

ИНДЕКС ТЕЛЕСНЕ МАСЕ У ДЕТЕРМИНАЦИЈИ ОДНОСА ТЕЛЕСНЕ КОНСТИТУЦИЈЕ И МОТОРИЧКИХ СПОСОБНОСТИ

Зоран Пајић¹, Саша Јаковљевић¹, Марија Анђелковић², Слободан Симовић³

¹Факултет спорта и физичког васпитања, Универзитет у Београду, Србија

²Удружење за медицину спорта Србије, Београд, Србија

³Факултет физичког васпитања и спорта, Универзитет у Бања Луци, Босна и Херцеговина

Сажетак

Циљ рада је преглед и сумирање теоријских и емпиријских чињеница употребе индекса телесне масе ВМІ (енгл. Body Mass Index) у утврђивању релација телесне конституције и моторичких способности. Утврђено је неколико кључних околности при којима индекс телесне масе може дати погрешне информације о стварној телесној композицији, а посебно о количини масног ткива у телу. Фактори као што су узраст, пол, раса, здравствено стање и мишићна маса могу да утичу на везу између ВМІ-а и телесних масти. Због релативно ниског коефицијента детерминације између ВМІ-а и процента телесних масти, при коришћењу ВМІ-а у процени телесне композиције као предиктора гојазности или као заменске мере у процени утицаја телесне конституције на ефикасност моторичких перформанси, треба бити опрезан. Анализа извора указује на постојање неразјашњених чињеница употребе заменских мера телесне композиције и њихово ограничено коришћење у истраживачкој и непосредној тренажној пракси. Стога су предложени нови концепти и модели у експликацији утицаја телесне композиције на ефикасност моторичког испољавања. Поред неопходне процене варијабли процента масног ткива и процента мишићног ткива, може се претпоставити да би примена двокомпонентног $BMI = FFMI + FMI$ (енгл. Fat Free Mass Index, Fat Mass Index), тј. индекс безмасне телесне масе + индекс масног ткива и/или MFR (енгл. Muscle Fat Ratio), тј. мишићно-масни однос модела обезбедила квалитетнији увид у ове релације.

Кључне речи: ТЕЛЕСНИ САСТАВ / МОТОРИЧКЕ ПЕРФОРМАНСЕ / МИШИЋНО-МАСНИ ОДНОС/ ИНДЕКС МАСНОГ ТКИВА / ИНДЕКС БЕЗМАСНЕ ТЕЛЕСНЕ МАСЕ

УВОД

Разумевање телесне композиције спортиста током неколико протеклих деценија сматрано је есенцијалним делом укупног управљачког процеса тренингом (Wilmore, 1982). Многи истраживачи су сложни да се од сваког спортисте очекују погодне антропометријске карактеристике, телесна композиција, као и функционалне способности које су пожељне за њихов развој у складу са специфичностима датог спорта или спортске гране (Singh et al., 2010; Massuca & Fragoso, 2011).

Антропометријске и кинантропометријске студије теже да покажу како одређени морфолошки фактори, укључујући телесне масти, телесну масу, мишићну масу и телесну висину, утичу на кретање – тренажне и такмичарске перформансе спортиста

(Carter, 1970). Како сваки спорт има своје специфичне моторичке захтеве, то се може закључити да би сваки спортиста требало да има специфичне антропометријске карактеристике које одговарају његовој/њеној конкретној спортској грани и дисциплини. Промене у телесној композицији и моторичким перформансама се дешавају на свим нивоима каријере и спортске успешности, самим тим оне се одвијају од почетка до краја спортске тренажне и такмичарске сезоне (Silvestre, Kraemer, West et al., 2006). Дакле, могуће је говорити о идеалној телесној композицији, зависно од спорта или дисциплине, структуре такмичарске активности, позиције у тиму и сл. У неким контактним спортовима, као што је нпр. рагби, већа телесна маса представља предност, док у другим, као што су гимнастика, маратон и слични, мања телесна маса

и велике вредности односа снага/маса (тј. већа релативна сила – продукција силе по килограму телесне тежине), су неопходни. Тако су код маратонаца идентификовани најприкладнији профили и односи, неопходни за остваривање оптималних перформанси у овој тркачкој дисциплини (Marc, Sedeaud, Guillaume et al., 2014). Утврђен је оптималан индекс телесне масе ВМІ за мушкарце од 19,8 кг/м², а код 10 најбољих такмичара свих времена, он се кретао између 17,5 и 20,7 кг/м². ВМІ је интензивно коришћен у антрополошким истраживањима као показатељ телесне конституције испитаника. Уобичајено је у пракси да ВМІ није само показатељ “саме тежине”, већ да преко своје структуралне компоненте телесне масе индиректно указује и на количину масног ткива, посебно у случајевима екстремних телесних маса (Malina, Bouchard & Bar-Or, O., 2004).

У већем броју истраживања ВМІ се користио и као индикатор телесне конституције у односу на различите перформансе моторичких активности. Многа истраживања су јасно указала на повезаност телесне композиције и ВМІ-а са ефикасношћу испољавања моторичких способности, али у неким другим та повезаност није утврђена. С обзиром да је ВМІ морфометријска карактеристика која се пре свега односи на масу тела, евалуација релација масе тела и моторичког испољавања кретања је веома актуелна.

Оправданост за сумњу о неприкладности ВМІ-а као заменске мере, могла би се претпоставити у:

- анализи разлика утицаја на моторичке перформансе масе тела која у својој структури има више мишића наспрам масти и супротно;
- чињеници да се из његовог резултата не може утврдити колики је удео бескорисног масног ткива и корисног мишићног ткива у укупној компоненти масе тела;
- великом броју доказа да је мишићна, а не масна маса, знатно позитивно повезана са мерама физичких перформанси.

ИНДЕКС ТЕЛЕСНЕ МАСЕ КАО ЗАМЕНСКА МЕРА

Индекс телесне масе се често користи као “заменска мера” телесне конституције и један од критеријума у праћењу како спортиста, тако и особа у другим областима живота (посебно оних са специфичним радним местима, као што су регрути у војсци, полицији и др.). Међутим, када одређене граничне вредности ВМІ-а нису достигнуте или су прекорачене, може се појавити проблем око

интерпретације резултата. Сходно томе, постоје одређене околности у којима долази до неслагања између неких “заменских мера”, а посебно ВМІ-а са стварним телесним саставом, а посебно са количином масног ткива у телу (Prentice & Jebb, 2001). При процењивању телесних масти у телу, ослањање на ВМІ као заменску меру, узрокује неподударности у свеопштој популацији (Cohn, 1987), а које такође могу да створе погрешну слику вишка телесне масе и код спортиста (Heyward & Wagner, 2004). Мерење само телесне масе не може да одреди количину телесних масти у организму (Рајс, Пис, Јаковљевић et al., 2011), зато што не дискриминише вредности и односе између масне и безмасне телесне компоненте. Стога при оваквим анализама треба нагласити ограниченост употребе ВМІ-а и неопходност примене додатних мерења. Из претходних навода може се поверовати да заменске мере могу дати погрешне и не баш тако релијабилне информације о телесној композицији, као и да је ВМІ индиректна мера телесне масе, а не адипозности. Ово ствара услове за погрешно дијагностификовање гојазности и стога неприкладне покушаје редукације телесне масе, као и неразумевање ефеката утицаја актуелне телесне композиције на моторичке перформансе испитаника. Дакле, претпостављена непоузданост ВМІ-а је могућа, с обзиром да се из његовог резултата не може утврдити колики је удео вишка масног ткива и корисног мишићног ткива у укупној компоненти масе тела.

Образложења за претходо наведене претпоставке морају се сагледати кроз одређена ограничења употребе ВМІ, као мере телесне масти, а поготово код особа са повишеном телесном масом, јер, пре свега, ВМІ је мера телесне масе, а не прекомерних телесних масти. Такође, ВМІ не прави разлику између прекомерне масноће, мишићне и-или коштане масе, и исти, не може да укаже на дистрибуцију масти код различитих особа. Фактори као што су узраст, пол, раса, здравствено стање и мишићна маса могу да утичу на релацију између ВМІ-а и телесних масти. У просеку, **старије особе** имају више масног ткива од млађих за исте вредности (ВМІ), (Cohn, 1987). Телесна маса и ВМІ не упућују на „конверзију“ безмасног у масно ткиво (Cohn, 1987), што представља сасвим нормалну појаву која се дешава током старења. Старење је праћено прогресивним порастом односа масти и безмасне телесне масе. Ово се дешава чак и код људи који успеју да задрже исте вредности ВМІ. Стога, веза између ВМІ-а и телесних масти зависи од година. Ова одступања долазе до изражаја након средњег

доба и током менопаузе код жена. У савременом седентарном свету, јако је изражен пораст ВМІ-а код већине индивидуа. Иако ови подаци, како се уобичајено мисли, указују на повећање телесних масти код људи, тиме се и даље озбиљно потцењује прави пораст у телесним мастима. Постоје предикционе једначине, које укључују године за претварање, тј. добијање одређених вредности телесних масти из ВМІ, и оне су ефикасне у превазилажењу претходно поменутих проблема (Deurenberg, Weststrate & Seidell, 1991). Затим, композиција мишића се мења са повећаном инфилтрацијом масти. Повећана масна инфилтрација у мишићима са старењем може бити важан, ако не и главни аспект **саркопеније** (губитак мишићне масе и мишићне снаге), (Roubenoff & Hughes, 2000). Што се тиче протеина, њихов унос обично опада код одраслих особа, што доприноси губитку мишићне масе и мањем базалном метаболизму и следствено води ка повећању тежине тела, чак и ако енергетски унос остаје исти (Shin, Liu, Panton & Plich, 2014). Ове појаве могу бити значајан предиктор неприкладности ВМІ-а у процени телесне конституције.

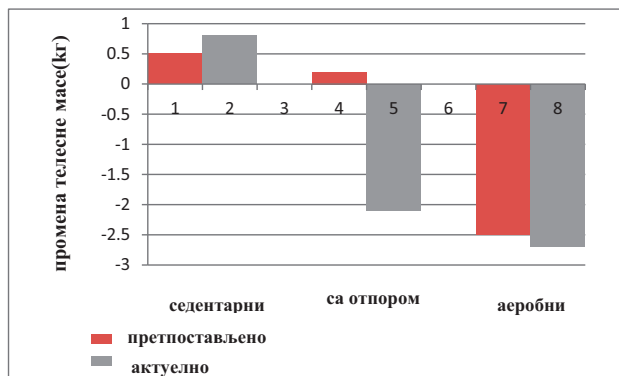
Код деце, ВМІ се генерално повећава од 8 до 18 година и у свим узрастима је високо повезан са масном и безмасном компонентом тела. Штавише, за разлику од одраслих, где телесна висина и ВМІ генерално нису повезани, код деце - они су повезани. Годишње промене у ВМІ-у могу бити снажно проузроковане променама како у масној и безмасној компоненти телесне композиције, тако и променама у телесној висини детета. Годишњи пораст у ВМІ-у током детињства су примарно вођени повећањем у безмасној компоненти ВМІ-а, посебно код дечака током пубертета, због брзог пораста у висини и релативно малих годишњих падова или повећања у укупним телесним мастима. Ово резултује просечним негативним кретањима масне компоненте ВМІ-а (тј. укупне телесне масти/висина²). Степен до кога свака компонента доприноси просечном повећању у ВМІ-у зависи, делимично, од година и пола детета. Обим екстремитета, као и количина мишићног ткива се повећавају са годинама од раног детињства и кроз адолесценцију. Са 11 година старости деца су још у периоду предпубертета и веће промене на телу још нису изражене. Тек уласком у пубертет (девојчице око 12, а дечаки око 13 година) почињу да се догађају веће и нагле промене облика и састава тела, које тиме утичу на ВМІ и посредно доприносе квалитету извођења моторичких задатака, а посебно у испољавању мишићне снаге (Malina, Bouchard &

Bar-Or, 2004). Ово јасно илуструје комплексност интерпретираних промена у ВМІ-у код деце, и оснажује чињеницу да је ВМІ мера телесне масе, а не адипозности. Иако ВМІ може бити користан при дефинисању преференце гојазности код одраслих, ВМІ код деце и адолесцената нема иста својства. Примена ВМІ-а код деце компликована је његовом зависношћу од висине, релативне разлике између дужине трупа и ногу, безмасне телесне масе FFM и нивоа зрелости (Siervogel, Maynard, Wisemandle et al., 2000). Висина и ниво сексуалне зрелости утичу на везу између ВМІ-а и телесних масти код деце (Dawkins, 1990). Следствено томе, у већини спортова, једна од првих селективних карактеристика је висина, па она веома често регрутује децу – као кинантропометријски прикладне спортисте.

У просеку, **жене** имају веће количине укупних телесних масноћа него мушкарци за исте вредности ВМІ. Оне имају мању мишићну масу, већу масну инфилтрацију у мишиће и мању мишићну силу (Shin, Liu, Panton & Plich, 2014; Visser, Harris, Langlois et al., 1998; Visser, Goodpaster, Kritchevsky et al., 2005). Жене у менопаузи имају већу склоност ка добијању тежине са масном инфилтрацијом у мишиће, као и за депозицијом и редистрибуцијом масти у централни, абдоминални регион. Истовремено код њих је присутан губитак у мишићној маси, што води саркопенији и губитку густине костију (тј. долази до остеопеније или остеопорозе). Оба случаја се дешавају у саркопеничној и у остеопеничној гојазности.

Добро је познато да ВМІ не даје валидне податке о телесним мастима код људи који имају развијену мускулатуру, стечену дуготрајним вежбањем или захваљујући природној мишићној грађи (генетски наслеђено). **Мускуларне особе** могу имати висок ВМІ због повећане мишићне масе. Због чињенице да су мишићи тежи од масноће, људи који су врло мишићаве грађе могу имати високе вредности ВМІ-а (Sum, Wang, Choet et al., 1994).

У данашњем седентарном окружењу, индивидуе које воде рачуна о свом здравственом стању, све више упражњавају како аеробне, тако и форме тренинга са отпором, у намери да буду у доброј физичкој кондицији. Многи од њих не желе нужно да изгубе на маси, већ теже ка побољшавању кондиције и телесне композиције. Други пак, губитак масних наслага, сматрају као примарни циљ. Промене у телесној маси могу да дају варљиве утиске о темељним променама у мастима, нарочито у вежбању са отпором које изграђује мишићну масу (Prentice & Jebb, 2001). (Слика 1).

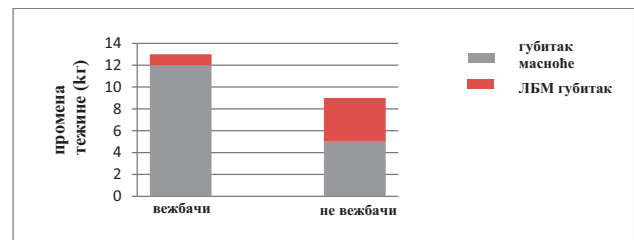


Слика 1 Претпостављена и стварна промена у телесним мастима након тренинга (модификовано према Prentice & Jebb, 2001)

“Претпостављена” промена у телесним мастима је једноставно изведена као 75% од свеукупног губитка килограма, а „стварна” промена је директно мерен губитак у мастима. Просечно у анализираним студијама, разлике нису тако велике, али могу имати важне мотивационе ефекте на вежбача, тако да, они који су упражњавали тренинг са оптерећењем, претпостављају да нису постигли никакав губитак у мастима.

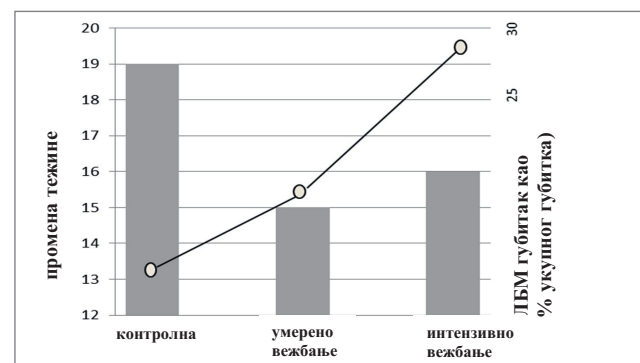
Једноставне мере телесне масе (стога и мере изведене из ВМІ) генерално дају задовољавајуће процене клиничког прогреса у програмима губитка телесне тежине уз помоћ дијета. Инкорпорација вежбања у режиме телесне редукције, оправдана је због дуготрајнијег задржавања телесне масе постигнуте након губитка килограма. Међутим, под овим околностима губитак у маси није једнак губитку у мастима, па телесна маса и ВМІ могу да дају варљиве мере прогреса у губитку масти.

Композиција губитка телесне масе је утврђена код 72 средње гојазне особе којима су примењени различити програми редукције телесне масе, а који укључују телесно вежбање (Pavlou, Steffee, Lerman & Burrows, 1985), (Слика 2). Да није било доступно мерење телесне композиције, предности вежбања би наизглед биле скромне и статистички незначајне (11,8 наспрам 9,2 кг губитка телесне масе). Како год, анализа телесних масти је показала да је вежбајућа група изгубила 11.2 ± 1.5 кг масти наспрам само 5.2 ± 1.6 кг у групи која није вежбала ($p < 0,001$). Ово је само један од примера успешног губитка телесне масе, али поред тога истиче да утврђивање самог губитка у маси, а тиме и ослањање на заменске мере, може бити неприкладно.



Слика 2 Композиција губитка телесне масе (модификовано према Pavlou, Steffee, Lerman & Burrows, 1985)

У аналогној студији (Whatley, Gillespie, Honig et al., 1994), анализиран је и оцењиван ефекат интензитета вежбања на губитак масног ткива код гојазних жена (Слика 3). Види се да је пропорција телесног губитка безмасне компоненте већа у групи која није вежбала (тј. у контролној групи), као и то да је стварни износ губитка тежине био нижи. Ови налази указују на непримереност употребе заменских мера и значајност детектовања ефеката примењених програма применом анализе телесних масноћа.

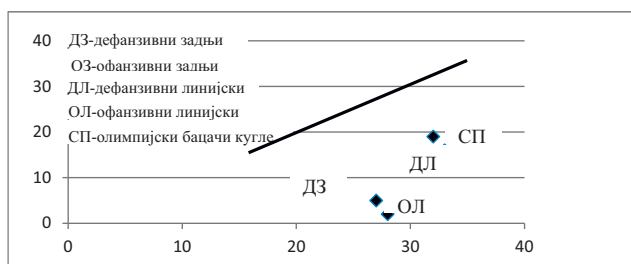


Слика 3 Ефекти вежбања на састав изгубљене тежине при коришћењу дијете (Whatley, Gillespie, Honig et al., 1994)

У експерименту у коме су екстремно гојазне особе са ВМІ > 30 поштовале посебан режим исхране и програмираног вежбања, добијени су слични налази (Dikic & Andjelkovic, 2013). Просечна телесна маса на почетку програма је била $107,2 \pm 19,4$ кг, ВМІ $37,1 \pm 4,3$ kg/m^2 а просечан проценат телесних масти $41,0 \pm 5,7$. После 90 дана програма просечан губитак телесне масе износио је $9,2 \pm 5,4$ кг (9,19% почетне ТМ). Индекс телесне масе је са просечних $37,1 \pm 4,3$ kg/m^2 статистички значајно смањен на $32,7 \pm 3,4$ на крају 90 дана програма. Процент телесних масти је, с просечних $41,0 \pm 5,7$ статистички значајно смањен на $36,4 \pm 6,3$. Испитаници су у просеку изгубили 7,2 кг масног ткива, што је било статистички значајно. Процент масти и количина масног ткива у екстремитетима и трупцу су

статистички значајно смањени, што говори у прилог ефекту вежбања који се може, условно, представити као ремоделирање тела. Ремоделирање тела, сегментни губитак масти и губитак масног ткива од чак 7,2 кг не би могао да се наговести уколико би се гледали само ВМІ и телесна маса, што указује на њихову ограничену информативност у свакодневном раду.

Како год, у разним специфичним групама, а међу њима и код спортиста, процене на основу примене заменских мера, а посебно ВМІ-а могу да воде систематској грешци. Изразита грешка је произашла из покушаја да се процене телесне масти на основу ВМІ-а код играча америчког фудбала и бацача кугле (Katch & Katch, 1984), (Слика 4). Они имају већи проценат безмасне компоненте него што то показује ВМІ. Та веза важи за већину спортиста, чак и код јако ниских вредности ВМІ-а.



Слика 4 Неслагање између ВМІ-а и процента телесних масти код спортиста (Katch & Katch, 1984)

Постоје бројна клиничка стања при којима поремећен хормонски статус мења уобичајену везу између безмасног и масног ткива и у којима телесна маса и ВМІ дају погрешне утиске о телесној композицији и променама у њој. Велике промене у хидратацији ткива могу имати сличне ефекте (Vukašinić-Vesić, Anđelković, Stojmenović et al., 2015). На пример, група пацијената са дијагнозом сепсе изгубила је 8 кг на маси у првих неколико дана болести без икаквих значајнијих губитака у телесним мастима (Plank, Connolly & Hill, 1998). Под овим и сличним околностима, директно мерење телесних масти и безмасне компоненте су есенцијални, зарад праћења прогреса у стању ухрањености.

Због релативно ниског коефицијента детерминације између ВМІ-а и процента телесних масти, коришћење ВМІ-а као предиктора гојазности било је критиковано. ВМІ је прикладнији као индекс укупних телесних масноћа или телесних масноћа у односу на висину, него укупних телесних масноћа у односу на масу (Garrow & Webster, 1985). Степен адипозности је донекле предвидив користећи ВМІ, барем на популационој скали, ако је адипозност дефинисана као вишак телесних масти по јединици

телесне висине, али не као вишак телесних масноћа по јединици телесне масе. Као и предвиђање процента телесних масти из ВМІ, предвиђање телесних масти/висина² из ВМІ-а је много променљивије код људи са ВМІ-ом испод 30кг/м².

Гојазност је дефинисана ако је ВМІ најмање 30кг/м² или ако је присутна количина масти најмање 25% од укупне телесне масе за мушкарце и 30% за жене (Frankenfield, Rowe, Cooney et al., 2001). Међутим, утврдили су да је 30% мушкараца и 46% жена са ВМІ-ом испод 30кг/м² имало повишене нивое телесних масти. Они су такође гојазни и стога погрешно класификовани према ВМІ. Највећа варијабилност у предвиђању процента телесних масти и телесних масти подељених са висином на квадрат (телесне масти/висина²) из регресионих једначина користећи ВМІ је била при вредностима ВМІ-а испод 30 кг/м². Стога, мерење телесних масти је много прикладнији начин за оцењивање гојазности код људи са ВМІ-ом испод 30 кг/м².

Највећа мана ВМІ-а је та да се његовом применом не узима у обзир стварна телесна композиција (Schutz, Kyle & Pichard, 2002). Вишак телесне масе може настати услед повећања масног ткива или од мишићне хипертрофије. С друге стране, смањење вредности ВМІ-а може бити услед губитка безмасне компоненте FFM (тј.саркопенија), губитка масног ткива или комбинације оба случаја.

Повећана инфилтрација масти у мишиће са старењем може бити круцијалан аспект саркопеније која утиче на функционални статус у старости. Масна инфилтрација мишића је позитивно повезана са свеукупним телесним мастима (Ryan & Nicklas, 1999; Sinha, Dufour, Petersen et al., 2002) и може бити фактор који доприноси неадекватности примене ВМІ-а у процени телесне конституције. Иако многе студије подржавају то да је мишићна маса јак предиктор физичке функције код одраслих особа, евидентно је да би се нижа масна инфилтрација у мишићима, као мера мишићног квалитета, могла користити као добар предиктор бољих физичких перформанси. Додатно је указано да особе које спадају у „нормалну” категорију по ВМІ-у могу имати повећане вредности масти FM, што указује на потребу да те особе морају нормализовати своје телесне масти без обзира на вредности ВМІ, (Schutz, Kyle & Pichard, 2002). Горња објашњења илустрју неколико кључних околности при којима ВМІ као заменска мера телесне конституције, а посебно телесних масти може дати погрешне информације о стварној телесној композицији индивидуе, а пре свега, због непоклапања у уобичајеној вези између безмасне FFM и масне компоненте FM.

РЕЛАЦИЈЕ ИНДЕКСА ТЕЛЕСНЕ МАСЕ И МОТОРИЧКИХ СПОСОБНОСТИ

У већем броју истраживања ВМІ се користио и као индикатор телесне конституције у односу на

различите перформансе моторичких активности. Многа истраживања су јасно указала на повезаност телесне композиције и ВМІ-а са ефикасношћу испољавања моторичких способности свих узраста (Табела 1).

Табела 1 Повезаност ВМІ-а са ефикасношћу испољавања моторичких способности

Повезаност ВМІ-а са моторичким перформансама			Извори конфирмације
Инверзна	Позитивна	Нема повезаности	
Фундаменталне кретне вештине ФМС - трчања, галоп, поскоци и скок у даљ; генералне моторичке вештине			(28); (39); (72); (81); (88); (97).
Изддрљивост VO_2max , потрошња енергије; аеробни фитнес кардиореспираторни фитнес			(8); (11); (15); (55); (62); (64); (81).
Максимална брзина трчања			(15); (33); (34); (40); (56); (58); (64).
Прецизност, тј. спретност у извођењу локомоторних вештина			(22); (35); (97).
Ефикасност извођења скокова			(8); (33); (34); (48); (64).
Агилност		Агилност	(15); (34); (56); (58); (82); (86).
Равнотежа			(2); (75); (88).
Перцептуално – моторичка координација		Укупна и фина координација	(4); (7); (9); (27); (44); (50).
		Флексибилност	(20); (37); (82).
		Експлозивна снага	(7); (20); (87).
		Прецизност	(22); (35); (53).

Интересантни су налази који су добијени помоћу дистинктивних група насталих дељењем узорка испитаника на оне са испод просечним, просечним и изнад просечним индексом телесне масе (Табела 2).

Табела 2 Повезаност различитих нивоа ВМІ-а са ефикасношћу испољавања моторичких способности

Повезаност нивоа ВМІ-а са моторичким перформансама			Извори конфирмације
Испод просека	Просек	Изнад просека	
Брзина			
Агилност			
Вертикални скок	Вертикални скок	Вертикални скок	(36); (82); (54).
Мишићна сила			(20).
Флексибилност	Флексибилност	Флексибилност	(20).
Изддрљивост у снази			
Равнотежа			

Потпуно је разумљива сумња да је у овој проблематици недовољно ослањање на ВМІ, који не говори о структури масе тела, те се може претпоставити да он није поуздан показатељ у експликацији релација третираних морфолошких карактеристика и моторичких способности. Отуда је и претпоставка да у многим горе поменутих истра-

живањима није анализирана структура телесне масе, што је проузроковало повезаност или неповезаност ВМІ-а са третираним моторичким перформансама. Оправданост за сумњу о неприкладности ВМІ-а, као заменске мере, дедукује се кроз анализу разлика утицаја масе тела, која у својој структури има више мишића наспрам масти и супротно (Табела 3).

Табела 3 Анализа разлика утицаја на моторичке перформансе масе тела која у својој структури има више мишићне масе наспрам масног ткива и супротно

Моторичка способност	Телесна маса		Извори конфирмације
	Мишићно ткиво	Масно ткиво	
Брзина	+	-	(3); (57); (64).
Брзина промене смера		-	(41); (57).
Сила, снага	+		(1); (5); (13); (14); (24); (31); (43); (57); (64); (65); (66); (67); (69); (70); (73); (83); (85); (89); (96).
Изддржљивост	+		(1); (16); (43); (45); (55); (57); (64); (69); (76); (89); (91).

Напомена: позитивна повезаност (+); инверзна повезаност (-); нема повезаности (нп)

Телесна маса може да утиче на моторичке перформансе и успех у различитим спортовима, али телесни састав и количина телесних масти, могу да буду прецизнији предвиђач моторичке ефикасности од телесне масе (Wolinsky & Driskell, 2008). Спортови у којима је мања количина телесних масти имају предност (трчање, скокови у воду, гимнастика, клизање и рвање). Мишићна маса побољшава спортско постигнуће у активностима које захтевају мишићну силу, снагу и издржљивост, али и у онима које захтевају завидну аеробну способност (Ramadan & Byrd, 1987; Rico-Sanz, 1998). Индекс телесне масе не узима у обзир телесну грађу и не може илустровати проценат масног ткива у односу на мишићну или коштану масу (Pajic, Ilic, Jakovljevic et al., 2011). Спортисти са већом телесном масом и високим ВМI-ом, за које је нађено да имају велики удео мишићне и коштане масе у односу на висину, не могу бити третирани као гојазни (Pajic, Ilic, Jakovljevic et al., 2011).

Више аутора (Prentice & Jebb, 2001; Pajic, Ilic, Jakovljevic et al., 2011; Sporiš, Vuleta, D., Vuleta Jr, D., & Milanović, 2010) су приметили јаку негативну корелацију између телесних масти и максималне брзине трчања. Они истичу да је ефикасност локомоције спортиста комплекснија што је кретање брже. Она је обрнуто пропорционална волумену и маси његовог тела, у случају да је она у великом делу одређена масним ткивом. Дакле, уочава се различит утицај телесне масе на спортско постигнуће у зависности од структуре тела. Изразито „тешки“ фудбалери, чија је маса детерминисана већом количином масног ткива, постижу слабије резултате у моторичким активностима максималне брзине трчања, а и брзине промене смера кретања (Pajic, Ilic, Jakovljevic et al., 2011). Телесна маса може утицати на брзину, издржљивост и снагу спортисте, док телесна композиција може утицати на јачину и агилност (Prentice & Jebb, 2001; Pajic, Ilic, Jakovljevic et al., 2011). Претходни наводи

указују да треба истражити и упоредо користити и остале морфолошке карактеристике које могу имати утицај на брзину и брзину промене смера кретања (Pajic, Ilic, Jakovljevic et al., 2011). То су поред телесне висине и релативна дужина екстремитета (Cronin, McNair, Peter, & Marshall, 2003), висина центра масе (Sheppard & Young, 2006), проценат масног ткива и др.

С обзиром да је у овој анализи третирана морфометријска карактеристика, односно ВМI, који пре свега одговара маси тела, евалуација релација масе тела и моторичког испољавања кретања је веома актуелна. Утицај масе тела приликом покретања сегмента тела (транслокација) или целог тела (транспозиција) може бити отежавајући фактор извођења с обзиром да спортиста треба да савлада своје инерционе карактеристике, најчешће у што краћем времену да произведе брзи прираст радног напора. Ово се најчешће тражи при испољавању фактора брзине или брзине промене смера кретања (Pajic, Ilic, Jakovljevic et al., 2011). Инверзна повезаност између моторичких вештина и телесне масе са више масног ткива се углавном објашњава са механичке тачке гледишта, јер вишак телесних масти утиче на телесну геометрију. Стога, та бескорисна маса (маса масноће) може довести до биомеханичке неефикасности кретања и може бити штетна за моторичку вештину. Поред тога, детаљна кинематичка анализа образаца кретања код спортиста са вишком телесних масти може пружити додатне информације и доказе да се код моторичких вештина које укључују више телесних сегмената, а тиме и већу количину масе тела, потврђује хипотеза подношења сопствене тежине (енгл. weight-bearing hypothesis), (D'Hondt, Deforche, De Bourdeaudhuij & Lenoir, 2009). Спортиста са више масноће у телесном саставу има већу инерцију тела или појединих сегмената тела. То захтева већу продукцију силе по килограму безмасне масе, да би се извела одређена промена

у брзини или смеру кретања, односно има мању безмасну тежину (енгл. lean body mass; LBM) која може имати утицај на тражене брзинске захтеве, као што су старт, убрзање или промена смера кретања (Sheppard & Young, 2006). Поткожно масно ткиво делује као баластна маса тзв. „мртва маса”, јер смањује релативну снагу, тј. однос између развијене снаге и масе тела, који је битан за успешно извођење (Godek, S., Godek, J. & Bartolozzi, 2004). Тиме долази и до дефицита у свим видовима манифестне снаге (стартна, убрзавајућа, успоравајућа и реактивна), а које су (у различитим комбинацијама) неопходне при извођењу већине тражених кретања у моторичким активностима (Pajić, Ilić, Jakovljević

et al., 2011). То су кретања у измењеним условима савладавања гравитационих сила, сила реакције подлоге, отпора ваздуха, као и инерције тела или његових екстремитета. Показано је, да је теже померати своју већу телесну масу, насупрот гравитацији (Riddiford-Harland, Steele & Storlien, 2000). Дакле, негативан утицај масног ткива свих регија тела на ефикасност локомоције је неоспоран.

Разни аутори су показали да повећане баластне масноће у структури масе тела, следствено томе и промењене инерционе карактеристике тела или сегмената тела намећу ограничења у одређеним покретима (Табела 4).

Табела 4 Утицај повећане баластне масноће у структури масе тела на ограничења покрета

Покрети и кретања	Ефекти	Извор конфирмације
Усмерени ка неком циљу (<i>engl. goal – directed movements</i>)	Негативан утицај на контролу равнотеже	(26); (68).
Пропулзију или подизање сопствене телесне масе (<i>engl. weight – bearing activities</i>)	Савладавање инерције тела или сегмената	(26); (68).
Одржавања динамичке равнотеже у локомоцији, баланса, брзине	Фазе контакта са једном и са обе ноге дуже трају	(30); (93); (98).
Брзих заустављања и/или окрета	Савладавање инерције тела или сегмената	(34) ; (41); (57).
Понављаног подизања тела против силе гравитације	Савладавање инерције тела или сегмената	(51).
Пројектовање тела кроз ваздух		(15).

Супротно претходним наводима, већа количина мишићног ткива обезбеђује боље моторичке перформансе (Gorostiaga, Granados, Ibanez, & Izquierdo, 2005). Томе доприносе многе детерминанте, а пре свега способност савлађивања и усклађивања деловања сила инерције, реакције подлоге, гравитације и сл. Последица тога је и већа економичност у померању тежишта тела (тј. телесне масе) вертикално нагоре у скок за лоптом и у трчању по терену (Gorostiaga, Granados, Ibanez, & Izquierdo, 2005). Током трчања, сила реакције подлоге и мишићне силе могу прекорачити вредности телесне тежине, тј. могу бити веће од телесне тежине од 2.5 до 5 пута (Weyand, Sternlight, Bellizzi & Wright, 2000; Wright, S. E. T. H., & Weyand, 2001), (зато је опасно изразито гојазним особама допустити трчање због претераног оптерећења зглобова). Испољавање овако великих сила приликом брзог трчања захтева да брзи тркачи морају поседовати релативно већу количину мишићне масе, како би генерисали ове силе (Hill, 1950; Nelson, Gabaldón & Roberts, 2004; Biewener, 1989). Према томе, већа телесна маса брзих тркача је директно повезана са апсорбовањем већег испољавања силе реакције која је неопходна зарад бржег трчања.

Аутори (Chaouachi, Brughelli, Levin et al., 2009; Krustup, Mohr, Amstrup et al., 2003) су показали да је *VO2max* корелирала са безмасном и масном компонентом. Овај налаз би се могао објаснити тиме што безмасна, “мршава компонента” представља метаболизам безмасне ћелијске масе, која може достићи и обављати главну улогу у телесном метаболизму. Неке студије су утврдиле да “мршава маса” ствара сву метаболичку активност тела, одређује укупну кисеоничку потрошњу (Payette, Hanusaik, Boutier et al., 1998; Newman, Kupelian, Visser et al., 2003; Pedersen, Ovesen, Schroll et al., 2002).

НОВИ КОНЦЕПТИ И МОДЕЛИ У ЕКСПЛИКАЦИЈИ УТИЦАЈА ТЕЛЕСНЕ КОМПОЗИЦИЈЕ НА ЕФИКАСНОСТ МОТОРИЧКОГ ИСПОЉАВАЊА

Несагласност са претходним наводима упућује на то да су потребни нови концепти и модели у експликацији утицаја телесне композиције на ефикасност моторичког испољавања. Поред неопходне процене варијабли процента масног ткива и процента мишићног ткива, може се претпоста-

вити да би примена двокомпонентног ВМІ и MFR (енгл. Muscle to Fat Ratio) модела обезбедила квалитетнији увид у ове релације. Испитивање телесног састава има за циљ да подели и измери телесну масу на основне компоненте. Неки теоријски модели су

узети као основ за развој метода за мерење телесног састава, као нпр: антропометријска, мерење кожних набора, биоелектрична импеданца и NIR метода (Malina, 2007). Класични модели деле телесну масу на компоненте како је приказано (Табела 5).

Табела 5 Теоријски модели валидације телесног састава

Теоријски модели		Телесна маса	
Двокомпонентни	Масну <i>FM</i>	Безмасну <i>FFM</i>	
Трокомпонентни		Телесну воду	Суву безмасну <i>-LBM</i>
Четворокомпонентни		Кости	Остатак

Дакле, масно ткиво и безмасна телесна маса су компоненте укупне телесне масе. Кад се узме у обзир и висина тела, они постају индекс масног ткива *FMI* и индекс безмасне телесне масе *FFMI* и представљају масну и немасну компоненту ВМІ-а, респективно. Ови индекси се дефинишу (Schutz, Kyle & Pichard, 2002):

$$FFMI = \text{безмасна телесна маса} / \text{висина}^2 \text{ (кг/м}^2\text{)}$$

$$FMI = \text{масно ткиво} / \text{висина}^2 \text{ (кг/м}^2\text{)}$$

С обзиром да је ВМІ = *FFMI* + *FMI*, повећање (или смањење) у ВМІ-у би се могло објаснити порастом (или падом) у једној или у обе компоненте. Дакле, за одређени ВМІ, ако се *FFMI* повећа, онда би *FMI* требало да опадне, пошто при константним вредностима ВМІ, између ова два индекса постоји инверзна математичка релација. Стога, предност комбинованог коришћења ових индекса може показати да ли је дефицит или вишак у телесној маси настао услед промене у *FFMI*, *FM* или од обе комбиновано.

Тако (Schutz, Kyle & Pichard, 2002), особа висока 1.85 м и тешка 100 кг има ВМІ 29.2 кг/м², што је сврстава у категорију предгојазне особе, која је на граници да постане гојазна. Ово би било тачно ако је *FMI* већи од референтних вредности и обрнуто, ако *FFMI* те особе није истовремено повећан. Дакле, *FMI* може идентификовати особе са „нормалним” вредностима ВМІ-а који су изложени потенцијалном ризику услед повећања *FM*. Особе које спадају у „нормално” ухрањене по ВМІ-у могу, дакле, имати повећане вредности *FMI*, што указује на потребу да оне морају нормализовати своје телесне масти без обзира на вредности ВМІ (Schutz, Kyle & Pichard, 2002).

На пример, током менопаузе и старења, промене у *FFM* и *FM* нису адекватно праћене променама у ВМІ-у пошто, као што је описано горе, две компоненте ВМІ-а, *FFMI* и *FMI* могу варирати у разним правцима. Пад у висини са старењем представља додатни фактор за прорачунавање ВМІ, *FMI* и *FFMI*, (Schutz, Kyle & Pichard, 2002). Пошто висини

на природно опада током година, вредности ВМІ, *FFMI* и *FMI* би требало да се повећају са старењем. Дакле, примена овог двокомпонентног, структуралног концепта ВМІ-а омогућава предвиђање четири типичне ситуације (Schutz, Kyle & Pichard, 2002):

- низак *FFMI* наспрам *FMI* - назван саркопенична гојазност;
- низак *FFMI* наспрам ниског *FMI* - представља хроничан дефицит у енергији;
- висок *FFMI* наспрам ниског *FMI* - доказ мишићне хипертрофије и
- висок *FFMI* наспрам високог *FMI* - указује на комбинован вишак *FFM* и *FM* (сумо соматотип).

Укратко, *FMI* и *FFMI* се могу користити као индикативне вредности за евалуацију статуса ухрањености (преухрањеност или потхрањеност) код очигледно здравих особа и могу обезбедити додатне информације у поређењу са класичним изражавањем референтних вредности телесне композиције (Schutz, Kyle & Pichard, 2002).

Ако је могућа прецизна процена варијабли процента масног ткива и процента мишићног ткива (мерење кожних набора, биоелектрична импеданца), може се претпоставити да би примена MFR модела обезбедила квалитетнији увид у релације телесне конституције и моторичког испољавања, него примена ВМІ-а.

Генерално, може се претпоставити да постоји обавеза увида у релације између ВМІ-а и MFR-а, када се ВМІ користи као заменска мера у процени утицаја телесне конституције на ефикасност моторичких перформанси (Anđelković, Baralić, Đorđević et al., 2015; Djordjevic, Baralic, Kotur-Stevuljevic et al., 2012). Уобичајено је тврдити да је боље имати мањи ВМІ, јер се подразумева да је тада у структури телесне композиције актуелног спортисте уравнотежена телесна маса. Међутим, за такву тврдњу не постоје гаранције, с обзиром да се може десити да у тој релативно мањој маси

тела, која је узроковала мањи BMI, исто тако има и мање мишићне масе у односу на масну, што је из аспекта утицаја телесне конституције на моторичке перформансе – неповољно. Исто тако, моторички ефикаснији може бити и спортиста са већим или повишеним вредностима BMI, под условом да је усклађен мишићно-масни однос MFR, тј. да је у структури телесне масе повишен проценат телесних мишића у односу на телесне масноће.

Дакле, сама промена у вредности BMI-а у смислу његовог повећавања, није аларм да је дошло до неприкладности телесне композиције у односу на ефикасност моторичког испољавања, јер је могуће да је при истој телесној висини дошло до увећања телесне масе, али на начин да се под утицајем тренинга повећала мишићна маса, а самим тиме и мишићно-масни однос MFR. Већ је обрзложен позитиван утицај повишене телесне мишићне масе, а самим тиме и MFR-а на ефикасност моторичког испољавања у већини моторичких перформанси.

Стога при оваквим анализама треба нагласити ограниченост употребе индекса телесне масе BMI и неопходност примене додатних мерења. Дакле, морају се разматрати одређена ограничења при употреби BMI, као мере телесне масти, а поготово код особа са повишеном телесном масом, јер, пре свега, BMI је мера телесне масе, а не ексцесивних телесних масти. Исто тако, наведене чињенице указују да особе које спадају у „нормалну” категорију по BMI-у могу имати повећане вредности масти FM, што указује на потребу да те особе морају нормализовати своје телесне масти, без обзира на вредности BMI. Поред неопходне процене варијабли процента масног ткива и процента мишићног ткива, може се претпоставити да би примена двокомпонентног BMI и/или MFR модела обезбедила квалитетнији увид у ове релације. Дискрепанција свих претходних навода упућује на то да су потребни нови концепти и модели у експликацији утицаја телесне композиције на ефикасност моторичког испољавања.

ЛИТЕРАТУРА

1. Anđelković M, Baralić I, Đorđević B, Stevuljević JK, Radivojević N, Dikić N, Škodrić SR, Stojković M. (2015). Hematological and biochemical parameters in elite soccer players during a competitive half season. *J Med Biochem*, 34(4): 460–466
2. Arabaci, R., Gorguu, R., & Catikkas, F. (2010). Relationship Between Agility and Speed, Reaction Time and Body Mass Index in Taekwondo Athletes. *Sport Sciences*, 5(2), pp.71-77.
3. Baine, B., Gorman, D., Kern, C. J., Hunt, B. S., Denny, S. G., & Farris, W. J. (2009, April). Relationship between Body Mass Index and motor skills of children. In Exhibit Hall RC Poster Sessions (Tampa Convention Center).
4. Barth, N., Ziegler, A., Himmelmann, G.W., Coners, H., Wabitsch, M., Hennighausen, K., Mayer, H., Remschmidt, H., Schäfer, H. & Hebebrand, J. (1997). Significant weight gains in a clinical sample of obese children and adolescents between 1985 and 1995. *International journal of obesity*, 21(2), pp.122-126.
5. Berrigan, F., Simoneau, M., Tremblay, A., Hue, O., & Teasdale, N. (2006). Influence of obesity on accurate and rapid arm movement performed from a standing posture. *International Journal of Obesity*, 30(12), 1750-1757.
6. Biewener, A. A. (1989). Scaling body support in mammals: limb posture and muscle mechanics. *Science*, 245(4913), 45-48.
7. Bundred, P., Kitchiner, D., & Buchan, I. (2001). Prevalence of overweight and obese children between 1989 and 1998: population based series of cross sectional studies. *British Medical Journal*, 322(7282), 326.
8. Carter, J. L. (1970). The somatotypes of athletes—a review. *Human biology*, 535-569.
9. Castetbon, K., & Andreyeva, T. (2012). Obesity and motor skills among 4 to 6-year-old children in the United States: Nationally-representative surveys. *BMC pediatrics*, 12(1), 1-9.
10. Chaouachi, A., Brughelli, M., Levin, G., Boudhina, N. B. B., Cronin, J., & Chamari, K. (2009). Anthropometric, physiological and performance characteristics of elite team-handball players. *Journal of sports sciences*, 27(2), 151-157.
11. Chatrath, R., Shenoy, R., Serratto, M., & Thoele, D. G. (2002). Physical fitness of urban American children. *Pediatric cardiology*, 23(6), 608-612.
12. Cohn, S. H. (1987). *New concepts of body composition. In vivo body composition studies*. Oxford, BocaRaton Press.
13. Cossio-Bolanos, M., Portella, D., Hespanhol, J. E., Fraser, N., & De Arruda, M. (2012). Body size and composition of the elite Peruvian soccer player. *JEPonline*, 15(3), 30-8.
14. Cronin, J., McNair, P. E. T. E. R., & Marshal, R. (2003). Lunge performance and its determinants. *Journal of sports sciences*, 21(1), 49-57.
15. D'Hondt, E., Deforche, B., De Bourdeaudhuij, I., & Lenoir, M. (2008). Childhood obesity affects fine motor skill performance under different postural constraints. *Neuroscience letters*, 440(1), 72-75.
16. D'Hondt, E., Deforche, B., De Bourdeaudhuij, I., & Lenoir, M. (2009). Relationship between motor skill and body mass index in 5-to 10-year-old children. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 26(1), 21-37.

17. Dawkins R. (1990). *The Selfish Gene*. 2nd ed. Oxford University Press.
18. Deurenberg, P., Weststrate, J. A., & Seidell, J. C. (1991). Body mass index as a measure of body fatness: age- and sex-specific prediction formulas. *British journal of nutrition*, 65(2), 105-114.
19. Dikic N, Andjelkovic M. (2013). *Metabolic fitness*. 1st ed. Belgrade, Sport Medicine Association of Serbia.
20. Djordjevic, B., Baralic, I., Kotur-Stevuljevic, J., Stefanovic, A., Ivanisevic, J., Radivojevic, N., Andjelkovic, M. and Dikic, N. (2012). Effect of astaxanthin supplementation on muscle damage and oxidative stress markers in elite young soccer players. *J Sports Med Phys Fitness*, 52(4), pp.382-92.
21. Frankenfield, D. C., Rowe, W. A., Cooney, R. N., Smith, J. S., & Becker, D. (2001). Limits of body mass index to detect obesity and predict body composition. *Nutrition*, 17(1), 26-30.
22. Gardasevic B, Jakovljevic S, Pajic Z, Preljevic A. (2011). Some anthropometric and power characteristics of elite junior handball and basketball players, *APES*, (1)1: 5-9.
23. Garrow, J. S., & Webster, J. (1985). Quetelet's index (W/H²) as a measure of fatness. *International journal of obesity*, 9(2), 147-153.
24. Godek, S. F., Godek, J. J., & Bartolozzi, A. R. (2004). Thermal responses in football and cross-country athletes during their respective practices in a hot environment. *Journal of Athletic Training*, 39(3), 235.
25. Gallo, P.A.O., Daguerre, R., Batista, J. and Liotta, G., (2002). Relationships Between Age, Biological Maturity, Body Composition and Physical Fitness in Youth Argentinean Soccer Players. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(5), p.64.
26. Gorostiaga, E. M., Granados, C., Ibanez, J., & Izquierdo, M. (2005). Differences in physical fitness and throwing velocity among elite and amateur male handball players. *International journal of sports medicine*, 26(03), 225-232.
27. Goulding, A., Jones, I. E., Taylor, R. W., Piggot, J. M., & Taylor, D. (2003). Dynamic and static tests of balance and postural sway in boys: effects of previous wrist bone fractures and high adiposity. *Gait & posture*, 17(2), 136-141.
28. Graf, C., Koch, B., Kretschmann-Kandel, E., Falkowski, G., Christ, H., Coburger, S., Lehmacher, W., Bjarnason-Wehrens, B., Platen, P., Tokarski, W. and Predel, H.G., (2004). Correlation between BMI, leisure habits and motor abilities in childhood (CHILT-project). *International journal of obesity*, 28(1), pp.22-26.
29. Heyward, V. H., & Wagner, D. R. (2004). *Applied body composition assessment (No. Ed. 2)*. Champaign, IL, Human kinetics.
30. Hill, A. V. (1950). The dimensions of animals and their muscular dynamics. *Science Progress* (1933-), 38(150), 209-230.
31. Hills, A. P., & Parker, A. W. (1991). Gait characteristics of obese children. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 72(6), 403-407.
32. Hills, A. P., & Parker, A. W. (1992). Locomotor characteristics of obese children. *Child: care, health and development*, 18(1), 29-34.
33. Jakovljevic S, Pajic Z, Gardasevic B, Visnjic D. (2011a). Some anthropometric and power characteristics of 12 and 13 years old soccer and basketball players, In Proceedings *Anthropological aspects of sports physical education and recreation*. University of Banja Luka. Faculty of Physical Education and Sport, 42-48.
34. Jakovljević, S., Karalejić, M., Pajić, Z., & Mandić, R. (2011). Acceleration and speed of change of direction and the way of movement of quality basketball players. *Fizička kultura*, 65(1), 16-23.
35. Jakovljević, S., Karalejić, M., Pajić, Z., Gardašević, B., & Mandić, R. (2011). The influence of anthropometric characteristics on the agility abilities of 14 year-old elite male basketball players. *Facta universitatis-series: Physical Education and Sport*, 9(2), 141-149.
36. Kapetanakis, S., Papadopoulos, K., Fiska, A., Vasileiadis, D., Papadopoulos, P., Papatheodorou, K., Adamopoulos, P. & Papanas, N. (2010). Body composition and standing long jump in young men athletes aged 6-13 years. *Journal of Medicine and Medical Sciences*, 1(9), 418-422.
37. Karalejic, M., Jakovljevic, S., & Macura, M. (2011). Anthropometric characteristics and technical skills of 12 and 14 year old basketball players. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 51(1), 103-110.
38. Katch, F. I., & Katch, V. L. (1984). The body composition profile. Techniques of measurement and applications. *Clinics in sports medicine*, 3(1), 31-63.
39. Kinnunen, D. A., Colon, G., Espinoza, D., Overby, L. Y., & Lewis, D. K. (2001). Anthropometric correlates of basketball free-throw shootings by young girls. *Perceptual and motor skills*, 93(1), 105-108.
40. Korsten-Reck, U., Kaspar, T., Korsten, K., Kromeyer-Hauschild, K., Bös, K., Berg, A., & Dickhuth, H. H. (2007). Motor abilities and aerobic fitness of obese children. *International journal of sports medicine*, 28(09), 762-767.
41. Krneta Z, Keric M, & Pelemis M. (2011). Analysis of mobile status of young adolescents of both sexes in relation to the value of the body mass index. *Sport and health VI*; 1: 80-85.
42. Krustrup, P., Mohr, M., Amstrup, T., Rysgaard, T., Johansen, J., Steensberg, A., Pedersen, P.K. and Bangsbo, J., 2003. The yo-yo intermittent recovery test: physiological response, reliability, and validity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(4), pp.697-705.
43. Lee, J. S., Auyeung, T. W., Kwok, T., Lau, E. M., Leung, P. C., & Woo, J. (2007). Associated factors and health impact of sarcopenia in older Chinese men and women: a cross-sectional study. *Gerontology*, 53(6), 404-410.

44. Lopes, V. P., Stodden, D. F., Bianchi, M. M., Maia, J. A., & Rodrigues, L. P. (2012). Correlation between BMI and motor coordination in children. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 15(1), 38-43.
45. Malina, R. M. (2007). Body composition in athletes: assessment and estimated fatness. *Clinics in sports medicine*, 26(1), 37-68.
46. Malina, R. M., Bouchard, C., & Bar-Or, O. (2004). *Growth, maturation, and physical activity*. Champaign, IL, Human kinetics.
47. Marc, A., Sedeaud, A., Guillaume, M., Rizk, M., Schipman, J., Antero-Jacquemin, J., Haida, A., Berthelot, G. & Toussaint, J.F. (2014). Marathon progress: demography, morphology and environment. *Journal of sports sciences*, 32(6), pp.524-532.
48. Marshall, J. D., & Bouffard, M. (1994). Obesity and movement competency in children. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 11(3), 297-305.
49. Massuça, L., & Fragoso, I. (2011). Study of portuguese handball players of different playing status. a morphological and biosocial perspective. *Biology of Sport*, 28(1).
50. McGraw, B., McClenaghan, B. A., Williams, H. G., Dickerson, J., & Ward, D. S. (2000). Gait and postural stability in obese and nonobese prepubertal boys. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 81(4), 484-489.
51. Nelson, F. E., Gabaldón, A. M., & Roberts, T. J. (2004). Force-velocity properties of two avian hindlimb muscles. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 137(4), 711-721.
52. Newman, A.B., Kupelian, V., Visser, M., Simonsick, E., Goodpaster, B., Nevitt, M., Kritchevsky, S.B., Tyllavsky, F.A., Rubin, S.M., Harris, T.B. and Health ABC Study Investigators, (2003). Sarcopenia: alternative definitions and associations with lower extremity function. *Journal of the American Geriatrics Society*, 51(11), pp.1602-1609.
53. Nummela, A., Keränen, T., & Mikkelsen, L. O. (2007). Factors related to top running speed and economy. *International journal of sports medicine*, 28(08), 655-661.
54. Okely, A. D., Booth, M. L., & Chey, T. (2004). Relationships between body composition and fundamental movement skills among children and adolescents. *Research quarterly for exercise and sport*, 75(3), 238-247.
55. Onetti-Onetti, W., Molina-Sotomayor, E., González-Jurado, J.A. and Castillo-Rodríguez, A., (2020). Comparison between sexes of the relationships between body composition and maximum oxygen volume in elderly people. *Sustainability*, 12(8), p.3156.
56. Ortega, F. B., Ruiz, J. R., & Sjöström, M. (2007). Physical activity, overweight and central adiposity in Swedish children and adolescents: the European Youth Heart Study. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 4(1), 1-10.
57. Pajic Z, Ilic J, Jakovljevic S, Macura M, Preljevic A. (2011). Relations between morphological and characteristics and speed of movement direction changes in professional soccer players. In M. Mikalački, & G. Bala (eds.) 2nd *International Scientific Conference Exercise and quality of life*, Novi Sad: Faculty of Sport and PE, 393-398.
58. Pajić Z. (2006). *Effects of inertial loads on the motor, morphological and biomechanical performance of movement at maximum speed*. Doctoral thesis. Belgrade. Faculty of Sport and Physical Education.
59. Pavlou, K. N., Steffee, W. P., Lerman, R. H., & Burrows, B. A. (1985). Effects of dieting and exercise on lean body mass, oxygen uptake, and strength. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17(4), 466-471.
60. Payette, H., Hanusaik, N., Boutier, V., Morais, J. A., & Gray-Donald, K. (1998). Muscle strength and functional mobility in relation to lean body mass in free-living frail elderly women. *European journal of clinical nutrition*, 52(1), 45-53.
61. Pedersen, A. N., Ovesen, L., Schroll, M., Avlund, K., & Era, P. (2002). Body composition of 80-years old men and women and its relation to muscle strength, physical activity and functional ability. *The Journal of nutrition, health & aging*, 6(6), 413-420.
62. Pissanos, B. W., Moore, J. B., & Reeve, T. G. (1983). Age, sex, and body composition as predictors of children's performance on basic motor abilities and health-related fitness items. *Perceptual and motor skills*, 56(1), 71-77.
63. Plank, L. D., Connolly, A. B., & Hill, G. L. (1998). Sequential changes in the metabolic response in severely septic patients during the first 23 days after the onset of peritonitis. *Annals of surgery*, 228(2), 146.
64. Prentice, A. M., & Jebb, S. A. (2001). Beyond body mass index. *Obesity reviews*, 2(3), 141-147.
65. Ramadan J, Byrd R. (1987). Physical characteristics of elite soccer players. *J Sports Med Phys*; 27: 424-428.
66. Reid, K. F., Naumova, E. N., Carabello, R. J., Phillips, E. M., & Fielding, R. A. (2008). Lower extremity muscle mass predicts functional performance in mobility-limited elders. *The journal of nutrition health and aging*, 12(7), 493-498.
67. Rico-Sanz, J. (1998). Body composition and nutritional assessments in soccer. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 8(2), 113-123.
68. Riddiford-Harland, D. L., Steele, J. R., & Storlien, L. H. (2000). Does obesity influence foot structure in prepubescent children?. *International journal of obesity*, 24(5), 541-544.
69. Rolland, Y., Lauwers-Cances, V., Cournot, M., Nourhashemi, F., Reynish, W., Rivière, D., Vellas, B. & Grandjean, H. (2003). Sarcopenia, calf circumference, and physical function of elderly women: a cross-sectional study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 51(8), pp.1120-1124.

70. Rolland, Y., Lauwers-Cances, V., Pahor, M., Fillaux, J., Grandjean, H., & Vellas, B. (2004). Muscle strength in obese elderly women: effect of recreational physical activity in a cross-sectional study. *The American journal of clinical nutrition*, 79(4), 552-557.
71. Roubenoff, R., & Hughes, V. A. (2000). Sarcopenia: current concepts. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 55(12), M716-M724.
72. Ryan, A. S., & Nicklas, B. J. (1999). Age-related changes in fat deposition in mid-thigh muscle in women: relationships with metabolic cardiovascular disease risk factors. *International journal of obesity*, 23(2), 126-132.
73. Savelsbergh, G. J., Bennett, S. J., Angelakopoulos, G. T., & Davids, K. (2005). Perceptual-motor organization of children's catching behaviour under different postural constraints. *Neuroscience letters*, 373(2), 153-158.
74. Schutz, Y., Kyle, U. U. G., & Pichard, C. (2002). Fat-free mass index and fat mass index percentiles in Caucasians aged 18-98 y. *International journal of obesity*, 26(7), 953-960.
75. Sharma, R., & Nigam, A. K. (2011). A study of body mass index in relation to motor fitness components of school going children involved in physical activities. *Journal of exercise science and physiotherapy*, 7(1), 29-33.
76. Sheppard JM, & Young WB. (2006). Agility literature review: Classification, training and testing. *J Sports Sci*; 24(9): 919-932.
77. Shin, H., Liu, P. Y., Panton, L. B., & Ilich, J. Z. (2014). Physical performance in relation to body composition and bone mineral density in healthy, overweight, and obese postmenopausal women. *Journal of geriatric physical therapy*, 37(1), 7-16.
78. Siervogel, R. M., Maynard, L. M., Wisemandle, W. A., Roche, A. F., Guo, S. S., Chumlea, W. C., & Towne, B. (2000). Annual changes in total body fat and fat-free mass in children from 8 to 18 years in relation to changes in body mass index: the Fels Longitudinal Study. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 904(1), 420-423.
79. Silvestre, R., Kraemer, W.J., West, C., Judelson, D.A., Spiering, B.A., Vingren, J.L., Hatfield, D.L., Anderson, J.M. & Maresh, C.M. (2006). Body composition and physical performance during a National Collegiate Athletic Association Division I men's soccer season. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), p.962.
80. Singh, S., Singh, K., & Singh, M. (2010). Anthropometric measurements, body composition and somatotyping of high jumpers. *Brazilian Journal of Biomotricity*, 4(4), 266-271.
81. Sinha, R., Dufour, S., Petersen, K.F., LeBon, V., Enoksson, S., Ma, Y.Z., Savoye, M., Rothman, D.L., Shulman, G.I. and Caprio, S., (2002). Assessment of skeletal muscle triglyceride content by 1H nuclear magnetic resonance spectroscopy in lean and obese adolescents: relationships to insulin sensitivity, total body fat, and central adiposity. *Diabetes*, 51(4), pp.1022-1027.
82. Southall, J. E., Okely, A. D., & Steele, J. R. (2004). Actual and perceived physical competence in overweight and nonoverweight children. *Pediatric Exercise Science*, 16(1), 15-24.
83. Sporiš, G., Vuleta, D., Vuleta Jr, D., & Milanović, D. (2010). Fitness profiling in handball: physical and physiological characteristics of elite players. *Collegium antropologicum*, 34(3), 1009-1014.
84. Sum, C. F., Wang, K. W., Choo, D. C. A., Tan, C. E., Fok, A. C. K., & Tan, E. H. (1994). The effect of a 5-month supervised program of physical activity on anthropometric indices, fat-free mass, and resting energy expenditure in obese male military recruits. *Metabolism*, 43(9), 1148-1152.
85. Taaffe, D. R., Cauley, J. A., Danielson, M., Nevitt, M. C., Lang, T. F., Bauer, D. C., & Harris, T. B. (2001). Race and sex effects on the association between muscle strength, soft tissue, and bone mineral density in healthy elders: the Health, Aging, and Body Composition Study. *Journal of bone and mineral research*, 16(7), 1343-1352.
86. Temfemo, A., Hugues, J., Chardon, K., Mandengue, S. H., & Ahmaidi, S. (2009). Relationship between vertical jumping performance and anthropometric characteristics during growth in boys and girls. *European journal of pediatrics*, 168(4), 457-464.
87. Tokmakidis, S. P., Kasambalis, A., & Christodoulos, A. D. (2006). Fitness levels of Greek primary schoolchildren in relationship to overweight and obesity. *European journal of pediatrics*, 165(12), 867-874.
88. Toriola, A. L., & Igbokwe, N. U. (1986). Age and sex differences in motor performance of pre-school Nigerian children. *Journal of Sports Sciences*, 4(3), 219-227.
89. Visser, M., Deeg, D.J., Lips, P., Harris, T.B. & Bouter, L.M. (2000). Skeletal muscle mass and muscle strength in relation to lower-extremity performance in older men and women. *Journal of the American Geriatrics Society*, 48(4), 381-386.
90. Visser, M., Goodpaster, B.H., Kritchevsky, S.B., Newman, A.B., Nevitt, M., Rubin, S.M., Simonsick, E.M. & Harris, T.B., (2005). Muscle mass, muscle strength, and muscle fat infiltration as predictors of incident mobility limitations in well-functioning older persons. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 60(3), pp.324-333.
91. Visser, M., Harris, T.B., Langlois, J., Hannan, M.T., Roubenoff, R., Felson, D.T., Wilson, P.W.F. & Kiel, D.P., (1998). Body fat and skeletal muscle mass in relation to physical disability in very old men and women of the Framingham Heart Study. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 53(3), pp.M214-M221.
92. Vukašinović-Vesić, M., Anđelković, M., Stojmenović, T., Dikić, N., Kostić, M., & Čurčić, Đ. (2015). Sweat rate and fluid intake in young elite basketball players on the FIBA Europe U20 Championship. *Vojnosanitetski preglod*, 72(12), 1063-1068.

93. Weyand, P. G., Sternlight, D. B., Bellizzi, M. J., & Wright, S. (2000). Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *Journal of applied physiology*, 89(5), 1991-1999.
94. Whatley, J. E., Gillespie, W. J., Honig, J., Walsh, M. J., Blackburn, A. L., & Blackburn, G. L. (1994). Does the amount of endurance exercise in combination with weight training and a very-low-energy diet affect resting metabolic rate and body composition?. *The American journal of clinical nutrition*, 59(5), 1088-1092.
95. Wilmore JH. (1982). Body composition and athletic performance. *J Appl Physiol*; 82(5): 1508-1516.
96. Wolinsky, I., & Driskell, J. A. (2008). *Sports Nutrition; Energy Metabolism and Exercise*, New York. In Library of Congress Cataloging (Vol. 420).
97. Wong, A. K. Y., & Cheung, S. Y. (2006). Gross Motor Skills Performance of Hong Kong Chinese Children: *Asian Journal of Physical Education & Recreation*, 12(2), 23-29.
98. Wright, S. E. T. H., & Weyand, P. G. (2001). The application of ground force explains the energetic cost of running backward and forward. *Journal of Experimental Biology*, 204(10), 1805-1815.

Примљен: 25.12. 2021.

Прихваћен: 01.03. 2022.

Online објављен: 08.03. 2022.

BODY MASS INDEX IN DETERMINATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN BODY CONSTITUTION AND MOTOR ABILITIES

ÍNDICE DE MASA CORPORAL EN LA DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE CONSTITUCIÓN CORPORAL Y HABILIDADES MOTORAS

Zoran Pajić¹, Saša Jakovljević¹, Marija Anđelković², Slobodan Simović³

¹Faculty of Sport and Physical Education, University of Belgrade, Serbia

²Sports medicine association of Serbia, Belgrade, Serbia

³Faculty of Physical Education and Sport, University of Banja Luka, Bosnia and Herzegovina

Abstract

The aim of this paper is to review and summarize the theoretical and empirical facts of using the (*BMI*), (*body mass index*) in determining the relationship between body constitution and motor skills. Several key circumstances have been identified in which the body mass index can give erroneous information about the actual body composition, and especially about the amount of adipose tissue in the body. Factors such as age, sex, race, health status and muscle mass can influence the connection between (*BMI*) and body fat. Due to a relatively low coefficient of determination between (*BMI*) and percentage of body fat, one should be cautious when using (*BMI*) to evaluate body composition as a predictor of obesity or as a substitution measure in evaluating the influence of body constitution on the efficiency of motor performances. The analysis of the sources indicates that the existence of unexplained facts uses alternative measures of body composition and their limited use in research and direct training practice. Therefore, new concepts and models are necessary in order to explain the influence of body composition on the efficiency of motor performance. Apart from the necessary evaluation of variables of percentages of fatty and muscle tissues, it could be assumed that the application of two component (*BMI*) = (*FFMI*+*FMI*), (*Fat Free Mass Index*, *Fat Mass Index*) and/or (*MFR*) model (*Muscle to Fat Ratio*) would provide a better comprehension of these relations.

Key words: BODY COMPOSITION / MOTOR PERFORMANCES / MUSCLE TO FAT RATIO / FAT MASS INDEX / FAT FREE MASS INDEX

Resumen

El objetivo de este trabajo es revisar y resumir los hechos teóricos y empíricos del uso del índice de masa corporal IMC (Índice de Masa Corporal) para determinar la relación entre la constitución corporal y las habilidades motoras. Se han identificado varias circunstancias clave en las que el índice de masa corporal puede dar información errónea sobre la composición corporal real, y especialmente sobre la cantidad de tejido adiposo en el cuerpo. Factores como la edad, el género, la raza, la salud y la masa muscular pueden afectar la relación entre el IMC y la grasa corporal. Debido al coeficiente de determinación relativamente bajo entre el IMC y el porcentaje de grasa corporal, se debe tener precaución al utilizar el IMC para evaluar la composición corporal como predictor de obesidad o como medida alternativa para evaluar el impacto de la constitución corporal en la eficiencia del rendimiento motor. El análisis de las fuentes indica la existencia de hechos no explicados del uso de medidas alternativas de composición corporal y su uso limitado en la investigación y la práctica de entrenamiento directa. Por lo tanto, se han propuesto nuevos conceptos y modelos en la explicación de la influencia de la composición corporal en la eficiencia de la expresión motriz. Además de la necesaria valoración de las variables entre el porcentaje de tejido adiposo y el porcentaje de tejido muscular, se puede suponer que la utilización del IMC de dos componentes = *FFMI* + *FMI* (*Fat Free Mass Index*, *Fat Mass Index*), es decir, índice de masa corporal magra + índice de tejido adiposo y/o *MFR* (*Muscle Fat Ratio*), es decir, la relación músculo-grasa del modelo proporcionaría una mejor comprensión de estas relaciones.

Palabras clave: COMPOSICIÓN CORPORAL / RENDIMIENTO MOTRIZ / RELACIÓN MÚSCULO-GRASA / ÍNDICE DE TEJIDO ADIPOSO/ ÍNDICE DE MASA CORPORAL MAGRA

INTRODUCTION

Understanding body composition of athletes was considered as an essential part of total training management process (Wilmore, 1982). Many researchers assumed that favorable anthropometric characteristics, body composition, as well as functional abilities, needed for their particular sport were required of each athlete (Singh et al., 2010; Massuca & Fragoso, 2011).

Anthropometric and kinanthropometric studies aimed at indicating how certain morphological factors, including body fat, body mass, muscle mass and body height influenced the competitive performances of athletes (Carter, 1970). Since each sport has its specific motor requirements, it could be assumed that each athlete should have specific anthropometric characteristics which correspond to his/her sports discipline. Changes in body composition and motor performances can occur on all levels, from the beginning to the end of training and competitive seasons (Silvestre et al., 2006). Therefore, the possible ideal body composition depends on a particular sport or discipline, structure of competitive activity, position in a team etc. In some contact sports such as rugby, higher body mass is an advantage, while in others such as gymnastics, marathon etc. lower body mass and high values of force/mass relation (i.e. higher relative force - production of force per one kilogram of body weight) are necessary. For example, in marathon runners the most suitable profiles and relations, necessary for achieving optimal performances were identified (Marc, Sedeaud, Guillaume et al., 2014). Calculated optimal (BMI) index for men was 19.8 kg/m², while for 10 best competitors of all times it was between 17.5 and 20.7 kg/m². Lately, (BMI) has been used intensively in anthropological researches as an indicator of body constitution of subjects. It is customary in practice that (BMI) is not only the indicator of "weight as such" but it also, through its structural component, indicates indirectly the quantity of fatty tissue, especially in the cases of extreme body masses (Malina, Bouchard & Bar-Or, 2004).

In a large number of researches (BMI) has been used as an indicator of body constitution in relation to various performances of motor activities. Many researches have clearly indicated the connection of body composition and (BMI) with the efficiency of performing motor abilities, but in other researches this connection was not established. Regarding the fact that (BMI) is a morpho-metric characteristic which mostly depends on body mass, evaluation of the relations of body mass and motor performance of moving is very up to date. Justification of doubt in the suitability of using (BMI) as a substitute measurement could be assumed in the following:

- analysis of the differences of influence on motor performances of body mass which has more muscles in comparison to fat in its structure, and vice versa;
- the fact that parts of useless fatty tissue and useful muscle tissue cannot be established from its result in the total component of body mass;
- a number of proofs that it is muscle mass, not fat mass, that is significantly positively connected with measures of physical performances.

BODY MASS INDEX AS A SUBSTITUTE MEASURE

Body mass index is often used as "a substitution measure" for body constitution and as one of the criteria in the selection of athletes, as well as persons in other fields (especially those with specific jobs, such as military and police recruits etc.). However, when certain borderline values of (BMI) are not reached or are exceeded, the problem of interpretation of results can occur. In accordance with this, there are certain circumstances in which disagreement can occur in some "substitution measurements", especially in (BMI) with actual body composition, particularly with the quantity of fat tissue within the body (Prentice & Jebb, 2001). When evaluating body fat within the body, relying on (BMI) as a substitution measure can cause inconsistencies in overall population (Cohn, 1987), which can also create an incorrect picture of exceeded body mass in athletes (Heyward & Wagner, 2004). Measuring only body mass cannot determine the quantity of body fat in an organism (Pajic, Ilic, Jakovljevic et al., 2011), since it does not differ between fat and fat free body components. Therefore, in such analyses the limitations of using (BMI) and the necessity of applying additional measuring should be pointed out. From the above mentioned, it could be implied that substitution measures could provide wrong and not quite reliable information on body composition, as well as that (BMI) is an indirect measure of body mass, not of adiposity. This creates the conditions for wrongful diagnosis of obesity and inadequate tries of reducing body mass, as well as not understanding the influence of actual body composition on motor performances of treated athletes. Therefore, the supposed unreliability of (BMI) is possible, since the quantity of useless fatty tissue and useful muscle tissue in total component of body mass cannot be established from its value.

Explanations for the above assumptions must be considered through certain restrictions on the use of (BMI), as a measure of body fat, and especially in people with overweight, because, above all, (BMI) is

a measure of body weight, not excess body fat. Also, (BMI) does not differ between excessive fat, muscle and bone mass, and it cannot indicate the distribution of fat in various persons. Factors such as age, sex, race, health status and muscle mass can influence the relation between (BMI) and body fat. On average, **elderly people** have more fatty tissue than the young for the same values of (BMI), (Cohn, 1987). Body mass and (BMI) cannot detect the “conversion” of fat free into fatty tissue (Cohn, 1987), which is a normal process which occurs while aging. Aging is followed by progressive increase in relation between fat and fat free body mass. This occurs even in people who manage to maintain the same values of (BMI). Therefore, the connection between (BMI) and body fat depends on a person's age. These deviations are especially prominent after middle age and during menopause in women. In contemporary sedentary world, the increase of (BMI) in most individuals is noticeable. Although these data indicate the increase of body fat in people, they still severely underestimate the true increase of body fat. There are prediction equations, which include years of change, i.e. gaining certain values of body fat from (BMI), and they are also efficient in overcoming the afore mentioned problems (Deurenberg, Weststrate & Seidell, 1991). Also, the composition of muscles changes with the increased infiltration of fat. Increase of fat infiltration in muscles with aging can be an important, if not the main aspect of sarcopenia (loss of muscle mass and muscle strength), (Roubenoff & Hughes, 2000). As for the proteins, their intake usually decreases in adults, which contributes to the loss of muscle mass and lower basal metabolism, which consequentially leads to the increase of body weight even if the energy intake remains the same (Shin, Liu, Panton & Ilich, 2014). These phenomena can be a significant predictor of the fact that (BMI) is not suitable for evaluating body constitution.

In children, (BMI) generally increases between the ages of 8 and 18 and is highly connected with fat and fat free body components in all ages. Furthermore, unlike the adults whose body height and (BMI) are generally not connected, in children they are. Yearly changes of (BMI) can be strongly caused by changes both in fat and fat free components of body composition, as well as in a child's height. Yearly increases in (BMI) during childhood are primarily led by the increase in fat free component of (BMI), especially in boys during puberty, due to fast increase of height and relatively low yearly decrease or increase in total body fat. This results in negative average fluctuations of fatty component of (BMI) (i.e. total body fat/height²). The degree to which each component contributes to average increase of (BMI) depends partially on the age and sex of a child.

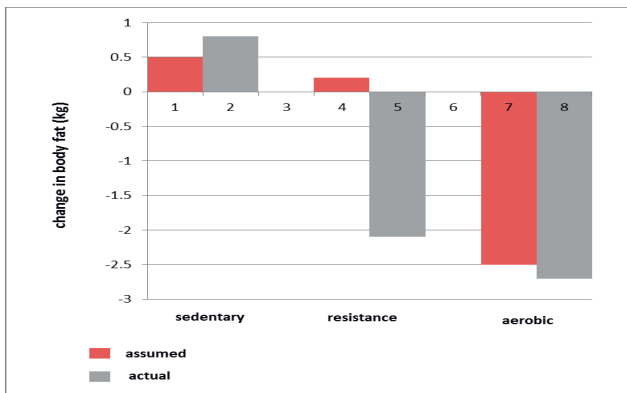
The circumference of limbs as well as the quantity of muscle tissue increase through both early childhood and adolescence. At the age of 11, children are still in the period of pre-puberty and more prominent body changes are not noticeable yet. With reaching puberty (girls around 12 and boys around 13) larger and more sudden changes in body shape and composition begin to occur, which further influence (BMI) and indirectly contribute to the quality of performing motor tasks, especially demonstrating muscle strength (Malina, Bouchard & Bar-Or, 2004). This clearly illustrates the complexity of interpreted changes in (BMI) in children and stresses the fact that (BMI) is the measure of body mass, not adiposity. Although (BMI) can be useful to define obesity in adults, (BMI) in children and adolescents does not have the same characteristics. Application of (BMI) in children is complicated by its dependence on height, relative difference between the length of body and legs, fat free body mass (FFM) and the level of maturity (Siervogel, Maynard, Wisemandle et al., 2000). The degree and level of sexual maturity influence the relation between (BMI) and body fat in children (Dawkins, 1990). Because of this, height is one of the first selective characteristics in most sports, and it is used to recruit children as kinanthropometric suitable athletes.

On average, **women** have higher quantities of total body fats than man for the same values of (BMI). They have lower muscle mass, higher fat infiltration into muscles and lower muscle strength (Shin, Liu, Panton & Ilich, 2014; Visser, Harris, Langlois et al., 1998; Visser, Goodpaster, Kritchevsky et al., 2005). Women in menopause are more prone to gaining weight with fat infiltration into muscles, as well as to deposition and redistribution of fat into central, abdominal region. At the same time they suffer from loss of muscle mass, which leads to sarcopenia and loss of bone density (i.e. osteopeny or osteoporosis can occur). Both of these occur in cases of sarcopenic or osteopenic obesity.

It is well known that (BMI) does not provide valid data on body fat in people with **developed musculature**, gained through long-term exercising or due to natural muscle build (genetic heritage). Muscular persons can have high (BMI) due to increased muscle mass. Due to the fact that muscles are heavier than fat, very muscular people can have high values of (BMI), (Sum, Wang, Choo et al., 1994).

In today sedentary lifestyle, individuals who take care of their health, continue to practice both aerobic and resistance trainings, in order to stay physically fit. Many of them do not necessarily want to lose mass, but aim towards improving their condition and body composition. Others, on the other hand, consider losing fat layers as their primary aim. Changes in body mass

can give deceptive impressions on thorough changes in fat, especially in resistance training, which helps build muscle mass (Prentice & Jebb, 2001), (Picture 1).

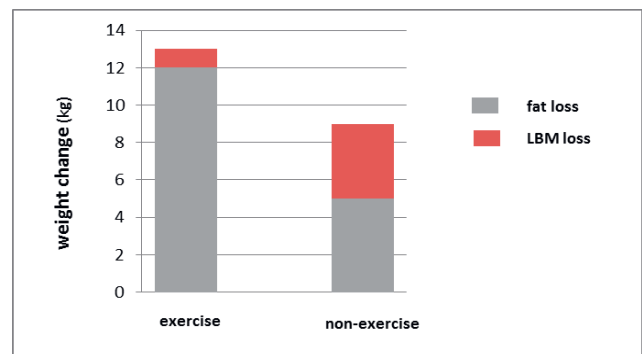


Picture 1. Assumed and real change in body fat after training, modified to Prentice & Jebb, (2001).

“The assumed” change in body fat is simply calculated as 75% of the total loss of weight, while “real” change is the directly measured loss in fat. On average, the differences are not so large in all studies, but they can have important motivational effects. For example, people who practiced training with load would assume that they did not achieve any loss in fat.

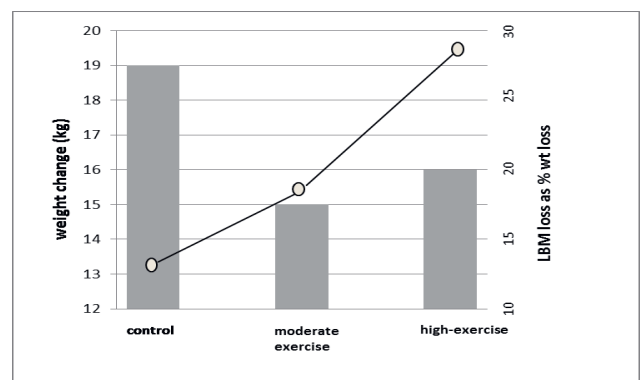
Simple measures of body mass (and therefore measures deduced from BMI) generally provide satisfactory evaluations of clinical progress in programs for losing of body weight using diets. Incorporation of exercising in the regimes of body reduction is justified due to long term results of keeping body mass after losing weight. However, under these circumstances, loss in mass does not equal the loss of fat, so body mass and (BMI) can lead to deceptive measurements of progress in losing weight.

The composition of weight loss was determined in 72 medium obese persons on which various programs for reducing body mass were applied, including physical exercise (Pavlou, Steffee, Lerman & Burrows, 1985), (Picture 2). If measuring of body composition was not available, the advantages of exercising would at first sight have been small and statistically insignificant (11.8 compared to 9.2 kg of body mass lost). Be that as it may, the analysis of body fat has indicated that the group which exercised lost 11.2 ± 1.5 kg of fat when compared to only 5.2 ± 1.6 kg in the group which has not exercised ($p < 0,001$). This is only one of the examples of successful body mass loss, but it also points out the fact that establishing the loss of mass itself, and, with it, leaning on substitution measurements can be ill-suited.



Picture 2. Composition of losing body mass, modified to Pavlou, Steffee, Lerman & Burrows, (1985).

In an analogous study (Whatley, Gillespie, Honig et al., 1994), the effect of intensity of exercising on the loss of fatty tissue in obese women was analyzed and evaluated (Picture 3). It can be noticed that the proportion of body loss of fat free component was higher in the group which has not exercised (i.e. the control group) and also that the real amount of weight loss was lower. These findings indicate that the substitution measures are unsuitable and that detecting the effects of used programs by applying the analysis of body fat is important.

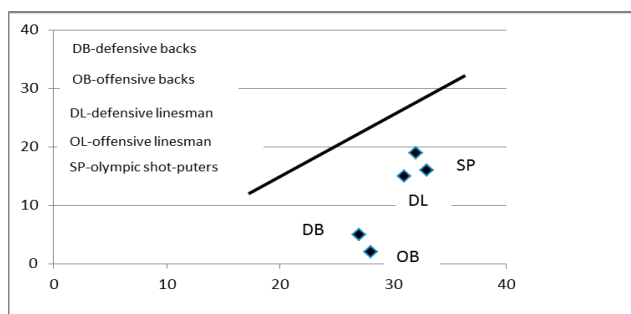


Picture 3. The effects of exercising on the composition of lost weight while dieting, modified to (Whatley, Gillespie, Honig et al., 1994).

In the experiment in which extremely obese persons with (BMI) > 30 followed a special diet and exercise program regime, similar results were acquired (Dikic & Andjelkovic, 2013). Average body mass at the beginning of the program was 107.2 ± 19.4 kg, (BMI) 37.1 ± 4.3 kg/m² and average percentage of body fat was 41.0 ± 5.7 . After ninety days of program, average loss of (BM) amounted to 9.2 ± 5.4 kg (9.19% of initial (BM)). (BMI) was statistically significantly lowered to 32.7 ± 3.4 from the initial average 37.1 ± 4.3 kg/m² at the end of the ninety-day-program. Percentage of body fat was statistically significantly lowered to 36.4

± 6.3 from average 41.0 ± 5.7 at the end of the ninety-day-program. On average, subjects have lost 7.2 kg of fatty tissue, which was statistically significant. Percentage of fat and the quantity of fatty tissue in limbs and body trunk were statistically significantly lower, which supports the idea of body remodeling. Body remodeling, segmental fat loss and loss of fatty tissue of as much as 7.2 kg could not be indicated if only (BMI) and body mass were taken into consideration, which implies their limitations in everyday work.

Be that as it may, in specific groups such as athletes, evaluations based on usage of substitution measurements, especially (BMI) can lead to systematic errors. A prominent error was the result of an attempt to evaluate body fat based on (BMI) in players of American football and hammer throwers (Katch & Katch, 1984), (Picture 4). They had a higher percent of fat free component than their (BMI) indicated. This connection can be applied to most athletes, even in very low values of (BMI).



Picture 4. Disagreement between (BMI) and percentage of body fat in athletes, modified to (Katch & Katch, 1984).

There are numerous clinical states in which disturbed hormonal status changes the usual connection between fat free and fatty tissue in which body mass and (BMI) give wrong impressions on body composition and changes in it. Huge changes in hydration of tissue can have similar effects (Vukašinović-Vesić, Anđelković, Stojmenović et al., 2015). For example, a group of patients with diagnosed sepsis lost 8 kg of mass during the first days of illness without any significant loss in body fat (Plank, Connolly & Hill, 1998). Under these and similar circumstances, direct measuring of body fat and fat free component is essential in order to follow the progress in the state of nourishment.

Due to relatively low coefficient of determination between (BMI) and percent of body fat, using (BMI) as a predictor of obesity was criticized. (BMI) is more appropriate as an index of total body fat or body fat in relation with height, then total body fat in relation to mass (Garrow & Webster, 1985). The degree of adiposity

is partially predictable using (BMI), at least on the population scale, if adiposity is defined as excessive body mass per body height unit, but not as excess of body fat per body mass unit. Similar to predicting the percentage of body fat from (BMI), predicting body fat/height² from (BMI) is much more changeable in people with (BMI) under 30 kg/m².

Obesity is defined if (BMI) is at least 30 kg/m² or if the amount of fat is at least 25% of the total body mass for men and 30% for women (Frankenfield, Rowe, Cooney et al., 2001). However, it has been established that 30% of men and 46% of women with (BMI) under 30 kg/m² had increased levels of body fat. They were also obese and therefore their classification according to (BMI) was wrong. The highest variability in predicting the percentage of body fat and body mass divided by square height value (body mass/height²) from regression equations using (BMI) was among the values of (BMI) under 30 kg/m². Therefore, the measuring of body fat is a much more suitable way to evaluate obesity in people with (BMI) under 30 kg/m².

The biggest flaw of (BMI) is that with its usage, real body composition is not taken into consideration (Schutz, Kyle & Pichard, 2002). Excess in body mass can occur due to the increase of fat tissue or due to muscle hypertrophy. On the other hand, decrease of values of (BMI) can occur due to the loss of fat free component (FFM) (i.e. sarcopenia), loss of fat tissue or combination of both.

Higher infiltration of fat into muscles with aging can be a crucial aspect of **sarcopenia** which influences the functional status in old age. Fat infiltration into muscles is positively connected with total body fat (Ryan & Nicklas, 1999; Sinha, Dufour, Petersen et al., 2002) and it can be a factor which contributes to inadequacy of applying (BMI) in the evaluation of body constitution. Although many studies support the fact that muscle mass is a strong predictor of physical function in adults, it is evident that lower fat infiltration in muscles as a measure of muscle quality, could be used as a valid predictor of better physical performance. It was additionally indicated that persons who fall into the "normal" category according to their (BMI), can have increased values of fat (FM), which indicates the need for those persons to normalize their body fat, regardless of the values of (BMI), (Schutz, Kyle & Pichard, 2002). Previous explanations illustrate several key circumstances in which (BMI) as substitution measurement of body constitution, and especially body fat can provide wrong information on real body composition of an individual, mostly due to the disagreement in usual connection between fat free (FFM) and fat (FM) components.

RELATIONSHIPS OF BODY MASS INDEX WITH MOTOR ABILITIES

In a large number of researches, (*BMI*) was used as an indicator of body constitution in relation to various performances of motor activities. Many researches clearly indicated the connection between body composition and (*BMI*) with the efficiency of performing motor abilities in all ages (*Table 1*).

Table 1. Connection of (*BMI*) with the efficiency of performing motor abilities

<i>(BMI)</i> - motor performance relationship		Source of confirmation
Inverse	Positive	No relationship
Fundamental movement skills (FMS - running, gallop, hops & long jump); General motor skills		(28); (39); (72); (81); (88); (97).
Endurance (VO_2 max), Energy consumption; Aerobic fitness, Cardiorespiratory fitness		(8); (11); (15); (55); (62); (64); (81).
Maximum running speed		(15); (33); (34); (40); (56); (58); (64).
Accuracy - dexterity of motor skills (i.e. running)		(22); (35); (97).
Jumping efficiency		(8); (33); (34); (48); (64).
Agility	Agility	(15); (34); (56); (58); (82); (86).
Balance		(2); (75); (88).
Coordination		(4); (7); (9); (27); (44); (50).
Perceptual – motor coordination	Overall & fine coordination	
	Flexibility	(20); (37); (82).
	Explosive strength	(7); (20); (87).
	Precision	(22); (35); (53).

The findings acquired by using separate groups formed by dividing the sample of subjects into groups of subjects with under average, average and above average indexes of body mass (*Table 2*).

Table 2. Connection of different levels of *BMI* with the efficiency of performing motor abilities

Different (<i>BMI</i>)levels and motor performance relationship			Source of confirmation
Below average	Average	Above average	
Speed			(36); (82); (54).
Agility			
Vertical jump	Vertical jump	Vertical jump	
Muscle force			(20).
Flexibility	Flexibility	Flexibility	(20).
Strength endurance			
Balance			

This is why there is a completely reasonable doubt that it is not enough to rely on (*BMI*) which is not about the structure of body mass, and it can therefore be assumed that it is not a reliable indicator when explaining the relations of treated morphological characteristics and motor abilities. This is also the origin of the supposition that in many above mentioned researches the structure of body mass was not analyzed,

which caused the existence or nonexistence of the connection of (*BMI*) with the treated motor performances. The justification for the mentioned doubt on unsuitability of (*BMI*) as a substitution measurement could be assumed in the analysis of the differences of influence of body mass, which in its structure has more muscles when compared to fat and vice versa (*Table 3*).

Table 3. Analysis of the differences in influence of body mass with larger muscle mass in comparison with fat tissue and vice versa on motor performances.

Ability	Body weight		Source of confirmation
	Muscle tissue	Fat tissue	
Speed	+	-	(3); (57); (64).
Change of direction speed		-	(41); (57).
Power, Strength	+		(1); (5); (13); (14); (24); (31); (43); (57); (64); (65); (66); (67); (69); (70); (73); (83); (85); (89); (96).
Endurance	+		(1); (16); (43); (45); (55); (57); (64); (69); (76); (89); (91).

Body mass can influence motor performances and success in various sports, but body composition and the quantity of body fat can be more precise indicators of motor efficiency than body mass (Wolinsky & Driskell, 2008). Sports in which lower quantity of body fat is an advantage (running, diving, gymnastics, skating and wrestling). Muscle mass improves sports achievement in the activities which require muscle force, strength and stamina, but also in those which require considerable aerobic ability (Ramadan & Byrd, 1987; Rico-Sanz, 1998). Body mass index does not take into consideration build and cannot illustrate the percentage of fatty tissue in relation to muscle or bone mass (Pajic, Ilic, Jakovljevic et al., 2011). Certain players with higher body mass and high (BMI) who have large content of muscle and bone mass in relation to height cannot be treated as obese (Pajic, Ilic, Jakovljevic et al., 2011)..

Several authors (Prentice & Jebb, 2001; Pajic, Ilic, Jakovljevic et al., 2011; Sporiš, Vuleta, D., Vuleta Jr, D., & Milanović, 2010) have noticed strong negative correlation between body fat and maximal speed of running. They point out that the efficiency of locomotion of players is more complex the faster their moving is. It is inversely proportional to the volume and mass of his/her body, if it is largely determined by fatty tissue. Therefore, a different influence of body mass on athletic achievement depending on body structure is noticeable. Extremely heavy football players, whose mass is determined by higher amount of fatty tissue, achieve weaker results in motor activities of maximal speed running, as well as in changing the direction of moving (Pajic, Ilic, Jakovljevic et al., 2011). Body mass can influence speed, stamina and strength of an athlete, while body composition can influence force and agility (Prentice & Jebb, 2001; Pajic, Ilic, Jakovljevic et al., 2011). Previous statements indicate that other morphological characteristics which could influence speed and the speed of changing the direction of moving should also be researched and used at the same time (Pajic, Ilic, Jakovljevic et al., 2011). Apart from body height, the following characteristics should

be taken into consideration: relative length of limbs (Cronin, McNair, Peter, & Marshall, 2003), height of the center of mass (Sheppard & Young, 2006), percentage of fatty tissue etc.

Concerning the fact that in this study a morphometric characteristic, i.e. (BMI) was treated, which most of all depends on body mass, the evaluation of the relation of body mass and motor performance of movement is necessary. The influence of body mass while moving segments of the body (translocation) or whole body (transposition) can be an impeding factor of performance, considering the fact that an athlete should master his inertial characteristics, which will usually produce a fast growth of working effort in a short period of time. This is usually required during performance of speed factor or speed of changing the direction of moving (Pajic, Ilic, Jakovljevic et al., 2011). Inverted connection between motor skills and body mass with larger fat tissue is usually explained from the mechanic point of view, since excess of body fat can influence body geometry. Therefore, this useless mass (fat mass) can lead to biomechanic inefficiency of moving and can be bad for motor skill. Apart from this, detailed kinematic analysis of moving patterns in athletes with excessive body fat can provide additional information and proofs that, in motor skills which include several body segments and higher body mass quantity, confirms the "weight-bearing hypothesis" (D'Hondt, Deforche, De Bourdeaudhuij & Lenoir, 2009). An athlete with more fat in his body composition has a higher inertia of the body or separate body segments. This requires a higher production of force per kilogram of fat free mass, in order to perform certain change in speed or the direction of moving, i.e. has lower lean body mass (LBM) which can influence the required speed demands such as start, acceleration or changing of direction (Sheppard & Young, 2006). Subcutaneous fat tissue functions as ballast mass, so called "dead mass" since it decreases relative strength, i.e. the relationship between the developed strength and body mass, which is important for successful performance

(Godek, S., Godek, J. & Bartolozzi & 2004). This leads to the deficit in all forms of manifested strength (start, acceleration, deceleration and reactive strength), which are (in different combinations) necessary for performing most of the required types of moving in motor activities (Pajic, Ilic, Jakovljevic et al., 2011). These are the types of moving in changed conditions in order to overcome gravity, forces of surface reaction, air resistance, as well as inertia of the body or its limbs. It has been shown that it is more difficult to move higher body

mass in order to oppose gravity (Riddiford-Harland, Steele & Storlien, 2000). So, the negative influence of fat tissue of all regions of the body on the efficiency of locomotion is indisputable.

Various authors have shown that increased ballast fat in the structure of body mass, and, as a consequence, changed inertia characteristics of the body or its segments, impose limitations in certain types of movements (Table 4).

Table 4. The influence of increased ballast fat in the structure of body mass on limitation of movement

Movements	Reasons	Source of confirmation
Goal oriented (eng. <i>goal – directed movements</i>)	Negative influence on balance control	(26); (68).
Propulsion or lifting own body weight (eng. <i>weight – bearing activities</i>)	Overcoming body or limb inertia	(26); (68).
Dynamic balance maintenance	Longer duration of contact phase using one or both legs	(30); (93); (98).
Quick stop and/or turn	Overcoming body or limb inertia	(34) ; (41); (57).
Repeatedly lifting body weight vs gravity	Overcoming body or limb inertia	(51).
In which body is projected through air		(15).

Contrary to previous statements, higher quantity of muscle tissue provides better motor performance (Gorostiaga, Granados, Ibanez, & Izquierdo, 2005). Many determinants contribute to this, first of all the ability to master and coordinate inertia forces, surface reactions, gravity etc. The consequence is, for example, greater motion economy in moving center of gravity (i.e. body mass) vertically upwards into jump after the ball and in running around the whole court area (Gorostiaga, Granados, Ibanez, & Izquierdo, 2005). While running, the forces of surface reaction and muscle strength can exceed the values of body weight i.e. are higher than body weight 2.5 to 5 times (Weyand, Sternlight, Bellizzi & Wright, 2000; Wright, S. E. T. H., & Weyand, 2001), (that is why it is dangerous to allow extremely obese persons to run, due to possible burden on their joints). Performance of such strong forces during running requires that the runners should have a relatively large quantity of muscle mass, in order to generate these forces (Hill, 1950; Nelson, Gabaldón & Roberts, 2004; Biewener, 1989). Accordingly, greater body mass of fast runners is directly connected with higher performance of force reaction which is necessary for faster running.

The authors (Chaouachi, Brughelli, Levin et al., 2009; Krustup, Mohr, Amstrup et al., 2003) have shown that (VO_2max) correlates with fat free and fat components. This finding could be explained by the fact that fat free component represents the metabolism of fat free cell mass, which can reach and perform

the main role in body metabolism. Some studies have established that fat free component creates all metabolic activity of the body, and determines the total oxygen consumption (Payette, Hanusaik, Boutier et al., 1998; Newman, Kupelian, Visser et al., 2003; Pedersen, Ovesen, Schroll et al., 2002).

NEW CONCEPTS AND MODELS IN THE EXPLICATION OF THE INFLUENCE OF BODY COMPOSITION ON THE EFFICIENCY OF MOTOR EXPRESSION

Discrepancy of all previous statements indicates that new concepts and models are necessary in explaining the influence of body composition on the efficiency of motor performance. Apart from the necessary evaluation of variables of fat tissue percentage and muscle tissue percentage, it could be supposed that the application of two-component (BMI) and (MFR) (muscle to fat ratio) models would provide a better insight into these relations. Examination of body composition aims at measuring body mass and dividing it into basic components. Some theoretical models were taken as basis for the development of methods for measuring body composition, such as: anthropometric, measuring skin folds, bioelectric impedance and NIR method (Malina, 2007). Classic models divide body mass into components as shown in Table 5.

Table.5 Theoretical models of body composition

Theoretical model	Body weight	
Two component	fat (<i>FM</i>)	Fat free (<i>FFM</i>)
Three component	Body water	Lean (<i>LBM</i>)
Four component	Bones	Rest

Therefore, fat tissue and fat free body mass are the components of total body mass. When height (stature) is also considered, they become fat mass index (FMI) and fat free mass index (FFMI) and represent fat and fat free components of (BMI), respectively. These indexes are defined in the following way (Schutz, Kyle & Pichard, 2002).

$$\text{FFMI} = \text{fat free mass/height}^2 \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

$$\text{FMI} = \text{fat mass/height}^2 \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

Regarding the fact that $(\text{BMI}) = (\text{FFMI} + \text{FMI})$, the increase or decrease of (BMI) could be explained by increase (or decrease) in one or both components. So, for certain (BMI), if (FFMI) increased, (FMI) should decrease, since in constant values of (BMI) between these two indexes there is an inverse mathematical relation. Therefore, the advantage of combined usage of these indexes could indicate whether the deficit or excess in body mass has occurred due to changes in (FFM), (FM) or both categories combined.

For example (Schutz, Kyle & Pichard, 2002), a person 1.85m tall and lifting 100 kg has (BMI) 29.2 kg/m², which places him/her into the category of pre-obese, on the borderline of becoming obese. This would be true if (FMI) is higher than referential values and vice versa if (FFMI) of that person is not simultaneously increased. Therefore, (FMI) can identify persons with "normal" values of (BMI) who are prone to potential risk due to the (FM) increase. Person, who falls into the "normal" category according to their (BMI), can have increased values of (FMI) which then indicates that they need to normalize their body fat regardless of (BMI) values (Schutz, Kyle & Pichard, 2002).

For example, during aging and menopause, changes in (FFM) and (FM) are not adequately followed by changes in (BMI) since, as described in the previous text; two components of (BMI), (FFMI and FMI) can vary in various directions. Decrease of height with aging is an additional factor for calculating (BMI), (FMI) and (FFMI), (Schutz, Kyle & Pichard, 2002). Since height naturally decreases with age, values of (BMI), (FFMI) and (FMI) should increase with aging. This is why the application of this two component structural concept of (BMI) enables anticipation of four typical situations (Schutz, Kyle & Pichard, 2002):

- low (FFMI) and high (FMI) - sarcopenic obesity;
- low (FFMI) and low (FMI) - chronic deficit in energy;

- high (FFMI) and low (FMI) - proof of muscle hypertrophy;
- high (FFMI) and high (FMI) - indicates combined excess of (FFM) and (FM) (sumo somatotype).

In short, (FMI) and (FFMI) can be used as indicative values for evaluating the status of nourishment (over nourishment and undernourishment) in healthy people and can provide additional information in comparison with the classic presentation of referential values of body composition (Schutz, Kyle & Pichard, 2002).

If precise evaluation of variables of percentage of fat tissue and percentage of muscle tissue is possible (measuring skin folds, bioelectrical impedance or NIR method), it can be assumed that the application of (MFR) (muscle to fat ratio) model would provide a better insight into the relations of body constitution and motor performance than (BMI).

Generally speaking, it can be supposed that it is necessary to gain insight into relations between (BMI) and (MFR), when (BMI) is used as substitution measurement in evaluation of the influence of body constitution on the efficiency of motor performances (Anđelković, Baralić, Đorđević et al., 2015; Djordjevic, Baralic, Kotur-Stevuljevic et al., 2012). It is usual to claim that it is better to have a lower (BMI), since this implies that a balanced body mass is in the structure of an athlete's body. However, there are no guarantees for such a claim, considering the fact that in this relatively lower body mass which was the cause of lower (BMI), there is also less muscle mass when compared to fat mass, which is unfavorable from the aspect of influence of body constitution on motor performances. Also, an athlete with higher or increased values of (BMI) can be motoric more efficient, under the condition that he/she has a harmonious muscle-fat ratio (MFR), i.e. that the percentage of body muscle is increased in relation to body fat in the structure of body mass.

Therefore, the very change in the value of (BMI), i.e. its increase, is not a signal that there is something wrong in body composition which could result in inefficiency of motor performance, since it is possible that an increase of body mass has occurred for the same body height, but in such a way that, under the influence of training, muscle mass has increased and with it, the muscle-fat ratio (MFR). The positive influence of increased muscle mass has already been explained,

and with it, the influence of (MFR) on the efficiency of motor performance in most motor performances.

Therefore, with such analyses it should be pointed out that body mass index (BMI) has limited usage, and that additional measuring is necessary. Therefore, certain limitations in applying (BMI) have to be taken into consideration while using it, such as body fat, especially in persons with increased body mass, since (BMI) is above all a measurement of excessive body mass, not excessive body fat. Also, stated facts indicate that persons who fall into the “normal category according to (BMI) can have increased values of fat (FM) which indicates the need for these persons to normalize their body fat regardless of the values of (BMI). Discrepancy of all previous statements indicates that new concepts and models in explaining the influence of body composition on the efficiency of motor performance are necessary. Apart from the necessary evaluation of variables of fat tissue percentage and percentage of muscle tissue, it can be assumed that the application of two component (BMI) and/or (MFR) model would provide a better insight into these relations. The discrepancy of all previous statements indicates that new concepts and models are needed in the explication of the influence of body composition on the efficiency of motor expression.

REFERENCES

1. Anđelković M, Baralić I, Đorđević B, Stevuljević JK, Radivojević N, Dikić N, Škodrić SR, Stojković M. (2015). Hematological and biochemical parameters in elite soccer players during a competitive half season. *J Med Biochem*, 34(4): 460–466
2. Arabaci, R., Gorguu, R., & Catikkas, F. (2010). Relationship Between Agility and Speed, Reaction Time and Body Mass Index in Taekwondo Athletes. *Sport Sciences*, 5(2), pp.71-77.
3. Baine, B., Gorman, D., Kern, C. J., Hunt, B. S., Denny, S. G., & Farris, W. J. (2009, April). Relationship between Body Mass Index and motor skills of children. In Exhibit Hall RC Poster Sessions (Tampa Convention Center).
4. Barth, N., Ziegler, A., Himmelmann, G.W., Coners, H., Wabitsch, M., Hennighausen, K., Mayer, H., Remschmidt, H., Schäfer, H. & Hebebrand, J. (1997). Significant weight gains in a clinical sample of obese children and adolescents between 1985 and 1995. *International journal of obesity*, 21(2), pp.122-126.
5. Berrigan, F., Simoneau, M., Tremblay, A., Hue, O., & Teasdale, N. (2006). Influence of obesity on accurate and rapid arm movement performed from a standing posture. *International Journal of Obesity*, 30(12), 1750-1757.
6. Biewener, A. A. (1989). Scaling body support in mammals: limb posture and muscle mechanics. *Science*, 245(4913), 45-48.
7. Bundred, P., Kitchiner, D., & Buchan, I. (2001). Prevalence of overweight and obese children between 1989 and 1998: population based series of cross sectional studies. *British Medical Journal*, 322(7282), 326.
8. Carter, J. L. (1970). The somatotypes of athletes—a review. *Human biology*, 535-569.
9. Castetbon, K., & Andreyeva, T. (2012). Obesity and motor skills among 4 to 6-year-old children in the United States: Nationally-representative surveys. *BMC pediatrics*, 12(1), 1-9.
10. Chaouachi, A., Brughelli, M., Levin, G., Boudhina, N. B. B., Cronin, J., & Chamari, K. (2009). Anthropometric, physiological and performance characteristics of elite team-handball players. *Journal of sports sciences*, 27(2), 151-157.
11. Chatrath, R., Shenoy, R., Serratto, M., & Thoele, D. G. (2002). Physical fitness of urban American children. *Pediatric cardiology*, 23(6), 608-612.
12. Cohn, S. H. (1987). *New concepts of body composition. In vivo body composition studies*. Oxford, Bocardo Press.
13. Cossio-Bolanos, M., Portella, D., Hespanhol, J. E., Fraser, N., & De Arruda, M. (2012). Body size and composition of the elite Peruvian soccer player. *JEPonline*, 15(3), 30-8.

14. Cronin, J., McNair, P. E. T. E. R., & Marshal, R. (2003). Lunge performance and its determinants. *Journal of sports sciences*, 21(1), 49-57.
15. D'Hondt, E., Deforche, B., De Bourdeaudhuij, I., & Lenoir, M. (2008). Childhood obesity affects fine motor skill performance under different postural constraints. *Neuroscience letters*, 440(1), 72-75.
16. D'Hondt, E., Deforche, B., De Bourdeaudhuij, I., & Lenoir, M. (2009). Relationship between motor skill and body mass index in 5-to 10-year-old children. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 26(1), 21-37.
17. Dawkins R. (1990). *The Selfish Gene*. 2nd ed. Oxford University Press.
18. Deurenberg, P., Weststrate, J. A., & Seidell, J. C. (1991). Body mass index as a measure of body fatness: age- and sex-specific prediction formulas. *British journal of nutrition*, 65(2), 105-114.
19. Dikic N, Andjelkovic M. (2013). *Metabolic fitness. 1st ed.* Belgrade, Sport Medicine Association of Serbia.
20. Djordjevic, B., Baralic, I., Kotur-Stevuljevic, J., Stefanovic, A., Ivanisevic, J., Radivojevic, N., Andjelkovic, M. and Dikic, N. (2012). Effect of astaxanthin supplementation on muscle damage and oxidative stress markers in elite young soccer players. *J Sports Med Phys Fitness*, 52(4), pp.382-92.
21. Frankenfield, D. C., Rowe, W. A., Cooney, R. N., Smith, J. S., & Becker, D. (2001). Limits of body mass index to detect obesity and predict body composition. *Nutrition*, 17(1), 26-30.
22. Gardasevic B, Jakovljevic S, Pajic Z, Preljevic A. (2011). Some anthropometric and power characteristics of elite junior handball and basketball players, *APES*, (1)1: 5-9.
23. Garrow, J. S., & Webster, J. (1985). Quetelet's index (W/H²) as a measure of fatness. *International journal of obesity*, 9(2), 147-153.
24. Godek, S. F., Godek, J. J., & Bartolozzi, A. R. (2004). Thermal responses in football and cross-country athletes during their respective practices in a hot environment. *Journal of Athletic Training*, 39(3), 235.
25. Gallo, P.A.O., Daguerre, R., Batista, J. and Liotta, G., (2002). Relationships Between Age, Biological Maturity, Body Composition and Physical Fitness in Youth Argentinean Soccer Players. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(5), p.64.
26. Gorostiaga, E. M., Granados, C., Ibanez, J., & Izquierdo, M. (2005). Differences in physical fitness and throwing velocity among elite and amateur male handball players. *International journal of sports medicine*, 26(03), 225-232.
27. Goulding, A., Jones, I. E., Taylor, R. W., Piggot, J. M., & Taylor, D. (2003). Dynamic and static tests of balance and postural sway in boys: effects of previous wrist bone fractures and high adiposity. *Gait & posture*, 17(2), 136-141.
28. Graf, C., Koch, B., Kretschmann-Kandel, E., Falkowski, G., Christ, H., Coburger, S., Lehmacher, W., Bjarnason-Wehrens, B., Platen, P., Tokarski, W. and Predel, H.G., (2004). Correlation between BMI, leisure habits and motor abilities in childhood (CHILT-project). *International journal of obesity*, 28(1), pp.22-26.
29. Heyward, V. H., & Wagner, D. R. (2004). *Applied body composition assessment (No. Ed. 2)*. Champaign, Il, Human kinetics.
30. Hill, A. V. (1950). The dimensions of animals and their muscular dynamics. *Science Progress (1933-)*, 38(150), 209-230.
31. Hills, A. P., & Parker, A. W. (1991). Gait characteristics of obese children. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 72(6), 403-407.
32. Hills, A. P., & Parker, A. W. (1992). Locomotor characteristics of obese children. *Child: care, health and development*, 18(1), 29-34.
33. Jakovljevic S, Pajic Z, Gardasevic B, Visnjic D. (2011a). Some anthropometric and power characteristics of 12 and 13 years old soccer and basketball players, In *Proceedings Anthropological aspects of sports physical education and recreation*. University of Banja Luka. Faculty of Physical Education and Sport, 42-48.
34. Jakovljević, S., Karalejić, M., Pajić, Z., & Mandić, R. (2011). Acceleration and speed of change of direction and the way of movement of quality basketball players. *Fizička kultura*, 65(1), 16-23.
35. Jakovljević, S., Karalejić, M., Pajić, Z., Gardašević, B., & Mandić, R. (2011). The influence of anthropometric characteristics on the agility abilities of 14 year-old elite male basketball players. *Facta universitatis-series: Physical Education and Sport*, 9(2), 141-149.
36. Kapetanakis, S., Papadopoulos, K., Fiska, A., Vasileiadis, D., Papadopoulos, P., Papatheodorou, K., Adamopoulos, P. & Papanas, N. (2010). Body composition and standing long jump in young men athletes aged 6-13 years. *Journal of Medicine and Medical Sciences*, 1(9), 418-422.
37. Karalejic, M., Jakovljevic, S., & Macura, M. (2011). Anthropometric characteristics and technical skills of 12 and 14 year old basketball players. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 51(1), 103-110.
38. Katch, F. I., & Katch, V. L. (1984). The body composition profile. Techniques of measurement and applications. *Clinics in sports medicine*, 3(1), 31-63.
39. Kinnunen, D. A., Colon, G., Espinoza, D., Overby, L. Y., & Lewis, D. K. (2001). Anthropometric correlates of basketball free-throw shootings by young girls. *Perceptual and motor skills*, 93(1), 105-108.
40. Korsten-Reck, U., Kaspar, T., Korsten, K., Kromeyer-Hauschild, K., Bös, K., Berg, A., & Dickhuth, H. H. (2007). Motor abilities and aerobic fitness of obese children. *International journal of sports medicine*, 28(09), 762-767.

41. Krneta Z, Keric M, & Pelemis M. (2011). Analysis of mobile status of young adolescents of both sexes in relation to the value of the body mass index. *Sport and health VI*; 1: 80-85.
42. Krustup, P., Mohr, M., Amstrup, T., Rysgaard, T., Johansen, J., Steensberg, A., Pedersen, P.K. and Bangsbo, J., 2003. The yo-yo intermittent recovery test: physiological response, reliability, and validity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(4), pp.697-705.
43. Lee, J. S., Auyeung, T. W., Kwok, T., Lau, E. M., Leung, P. C., & Woo, J. (2007). Associated factors and health impact of sarcopenia in older Chinese men and women: a cross-sectional study. *Gerontology*, 53(6), 404-410.
44. Lopes, V. P., Stodden, D. F., Bianchi, M. M., Maia, J. A., & Rodrigues, L. P. (2012). Correlation between BMI and motor coordination in children. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 15(1), 38-43.
45. Malina, R. M. (2007). Body composition in athletes: assessment and estimated fatness. *Clinics in sports medicine*, 26(1), 37-68.
46. Malina, R. M., Bouchard, C., & Bar-Or, O. (2004). *Growth, maturation, and physical activity*. Champaign, Il, Human kinetics.
47. Marc, A., Sedeaud, A., Guillaume, M., Rizk, M., Schipman, J., Antero-Jacquemin, J., Haida, A., Berthelot, G. & Toussaint, J.F. (2014). Marathon progress: demography, morphology and environment. *Journal of sports sciences*, 32(6), pp.524-532.
48. Marshall, J. D., & Bouffard, M. (1994). Obesity and movement competency in children. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 11(3), 297-305.
49. Massuça, L., & Fragoso, I. (2011). Study of portuguese handball players of different playing status. a morphological and biosocial perspective. *Biology of Sport*, 28(1).
50. McGraw, B., McClenaghan, B. A., Williams, H. G., Dickerson, J., & Ward, D. S. (2000). Gait and postural stability in obese and nonobese prepubertal boys. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 81(4), 484-489.
51. Nelson, F. E., Gabaldón, A. M., & Roberts, T. J. (2004). Force-velocity properties of two avian hindlimb muscles. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 137(4), 711-721.
52. Newman, A.B., Kupelian, V., Visser, M., Simonsick, E., Goodpaster, B., Nevitt, M., Kritchevsky, S.B., Tyllavsky, F.A., Rubin, S.M., Harris, T.B. and Health ABC Study Investigators, (2003). Sarcopenia: alternative definitions and associations with lower extremity function. *Journal of the American Geriatrics Society*, 51(11), pp.1602-1609.
53. Nummela, A., Keränen, T., & Mikkelsen, L. O. (2007). Factors related to top running speed and economy. *International journal of sports medicine*, 28(08), 655-661.
54. Okely, A. D., Booth, M. L., & Chey, T. (2004). Relationships between body composition and fundamental movement skills among children and adolescents. *Research quarterly for exercise and sport*, 75(3), 238-247.
55. Onetti-Onetti, W., Molina-Sotomayor, E., González-Jurado, J.A. and Castillo-Rodriguez, A., (2020). Comparison between sexes of the relationships between body composition and maximum oxygen volume in elderly people. *Sustainability*, 12(8), p.3156.
56. Ortega, F. B., Ruiz, J. R., & Sjörström, M. (2007). Physical activity, overweight and central adiposity in Swedish children and adolescents: the European Youth Heart Study. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 4(1), 1-10.
57. Pajić Z, Ilic J, Jakovljevic S, Macura M, Preljevic A. (2011). Relations between morphological and characteristics and speed of movement direction changes in professional soccer players. In M. Mikalački, & G. Bala (eds.) 2nd *International Scientific Conference Exercise and quality of life*, Novi Sad: Faculty of Sport and PE, 393-398.
58. Pajić Z. (2006). *Effects of inertial loads on the motor, morphological and biomechanical performance of movement at maximum speed*. Doctoral thesis. Belgrade. Faculty of Sport and Physical Education.
59. Pavlou, K. N., Steffee, W. P., Lerman, R. H., & Burrows, B. A. (1985). Effects of dieting and exercise on lean body mass, oxygen uptake, and strength. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17(4), 466-471.
60. Payette, H., Hanusaik, N., Boutier, V., Morais, J. A., & Gray-Donald, K. (1998). Muscle strength and functional mobility in relation to lean body mass in free-living frail elderly women. *European journal of clinical nutrition*, 52(1), 45-53.
61. Pedersen, A. N., Ovesen, L., Schroll, M., Avlund, K., & Era, P. (2002). Body composition of 80-years old men and women and its relation to muscle strength, physical activity and functional ability. *The Journal of nutrition, health & aging*, 6(6), 413-420.
62. Pissanos, B. W., Moore, J. B., & Reeve, T. G. (1983). Age, sex, and body composition as predictors of children's performance on basic motor abilities and health-related fitness items. *Perceptual and motor skills*, 56(1), 71-77.
63. Plank, L. D., Connolly, A. B., & Hill, G. L. (1998). Sequential changes in the metabolic response in severely septic patients during the first 23 days after the onset of peritonitis. *Annals of surgery*, 228(2), 146.
64. Prentice, A. M., & Jebb, S. A. (2001). Beyond body mass index. *Obesity reviews*, 2(3), 141-147.
65. Ramadan J, Byrd R. (1987). Physical characteristics of elite soccer players. *J Sports Med Phys*; 27: 424-428.
66. Reid, K. F., Naumova, E. N., Carabello, R. J., Phillips, E. M., & Fielding, R. A. (2008). Lower extremity muscle mass predicts functional performance in mobility-limited elders. *The journal of nutrition health and aging*, 12(7), 493-498.
67. Rico-Sanz, J. (1998). Body composition and nutritional assessments in soccer. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 8(2), 113-123.

68. Riddiford-Harland, D. L., Steele, J. R., & Storlien, L. H. (2000). Does obesity influence foot structure in prepubescent children?. *International journal of obesity*, 24(5), 541-544.
69. Rolland, Y., Lauwers-Cances, V., Cournot, M., Nourhashémi, F., Reynish, W., Rivière, D., Vellas, B. & Grandjean, H. (2003). Sarcopenia, calf circumference, and physical function of elderly women: a cross-sectional study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 51(8), pp.1120-1124.
70. Rolland, Y., Lauwers-Cances, V., Pahor, M., Fillaux, J., Grandjean, H., & Vellas, B. (2004). Muscle strength in obese elderly women: effect of recreational physical activity in a cross-sectional study. *The American journal of clinical nutrition*, 79(4), 552-557.
71. Roubenoff, R., & Hughes, V. A. (2000). Sarcopenia: current concepts. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 55(12), M716-M724.
72. Ryan, A. S., & Nicklas, B. J. (1999). Age-related changes in fat deposition in mid-thigh muscle in women: relationships with metabolic cardiovascular disease risk factors. *International journal of obesity*, 23(2), 126-132.
73. Savelsbergh, G. J., Bennett, S. J., Angelakopoulos, G. T., & Davids, K. (2005). Perceptual-motor organization of children's catching behaviour under different postural constraints. *Neuroscience letters*, 373(2), 153-158.
74. Schutz, Y., Kyle, U. U. G., & Pichard, C. (2002). Fat-free mass index and fat mass index percentiles in Caucasians aged 18-98 y. *International journal of obesity*, 26(7), 953-960.
75. Sharma, R., & Nigam, A. K. (2011). A study of body mass index in relation to motor fitness components of school going children involved in physical activities. *Journal of exercise science and physiotherapy*, 7(1), 29-33.
76. Sheppard JM, & Young WB. (2006). Agility literature review: Classification, training and testing. *J Sports Sci*; 24(9): 919-932.
77. Shin, H., Liu, P. Y., Pantou, L. B., & Ilich, J. Z. (2014). Physical performance in relation to body composition and bone mineral density in healthy, overweight, and obese postmenopausal women. *Journal of geriatric physical therapy*, 37(1), 7-16.
78. Siervogel, R. M., Maynard, L. M., Wisemandle, W. A., Roche, A. F., Guo, S. S., Chumlea, W. C., & Towne, B. (2000). Annual changes in total body fat and fat-free mass in children from 8 to 18 years in relation to changes in body mass index: the Fels Longitudinal Study. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 904(1), 420-423.
79. Silvestre, R., Kraemer, W.J., West, C., Judelson, D.A., Spiering, B.A., Vingren, J.L., Hatfield, D.L., Anderson, J.M. & Maresh, C.M. (2006). Body composition and physical performance during a National Collegiate Athletic Association Division I men's soccer season. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), p.962.
80. Singh, S., Singh, K., & Singh, M. (2010). Anthropometric measurements, body composition and somatotyping of high jumpers. *Brazilian Journal of Biomotricity*, 4(4), 266-271.
81. Sinha, R., Dufour, S., Petersen, K.F., LeBon, V., Enoksson, S., Ma, Y.Z., Savoye, M., Rothman, D.L., Shulman, G.I. and Caprio, S., (2002). Assessment of skeletal muscle triglyceride content by ¹H nuclear magnetic resonance spectroscopy in lean and obese adolescents: relationships to insulin sensitivity, total body fat, and central adiposity. *Diabetes*, 51(4), pp.1022-1027.
82. Southall, J. E., Okely, A. D., & Steele, J. R. (2004). Actual and perceived physical competence in overweight and nonoverweight children. *Pediatric Exercise Science*, 16(1), 15-24.
83. Sporiš, G., Vuleta, D., Vuleta Jr, D., & Milanović, D. (2010). Fitness profiling in handball: physical and physiological characteristics of elite players. *Collegium antropologicum*, 34(3), 1009-1014.
84. Sum, C. F., Wang, K. W., Choo, D. C. A., Tan, C. E., Fok, A. C. K., & Tan, E. H. (1994). The effect of a 5-month supervised program of physical activity on anthropometric indices, fat-free mass, and resting energy expenditure in obese male military recruits. *Metabolism*, 43(9), 1148-1152.
85. Taaffe, D. R., Cauley, J. A., Danielson, M., Nevitt, M. C., Lang, T. F., Bauer, D. C., & Harris, T. B. (2001). Race and sex effects on the association between muscle strength, soft tissue, and bone mineral density in healthy elders: the Health, Aging, and Body Composition Study. *Journal of bone and mineral research*, 16(7), 1343-1352.
86. Temfemo, A., Hugues, J., Chardon, K., Mandengue, S. H., & Ahmaidi, S. (2009). Relationship between vertical jumping performance and anthropometric characteristics during growth in boys and girls. *European journal of pediatrics*, 168(4), 457-464.
87. Tokmakidis, S. P., Kasambalis, A., & Christodoulos, A. D. (2006). Fitness levels of Greek primary schoolchildren in relationship to overweight and obesity. *European journal of pediatrics*, 165(12), 867-874.
88. Toriola, A. L., & Igbokwe, N. U. (1986). Age and sex differences in motor performance of pre-school Nigerian children. *Journal of Sports Sciences*, 4(3), 219-227.
89. Visser, M., Deeg, D.J., Lips, P., Harris, T.B. & Bouter, L.M. (2000). Skeletal muscle mass and muscle strength in relation to lower-extremity performance in older men and women. *Journal of the American Geriatrics Society*, 48(4), 381-386.
90. Visser, M., Goodpaster, B.H., Kritchevsky, S.B., Newman, A.B., Nevitt, M., Rubin, S.M., Simonsick, E.M. & Harris, T.B., (2005). Muscle mass, muscle strength, and muscle fat infiltration as predictors of incident mobility limitations in well-functioning older persons. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 60(3), pp.324-333.

91. Visser, M., Harris, T.B., Langlois, J., Hannan, M.T., Roubenoff, R., Felson, D.T., Wilson, P.W.F. & Kiel, D.P. (1998). Body fat and skeletal muscle mass in relation to physical disability in very old men and women of the Framingham Heart Study. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 53(3), pp.M214-M221.
92. Vukašinović-Vešić, M., Anđelković, M., Stojmenović, T., Dikić, N., Kostić, M., & Ćurčić, Đ. (2015). Sweat rate and fluid intake in young elite basketball players on the FIBA Europe U20 Championship. *Vojnosanitetski preglad*, 72(12), 1063-1068.
93. Weyand, P. G., Sternlight, D. B., Bellizzi, M. J., & Wright, S. (2000). Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *Journal of applied physiology*, 89(5), 1991-1999.
94. Whatley, J. E., Gillespie, W. J., Honig, J., Walsh, M. J., Blackburn, A. L., & Blackburn, G. L. (1994). Does the amount of endurance exercise in combination with weight training and a very-low-energy diet affect resting metabolic rate and body composition?. *The American journal of clinical nutrition*, 59(5), 1088-1092.
95. Wilmore JH. (1982). Body composition and athletic performance. *J Appl Physiol*; 82(5): 1508-1516.
96. Wolinsky, I., & Driskell, J. A. (2008). *Sports Nutrition; Energy Metabolism and Exercise*, New York. In Library of Congress Cataloging (Vol. 420).
97. Wong, A. K. Y., & Cheung, S. Y. (2006). Gross Motor Skills Performance of Hong Kong Chinese Children: *Asian Journal of Physical Education & Recreation*, 12(2), 23-29.
98. Wright, S. E. T. H., & Weyand, P. G. (2001). The application of ground force explains the energetic cost of running backward and forward. *Journal of Experimental Biology*, 204(10), 1805-1815.

Submitted: 25.12. 2021.

Accepted: 01.03. 2022.

Published Online First: 08.03. 2022.