабере да не дозволи припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од *Creative Commons* лиценци, то не искључује право припадника

припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од следећих *Creative Commons* лиценци:

- 1) Ауторство
- 2) Ауторство - делити под истим условима
- 3) Ауторство - без прерада
- 4) Ауторство - некомерцијално
- 5) Ауторство - некомерцијално - делити под истим условима
- 6) Ауторство - некомерцијално - без прерада²

У Крагујевцу, 15.09.2023. године


потпис аутора

јавности да наведену докторску дисертацију користе у складу са одредбама Закона о ауторском и сродним правима.

² Молимо ауторе који су изабрали да дозволе припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од *Creative Commons* лиценци да заокруже једну од понуђених лиценци. Детаљан садржај наведених лиценци доступан је на: [http://creativecommons.org/rs/](http://creativecommons.org.rs/)