

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

ФАКУЛТЕТ СПОРТА И ФИЗИЧКОГ ВАСПИТАЊА



РАЗЛИКА У ДУЖИНИ И БРОЈУ КОРАКА ИЗМЕЂУ  
МУШКАРАЦА И ЖЕНА ПРИ ТРЧАЊУ

МАСТЕР РАД

Кандидат:

Ђорђе Хаџи Павловић

Ментор:

др Иван Ђук, доц.

Београд, 2024.

# УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

## Факултет спорта и физичког васпитања



### РАЗЛИКА У ДУЖИНИ И БРОЈУ КОРАКА ИЗМЕЂУ МУШКАРАЦА И ЖЕНА ПРИ ТРЧАЊУ МАСТЕР РАД

Кандидат:

Ђорђе Хаџи Павловић 4013/2023

Мишљење о раду:

.....

Ментор:

др Иван Ћук, доц.

.....

Чланови комисије:

др Владимир Мрдаковић ван.проф.

.....

др Оливера Кнежевић, доц

.....

Београд, 2024.

## Сажетак

Успешност у току трчања зависи од многобројних фактора, а једни од најбитнијих јесу дужина и фреквенција корака. Први циљ овог истраживања је процена разлике у дужини и фреквенцији корака између мушкараца и жена у зависности од брзине трчања. Други циљ је испитивање повезаности морфолошких карактеристика мушкараца и жена са дужином и фреквенцијом корака. У овом истраживању су учествовале две групе од 37 рекреативних тркача од чега 22 мушкараца (старости 23.18 год., висине 182.50 cm, масе 82.77 kg, са процентом масти од 24.83%) и 15 жена (старости 23.33 год., висине 169.86 cm, масе 62.80 kg са процентом масти и 21.73%). Испитаници су трчали на тредмилу, а дужина и фреквенција корака су бележени помоћу два преносива *ProSense* акцелерометра постављена изнад глежња обе ноге. Протокол је подразумевао 10 минута трчања и то: 3 минута загревања на 8 km/h, по један минут трчања на 8, 10, 12 и 14 km/h (коришћено за даље анализе) и 3 минута трчања на 8 km/h. Главне варијабле које су се користиле су дужина и фреквенција корака. Резултати су показали да су жене имале већу фреквенцију корака од мушкараца при готово свим брзинама трчања ( $p < 0,05$ ), али у дужини корака није било разлике између мушкараца и жена. Такође, код мушкараца добијене су високе и статистички значајне негативне корелације висине и фреквенције корака ( $r > -0,59 < -0,66$ ), као и ниске до умерене позитивне корелације висине са дужином корака ( $r > 0,17 < 0,46$ ). Код жена су добијене ниске до умерене негативне корелације висине и фреквенције корака ( $r > -0,28 < -0,43$ ) и такође ниске до умерене позитивне корелације висине са дужином корака ( $r > 0,34 < 0,52$ ). Резултати истраживања као и модерна технологија коришћена у овом раду би значајно унапредила тренажни процес тркача рекреативаца.

Кључне речи: Акцелерометар, биомеханика, трчање, кинематика, *Smart4Fit*

## Abstract

Success during running depends on numerous factors, with step length and frequency being among the most important. The first goal of this research is to assess the difference in step length and frequency between men and women, depending on running speed. The second goal is to examine the relationship between the morphological characteristics of men and women with step length and frequency. Two groups of 37 recreational runners participated in this study, including 22 men (age 23.18 years, height 182.50 cm, weight 82.77 kg, with 24.83% body fat) and 15 women (age 23.33 years, height 169.86 cm, weight 62.80 kg, with 21.73% body fat). The participants ran on a treadmill, and step length and frequency were recorded using two portable ProSense accelerometers placed above the ankles of both legs. The protocol included 10 minutes of running: 3 minutes of warm-up at 8 km/h, one minute of running at 8, 10, 12, and 14 km/h (used for further analysis), and 3 minutes of running at 8 km/h. The main variables used were step length and frequency. The results showed that women had a higher step frequency than men at almost all running speeds ( $p < 0.05$ ), but there was no difference in step length between men and women. Additionally, in men, significant and statistically significant negative correlations between height and step frequency were found ( $r > -0.59 < -0.66$ ), as well as low to moderate positive correlations between height and step length ( $r > 0.17 < 0.46$ ). In women, low to moderate negative correlations between height and step frequency were found ( $r > -0.28 < -0.43$ ), along with low to moderate positive correlations between height and step length ( $r > 0.34 < 0.52$ ). The results of the research, along with the modern technology used in this study, could significantly improve the training process of recreational runners.

Keywords: Accelerometer, biomechanics, running, kinematics, Smart4Fit

# Садржај

1. УВОД .....	6
2. БИОМЕХАНИКА ТРЧАЊА, КИНЕМАТИКА И КИНЕТИКА .....	8
2.1. Кинематика.....	10
2.2. Кинетика .....	13
3. МОДЕРНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ У СВЕТУ РЕКРЕАТИВНОГ ТРЧАЊА.....	16
4. ПРЕДМЕТ, ЦИЉ И ЗАДАЦИ РАДА.....	18
4.1. Предмет рада .....	18
4.2. Циљ рада.....	18
4.3. Задаци рада .....	18
5. ХИПОТЕЗЕ.....	18
6. МЕТОДЕ .....	19
6.1 Узорак испитаника.....	19
6.2 Узорак варијабли.....	19
6.3. Подаци о коришћеним инструментима .....	19
6.4. Техника прикупљања података .....	23
6.5 Статистичка обрада података .....	24
7. РЕЗУЛТАТИ.....	25
8. ДИСКУСИЈА.....	30
9. ЗАКЉУЧАК .....	33
10. ЛИТЕРАТУРА.....	34

# 1. УВОД

Бављење физичком активношћу представља предуслов за здрав и квалитетан живот (Harridge и сар. 2017, Eckstrom и сар. 2020, An и сар 2020). Исти аутори наводе како редовно бављење физичком активношћу умањује последице старења, а и позитивно утиче на социјални живот појединца. Рекреативна физичка активност се јавља у различитим видовима али свакако да трчање представља најједноставнији и најјпопуларнији начин за унапређење квалитета живота.

Рекреативно трчање је током година доживело потпуни процват и постало препознато као најмасовнија физичка активност рекреативаца (Scheerder и сар., 2015, Оја и сар., 2015). Исти аутори наводе како се сам појам рекреативног трчања мења кроз године и како га је модерно друштво стидљиво избегавало. Увиђањем многобројних здравствених бенефита које овај вид физичке активност доноси (Wirnitzer и сар., 2022) оно постаје све прихваћеније, а данас је саставни део живота модерне заједнице. Доказано је да рекреативни тркачи у просеку живе дуже чак 3 године у односу на неактивне појединце, док је ризик од кардиоваскуларних обољења значајно мањи, чак 25-40% (Lee и сар., 2017).

Поред утицаја на физичко здравље битно је истаћи и огромне бенефите рекреативног трчања на психичко стање вежбача (Оја и сар., 2015; Марковић и сар., 2020; Oswald и сар. 2020). Ови аутори истичу смањени појаву депресије, анксиозности код тркача, док је ниво стреса изазван модерним начином живота значајно мањи. Такође наводе да се редовним рекреативним трчањем ствара позитивна слика о себи, а забележен је и већи степен самопоуздања у односу на некативне особе.

Наравно, свака физичка активност доноси одређени степен ризика од повреде, а ни трчање није изузетак. Аутори наводе повећан удео повреда колена и кука код испитаника који се баве професионалним трчање дуже од 15 година, док је код рекреативаца настанак повреда углавном повезиван са неадекватним оптерећењем и тренажним процесом (Alentorn-Geli и сар. 2017). Управо контролисање интензитета тренинга представља највећи проблем за рекреативне тркаче који се у ову активнос упуштају претежно самостално без консултација са тренером или искуснијим појединцем. Новајлије немају

искуства са праћењем и управљањем нивоа рада што често доводи до лакших повреда и одустајања. На срећу свих рекреативца, могућност праћења основних параметара које можемо повезати са интензитетом трчања постаје све лакша и приступачнија.

## 2. БИОМЕХАНИКА ТРЧАЊА, КИНЕМАТИКА И КИНЕТИКА

Трчање је један од основних начина кретања човека, заједно са ходањем, скакањем и пузањем. Оно представља најбржи облик кретања који човек може постићи без помоћи спољашњих средстава. Карактеристично за трчање је „фаза лета“, период када ниједно стопало није у контакту са подлогом, што га разликује од ходања, где увек једна нога мора бити на тлу.

Трчање се може поделити на различите типове у зависности од различитих фактора. Према техници, разликујемо: спринтерско трчање, трчање на средњим и дугим дистанцама. Према правцу кретања, оно може бити: праволинијско, криволинијско и кружно. С обзиром на смер кретања, постоји трчање унапред, уназад и бочно. Према интензитету, може се поделити на трчање максималним, субмаксималним, великим, умереним или ниским интензитетом. Коначно, у односу на подлогу, разликујемо трчање на путу, трчање у природи, а у овом раду ће се говорити о трчању на тредмилу.

У овом раду је анализирано трчање на тредмилу при брзинама од 8 км/х до 14 км/х што одговара техници трчања на дуге стазе. Ова техника трчања се може описати кроз четири фазе. Прва фаза је фаза задњег одупирања, где стопало снажно покреће тело напред ослањајући се на свој предњи део. Друга фаза, задњи замах, подразумева савијање колена како би нога дошла у оптималан положај за следећу фазу. У трећој фази, предњем замаху, цела нога се покретом унутар кука доводи испред тежишта тела, а затим се колена исправља. Четврта фаза је предње одупирање, где се амортизује сила из претходних фаза и тело се припрема за даљи покрет. Током кретања, руке се крећу напред-назад уз савијање и исправљање у рамену, с лактом савијеним под углом од око 90°. Поглед је усмерен напред, прати пут испред себе.

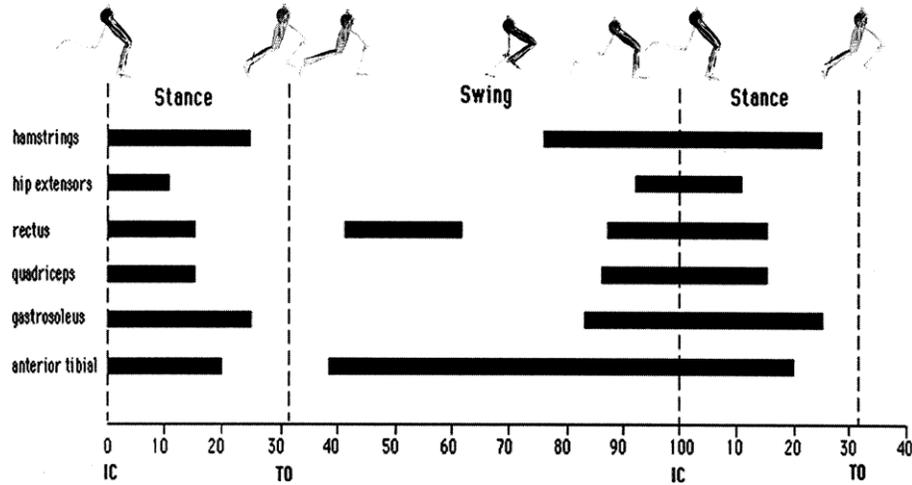
Да би се извело кретање доњих екстермитета потребан је рад одређених мишићних структура која се може очитати електромиографијом (*ЕМГ*), а која је описана у делу енг.

„The biomechanics of running“ (Novacheck, 1998, стр. 82-92). Најбитнији мишићи биће описани у наставку текста.

*M. quadriceps* у првој фази служи као опружач ноге и можемо га гледати као главне иницијаторе кретања јер се у њему прозиводи највећи удео укупне силе приликом одупирања о подлогу. У другој фази његова улога је претезжно у виду стабилизације зглоба колена и кука. У фази предњег замаха има помоћну улогу приликом флексије кука и довођење ноге у погодан положај за наставак кретања. На крају треће фазе долази до значајне преактивације овог мишића приликом опружања колена. То се дешава јер он служи као главни амортизатор силе реакције подлоге која делује на тело у току четврте фазе. Због велике силе у тој фази неопходна је претходна преактивација мишића, док укупно време активације траје око 0.6 с.

Мишићи задње ложе (*m. semitendinosus*, *m. semimembranosus* и *m. biceps femoris*), екстензора кука (*m. gluteus maximus*, *m. gluteus medius*, *m. gluteus minimus*, *m. adductor magnus* итд.) и мишићи листа (*m. gastrocnemius latelaris*, *m. gastrocnemius medialis* и *m. soleus*) имају слично време активације коа што се може видети на слици 1. У фази задњег одупира екстензори кука и мишићи листа су синергисти са мишићима предње ложе и потпомажу одупирање о подлогу, док мишићи задње ложе стабилизују зглобове колена и кука. У фази задњег замаха мишићи задње ложе и листа врше флексију колена. У току треће фазе мишићи задње ложе смањују моментум потколенице својом ексцентричном контракцијом што доводи целу структуру у повољан положај за амортизацију силе која следи у четвртој фази. У току ње екстензори кука и мишићи листа имају улогу синергиста и потпомажу амортизацији силе реакције подлоге, док мишићи задње ложе врше улогу стабилизатора.

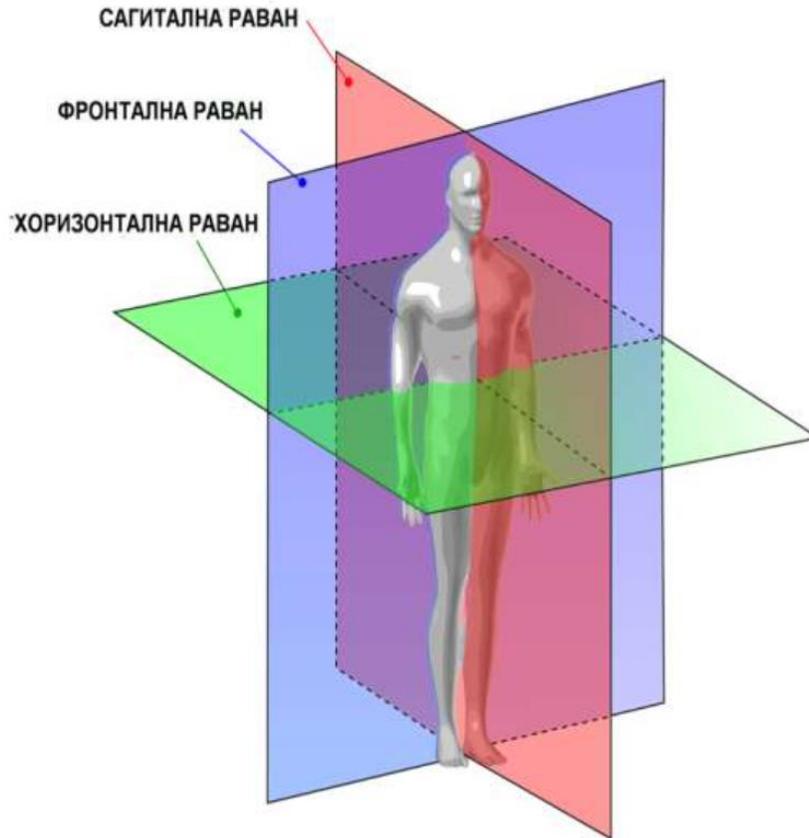
Последњи мишић чија ће функција бити издвојена је свакако *m. tibialis anterior*. Он у фази предњег замаха врши дорзифлексију стопала концентричном контракцијом што омогућава адекватно даље кретање док му је главна функција амортизација спољашње силе приликом контакта са подлогом у току фазе предњег одупирања. То чини кроз ексцентричну контракцију контролишући спуштање стопала у овој фази и спречавајући његово „пропадање“.



Слика 1: Приказ активације различитих мишићних група у току једног корака приликом трчања (преузето из енг „Gait and Posture 7”, Novacheck, 1998)

## 2.1. Кинематика

Кинематика је област механике која проучава кретање тела без разматрања узрока који доводе до тог кретања, као што су силе. Фокус је на опису кретања објеката, укључујући њихову брзину, убрзање и путању. Приликом трчања углавном се описује кретање тела и засебних сегмената у три равни, сагиталној, фронталној и трансверзалној које су приказане на слици 2.



Слика 2: Приказ сагиталне, фронталне и трансверзалне (хоризонталне) равни (преузето са <https://docplayer.gr/90518828-Anatomija-coveka-opsti-pojmovi-iceps-2018-godina-dr-vladimir-krstic.html>)

Слободно можемо рећи да је кретање приликом трчања најизражајније у сагиталној равни (Novacheck, 1998). Како се повећава брзина кретања тако долази и до прилагођавања локомоторног система на тренутне захтеве. Са повећањем брзине трчања кук и труп се нагињу напред како би се центар масе спустио, а капацитети хоризонталне силе приликом пропулзије максимално искористили. Управо позиција и убрзање центра масе условљава правац и амплитуду силе реакције подлоге која делује на стопало унутар затвореног кинетичког ланца. Екстензија кука која се дешава у овој равни најизрженија је у току прве фазе када се палац одваја од подлоге. Но за овај рад је врло битна флексија кука која се дешава у фази предњег замаха. Управо се степен флексије повећава са повећањем брзине трчања што доводи и до повећања дужине самог корака.

Током периода апсорпције силе у фази предњег одупирања, колена се савија на приближно  $45^\circ$ . Након тога следи екстензија колена до просечно  $25^\circ$  током фазе задњег одупирања. Са повећањем брзине трчања, период апсорпције је краћи и флексија колена

мања. Екстензија колена се дешава током фазе задњег одупирања, достижући врхунац на  $20^\circ$ , а и приликом фазе предњег замаха када доводи потколеницу у погодан положај за наставак кретања. Максимална флексија колена током замаха је око  $60^\circ$  у нормалном ходању. Ово је много мање од просека од  $90^\circ$  код трчања на дуге стазе или  $105^\circ$  код спринта. Врхунски атлетичари достижу и вредности од  $130^\circ$  приликом максималне брзине трчања.

Унутар скочног зглоба дешавају се битне промене приликом повећања брзине, приликом ходања или трчања на дуге или средње стазе контакт са поблогом се првобитно успоставља са петом док се код спринта тај контакт дешава на предњем делу стопала. Код ходања, зглоб прво плантарно флексира како би се предњи део стопала спустио на тло. Насупрот томе, током фазе амортизације код трчања и спринта, зглоб дорзифлексира док се телесна тежина преноси на ногу која је у фази предњег одупирања. Максимална дорзифлексија током фазе предњег одупирања у спринту је мања него код трчања на дуге и средње стазе због релативно плантарно флексираног положаја при првом контакту и краћег трајања фазе апсорпције спољашње силе. Током фазе задњег одупирања, максимална плантарна флексија зглоба је већа код спринта него код трчања на дуге стазе. Током фазе задњег замаха, дорзифлексија зглоба је мања при већим брзинама кретања. Дорзифлексија до неутралног положаја није предуслов за ослобађање максималне силе при спринту због повећане флексије кука и колена.

Укупно гледано, кретање у фронталној равни је суптилније од кретања у сагиталној равни. Међутим, оно је важно за минимизирање кретања горњег дела тела. У овој равни, кретање колена и скочног зглоба је умерено и ограничено лигаментима. Насупрот томе, значајно кретање се дешава у куку. Док је екстремитет оптерећен, карлица остаје релативно непомична. Врши се адукција кука у односу на карлицу. Ово је механизам за апсорпцију удара. Током остатка фазе предњег и задњег одупирања, карлица се спушта до почетка фазе лета, када је разлика у висини две карлице највећа. Када започиње фаза предњг замаха карлица се подиже како би омогућила адекватно позиционирање дисталних сегмената ноге. Генерално, у току трчања приликом оптерећивања кука у затвореном кинетичком ланцу врши се адукција, док се у отвореном кинетичком ланцу врши абдукција у односу на карлицу. Ово готово реципрочност кретање, у комбинацији са благим

кретањем лумбопелвичне регије, минимизује кретање рамена и главе. Ово је један од најважнијих механизма за раздвајање интензивног кретања доњих екстремитета од кретања трупа и главе. Резултат је релативно минимално кретање главе и трупа, што омогућава одржавање равнотеже и стабилности.

Модел кретања у трансверзалној равни су важни за енергетску ефикасност. Функција и кретање карлице у трансверзалној равни се значајно мења са повећањем брзине кретања. Ротација карлице је важан метод за продужење корака током трчања, максимална унутрашња ротација карлице се дешава у току фазе предњег замаха како би се продужио корак, након чега следи спољашња ротација како би нога била спремна за амортизацију сила у току фазе предњег ослонца. Ово максимизује хоризонталну силу потиска и избегава могући губитак брзине.

Карлица код трчања такође функционише као оса око које се рамена и ноге ротирају у супротним правцима. На пример, када је десна нога максимално напред, лево раме је ротирано напред, а карлица је у неутралном положају.

Кретање унутар скочног зглоба се у овој равни огледа кроз покрете супинације и пронације. Пронација се дешава током апсорпције док је екстремитет оптерећен. Стопало затим супинира током фазе генерисања, обезбеђујући стабилну полугу за одгуривање. Поред коштаних и лигаментних структура стопала, *m. tibialis posterior* помаже у контроли овог кретања. Ови покрети су мали али изузетно битни за стабилност и адекватну апсорпцију и генерисање сила.

## **2.2. Кинетика**

Кинетика је грана механике која одговара на питање зашто и како је дошло до неког кретања, односно како силе делују на брзину, убрзање, правац и смер кретања. Приликом трчања најзначајнији су кретни обрасци унутар сагиталне равни.

Током трчања, образац момента у скочном зглобу је сличан као и при ходању. Први контакт је петом. Предњи део стопала се спушта на земљу под контролом ексцентричне контракције предњих тибијалних мишића. Период апсорпције праћен је периодом

стварања силе која обезбеђује енергију за кретање. Величина силе у скочном зглобу директно је повезана са брзином спортисте. (Novacheck, 1998)

Кинетика колена је нешто сложенија у односу на кинетику скочног зглоба. Да би се припремили за првобитни контакт са подлогом, задња ложа постаје доминантна у фази предњег замаху, што доводи до умерене флексије колена. То омогућава контролисану екстензију колена која престаје у углу око 45°. Како се колено савија након почетног контакта, мишићи предње ложе се контрахују ексцентрично. Тада се примећује једна од њихових главних улога, а то је амортизација. При максималним брзинама трчања улогу главног амортизера преузимају мишићи унутар скочног зглоба попут *m. tibialis anterior*-а. Како у овом раду нису испитивани феномени при максималним брзинама сматраћемо да се унутар зглоба колена врши највише апсорпције силе реакције подлоге. Како се перлази из фазе предњег одупирања у фазу задњег одупирања мишићи предње ложе се контрахују концентрично чиме се врши сила на тачку ослоњања што доводи до наставка кретања. У току фазе задњег замаху мишићи предње ложе ограничавају флексију колена својом ексцентричном контракцијом чиме обезбеђују стабилност и прелазак у фазу предњег замаху. Ову улогу претежно врши *m. rectus femoris*.

Непосредно пре и након иницијалног контакта, екстензори кука су доминантни. Насупрот томе, флексори кука су доминантни у фази задњег одупирања и предњег замаху. Највећа активација флексора кука је свакако у току фазе предњег замаху када доводе натколеницу испред кукова. Након достизања крајње флексије, екстензори кука се контрахују концентрично како би продужили кук у припреми за иницијални контакт са подлогом. Највеће генерисање концентричне силе у екстензорима кука је у току фазе задњег одупирања када у синергији са екстензорима колена и скочног зглоба омогућавају даље кретање. Након тога, флексори кука постају доминантни и успоравају кретање натколенице уназад у припреми за фазу предњег замаху.

Изузетно је битно напоменути функцију везивних структура попут ахилове тетиве и тетиве *m. psoas*-а. Због свог еластичног својства оне потпомажу кретање тако што се у њима приликом њиховог издуживања акумулира еластична енергија која се потом даље експлоатише у тренутку скраћивања мишића. Ове и сличне структуре чине изузетно битне

факторе при трчању максималном брзином док је њихов ефекат значајно мањи при мањим вредностима брзине трчања које су испитиване у овом истраживању.

Иако су моменти силе у фронталној равни значајни, мишићи и лигаменти који их стварају углавном делују као стабилизатори. Покрет је минималан, тако да је генерисана и апсорбована снага знатно мања него у сагиталној равни.

Током фазе предњег и задњег одупирања, *m. gluteus medius* врши констатну абдукцију кука спречавајући његово „пропадање“. Услед иницијалног контакта са подлогом долази до абдукције кука услед силе реакције подлоге која у односу на њега делује медијално. *M. gluteus medius* се ексцентрично контрахује како би контролисао овај покрет. Током фазе задњег ослоња, исти мишић се концентрично контрахује, што доводи до абдукције кука и генерисања силе.

Генерално, у току трчања се констатно смењује мишићне функције и степен активације мишићних група. У току предњег одупирања мишићи задње ложе и екстензора кука „повлаче“ тело напред, након чега у фази задњег одупирања екстензори колена, скочног зглоба али и кука „гурају“ тело напред. Укупна генерисана сила расте са повећањем брзине трчања, али се удео мишићне активације мења у већој и мањој мери са променом технике трчања.

Управо ово смењивање активације синергиста и антагониста у различитим режимима рада се огледа кроз повратни режим рада мишића. Повратни режим рада мишића подразумева извршење брзе ексцентричне контракције и одмах, након ње, снажне концентричне. Период између краја ексцентричне и почетка концентричне контракције, карактерише постојање кратке и јаке изометријске контракције и назива се време спајања. (Недељковић, 2004). Ако се мишић скрати непосредно пошто се издужи долази до повећаног нивоа остварене снаге и силе при смањеном утрошку енергије (Zaciorski, Kremer, 2009).

Управо овај режим рада у садејству са еластичном карактеристиком тетива значајно утиче на различито савладавање задате брзине трчања. Дужина тетива варира код сваког појединца, њихова еластичност зависи и од хормона, док се сам степен мишићне активације разликује између полова (Brophy, 2010; Vannatta, 2021).

### **3. МОДЕРНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ У СВЕТУ РЕКРЕАТИВНОГ ТРЧАЊА**

У свери рекреативног трчања модерне технологије пружају изванредне могућности свим корисницима. Један од видова примене модерне технологије је коришћење преносивих уређаја који прате различите параметре физичке активности. Управо су такви уређаји коришћени у овом истраживању, а добијени параметри приказани и објашњени.

Тачност варијабли попут дужине корака, фреквенције и сл. је доказана у ранијим истраживањима (Germini и сар. 2022; Xiang и сар., 2022; Manson и сар., 2023; Aleksić и сар., 2023; Hadži Pavlović и сар., 2024) што рекреативцу пружа јасан ослонац за праћење свог постигнућа и тренутне физичке спремe. Међутим, још увек је оскудан број истраживања који су прикупљали вредности дужине и фреквенције корака користећи све популарније и лако доступне преносиве уређаје.

Сама успешност у току трчања зависи од многобројних фактора који утичу на различите варијабле. Једни од најбитнијих фактора при анализи ове активности су дужина и фреквенција корака. Дужина корака означава растојање које се пређе у период између два корака док фреквенција корака означава укупан број корака у једној минути. Анализом претходних истраживања увиђа се тенденција пораста ове две вредности са повећањем брзине трчања (Rajkumar, 2020). Међутим оно што су исти аутори издвојили као занимљивост је разлика у тенденцији пораста вредности између мушких и женских тркача. Друга истраживања указују на многобројне кинематичке, физиолошке, биомеханичке али и разлике у самој мотивацији између мушкараца и жена приликом трчања (Bruening и ср., 2020; Senefeld и ср., 2021; Maksimović и ср., 2022). Свакако да већина разлика почива на антропометријској различитости између мушкараца и жена која доводи до различитих стратегија савладавања већих брзина приликом трчања на траци.

Услед разлика у стратегијама савладавања брзине поставља се и питање да ли требају да постоје засебни приступци при тренингу мушких и женских рекреативних тркача. Општа је појава да рекреативци немају систематичан приступ тренингу већ да он представља одређени вид релаксације и растерећења услед стресног модерног живота. То отвара одлично подручје за све произвођаче преносивих уређаја који у садејству са паметним

телефонима могу да допринесу ефикаснијем тренажном процесу рекреативаца тако што би им давали тренутне информације о повећању или смањењу дужине и фреквенције корака без додатног когнитивног оптерећивања корисника. Свакако да разлике у вредностима ове две варијабле између мушкараца и жена почивају на другачијем кретању центра масе тела као и различитом кретању доњих екстремитета услед значајне разлике у просечној висини између полова.

## **4. ПРЕДМЕТ, ЦИЉ И ЗАДАЦИ РАДА**

### **4.1. Предмет рада**

Предмет овог рада је упоређивање пораста вредности фреквенције и дужине корака између полова и испитивање повезаности морфолошких карактеристика мушкараца и жена са овим варијаблама приликом трчања на тредмилу.

### **4.2. Циљ рада**

Први циљ овог истраживања је процена разлике у дужини и фреквенцији корака између мушкараца и жена у зависности од брзине трчања. Други циљ је испитивање утицаја брзине трчања на повезаност морфолошких карактеристика мушкараца и жена са дужином и фреквенцијом корака

### **4.3. Задаци рада**

- Прикупљање и преглед адекватне литературе
- Дефинисање циља и хипотеза
- Формирање дизајна истраживања
- Одабир испитаника
- Прикупљање података
- Статистичка анализа добијених података
- Приказ и дискусија добијених резултата

## **5. ХИПОТЕЗЕ**

Хипотеза 1 – Оба пола ће са повећањем брзине трчања мењати дужину и фреквенцију корака, тако да ће мушкарци повећавати дужину, а жене фреквенцију корака

Хипотеза 2 – Очекује се да ће висина тела бити позитивно повезана са дужином, а негативно са бројем корака, независно од пола испитаника.

## **6. МЕТОДЕ**

### **6.1 Узорак испитаника**

Рад је емпиријски (експериментално истраживање - трансверзални дизајн). Величина узорка одређена је уз помоћ *енг. „G\*power“* програма. За величину ефекта од 0,25, алфа ниво 0,05 и статистичку снагу од 0,95, укупна препоручена величина узорка је 36 испитаника. С тим у вези, у овом истраживању је учествовало 37 рекреативних тркача подељених у две групе по половима (22 мушкараца и 15 жена). Сви учесници су пре почетка истраживања обавештени о протоколу и сврси истраживања. Добровољно су пристали да учествују у истраживању и потписали су формулар о сагласности. Истраживање је спроведено у складу са Хелсиншком декларацијом.

### **6.2 Узорак варијабли**

Зависне варијабле које су испитиване у овом раду су дужина, број корака и антропометријске карактеристике испитаника. Пол испитаника и брзина трчања представљају независне варијабле.

### **6.3. Подаци о коришћеним инструментима**

Као што је наведено, у истраживању су анализиране две главне варијабле:

1. Просечна дужина засебног корака (дужина корака);
2. Број корака у минути за сваку брзину трчања (фреквенција корака).



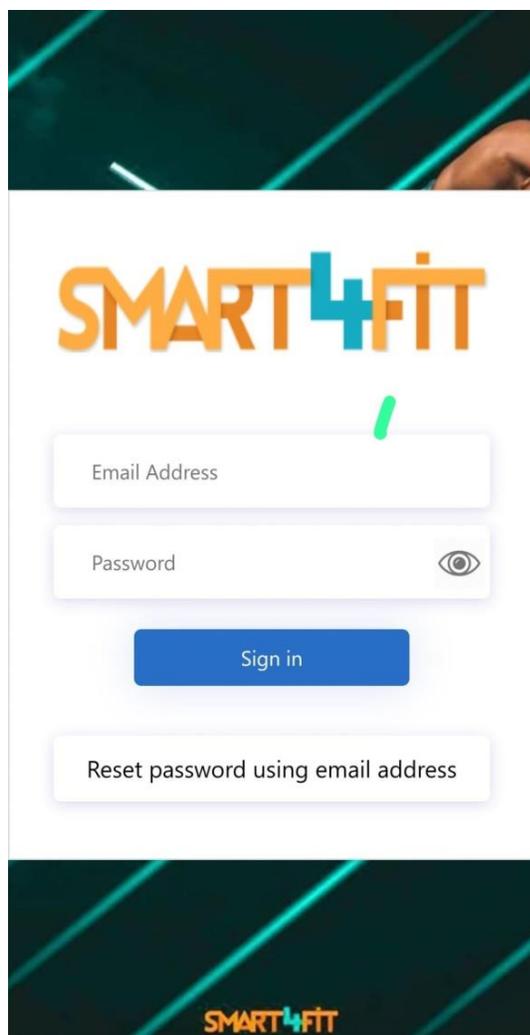
Слика 3 Приказ “ProSense” сензора  
(преузето са „<https://prosense.one>“)

За њихово прикупљање коришћени су енг. “ProSense” сензори који су приказани на слици 3.

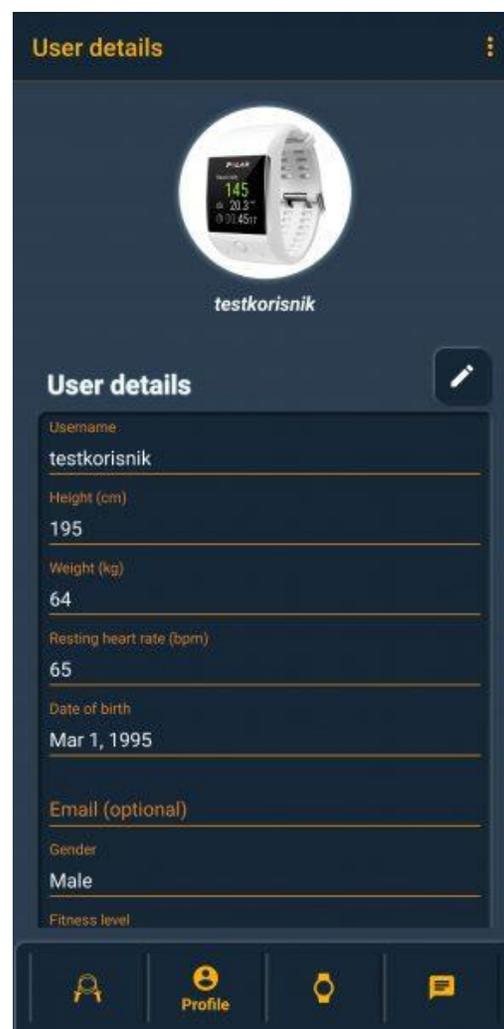
Сензори су преко *Bluetooth*-а повезани са *Smart4Fit* андроид апликацијом за паметне телефоне. На екрану телефона се приказују физиолошки параметри попут пулса и калоријске потрошње. Како би апликација адекватно радила неопходно је унети тачну телесну масу и висину испитаника (слика 4). Сензор је опремљен акцелерометром, жироскопом и магнетометром, који дају податке о убрзању, угаоној брзини и брзини магнетног поља

(Земље) при брзини узорковања од 50 Hz. Они такође пружају податке о кинематичким параметрима као што су брзина, сила, енергија и снага, а што је важно за ово истраживање, пружају и податке о нестабилностима (чак и малим) и варијацијама између појединих сегмената тела учесника. Након завршетка трчања, са апликације се извозе сирови подаци о биомеханичким параметрима трчања, у овом случају дужина и фреквенција корака. На сликама 4,5,6 и 7 приказани су кораци за коришћење *Smart4Fit* андроид апликације.

Осим тога, анализиране су и антропометријске варијабле висина и маса тела, као и проценат масти. За прикупљање података о телесној композицији испитаника коришћена је енг. “*Total InBody 720*” боди импеданца (маса тела и проценат масти) и антропометар по Мартину (висина тела).



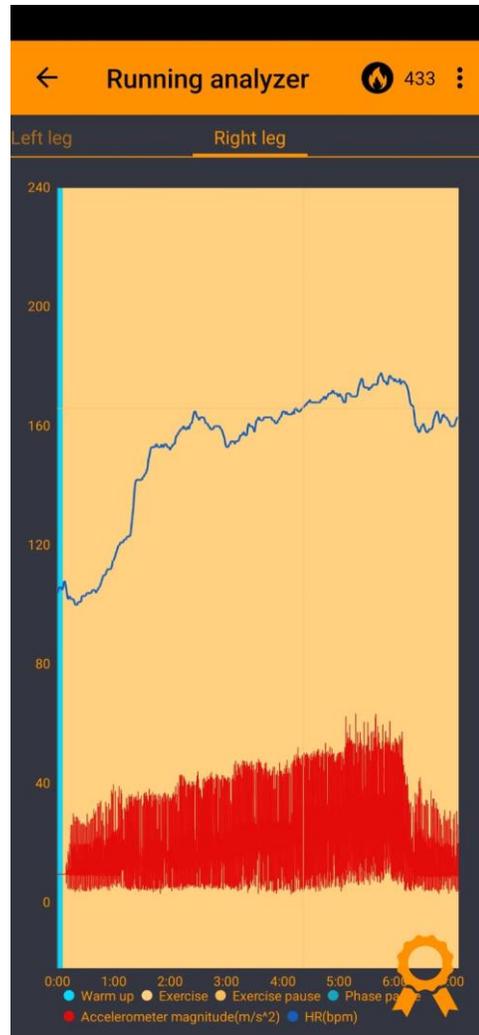
Слика 4: Страница за пријаву на апликацију Smart4Fit



Слика 5: Унос података испитаника (име, маса, висина тела, фреквенција срца у миру, датум рођења, пол)



Слика 4: Уношење датума и времена физичке активности



Слика 5: Приказ сирових података након трчања на тредмилу

Сирови подаци који су добијени у току тестирања су засновани на акцелерацији самих сензора. Даљом математичком обрадом добијају се подаци који су искоришћени у овом раду али и други чије вредности нисмо узимали у разматрање попут, силе реакције подлоге, потрошње калорија итд.

#### 6.4. Техника прикупљања података

На почетку тестирања учесницима је тражено да буду боси и у спортској опреми како би апаратура прикупила тачне податке о њиховој телесној композицији. Први корак је мерење висине тела тако што испитаници стоје исправљени док им се мери висина тела помоћу антропометра по Мартину. Редни број испитаника, телесна висина и године старости су унети у програм. У складу са протоколом који предлаже произвођач апаратуре испитаници су мирно стајали на апаратури и пратили инструкције које су им задане. Било је неопходно да инструкције буду правремене и тачне како би се обезбедио контакт тела са осам електрода, по две за сваку руку и ногу. Када се обезбеди правилан положај испитаници стоје мирно, гледају право и чекају даље инструкције (Gibson и сар., 2008).

Главни део протокола подразумева трчање на тредмилу и рађен је по узору на претходно истраживање која су користила исту опрему у сличним условима (Hadži Pavlović и сар., 2024). Он је сачињен од десетоминутне активности која се састоји од троминутног загревања (при брзини од 8 km/h), након чега следи трчање у трајању од 4 минута. Трчање креће при брзини од 8 km/h и сваког минута се повећава за 2 km/h, прво на 10 km/h, потом на 12 km/h и завршава се са 14 km/h. Након тога следи растерећење у виду троминутног трчања при брзини од 8 km/h. По један сензор је прикачен на свакој ноzi као што је приказано на Слика 7..



Слика 6: Приказ “ProSense” сензора у току трчања на тредмилу

## 6.5 Статистичка обрада података

Пре свих статистичких тестова, дескриптивна статистика је израчуната као средња вредност и стандардна девијација. Колмогоров-Смирнов (КС) тест и визуелна инспекција хистограма и QQ плотова потврдили су нормалност дистрибуције података. Такође, Т-тест за независне узорке је примењен како би се испитале разлике између мушкараца и жена у броју година и антропометријским варијаблама.

За потврду прве хипотезе, двофакторске анализа варијансе (ANOVA) су спроведене за варијабле дужина корака и фреквенција корака како би се испитале разлике између брзине трчања (8, 10, 12 и 14 km/h), пола (мушкарци и жене) и њихове интеракције (брзина трчања  $\times$  пол). Бонферрони пост хок тест је спроведен како би се испитале додатне разлике унутар група. Величина ефекта је приказана путем парцијалног ета квадрата ( $\eta^2$ ), где су вредности од 0,01, 0,06 и изнад 0,14 сматране малим, средњим и великим (Cohen, 1988). Алфа ниво је постављен на  $p < 0,05$ .

За потврду друге хипотезе, Пирсоно коефицијент корелација је коришћена за испитивање повезности између антропометријских варијабли (висина, маса и проценат масти) и дужине односно фреквенције корака у зависности од брзине трчања. Корелациони коефицијент је интерпретиран према Sugiyono, 2013 и то: испод 0,20 веома ниска корелација; од 0.20 до 0.399 ниска; од 0.40 до 0.599 умерена; од 0.60 до 0.799 висока и од 0,80 до 1 веома висока.

Сви статистички тестови су спроведени коришћењем Microsoft Office Excel 2007 (Microsoft Corporation, Redmond, WA, SAD) и SPSS 26 (IBM, Armonk, NY, SAD).

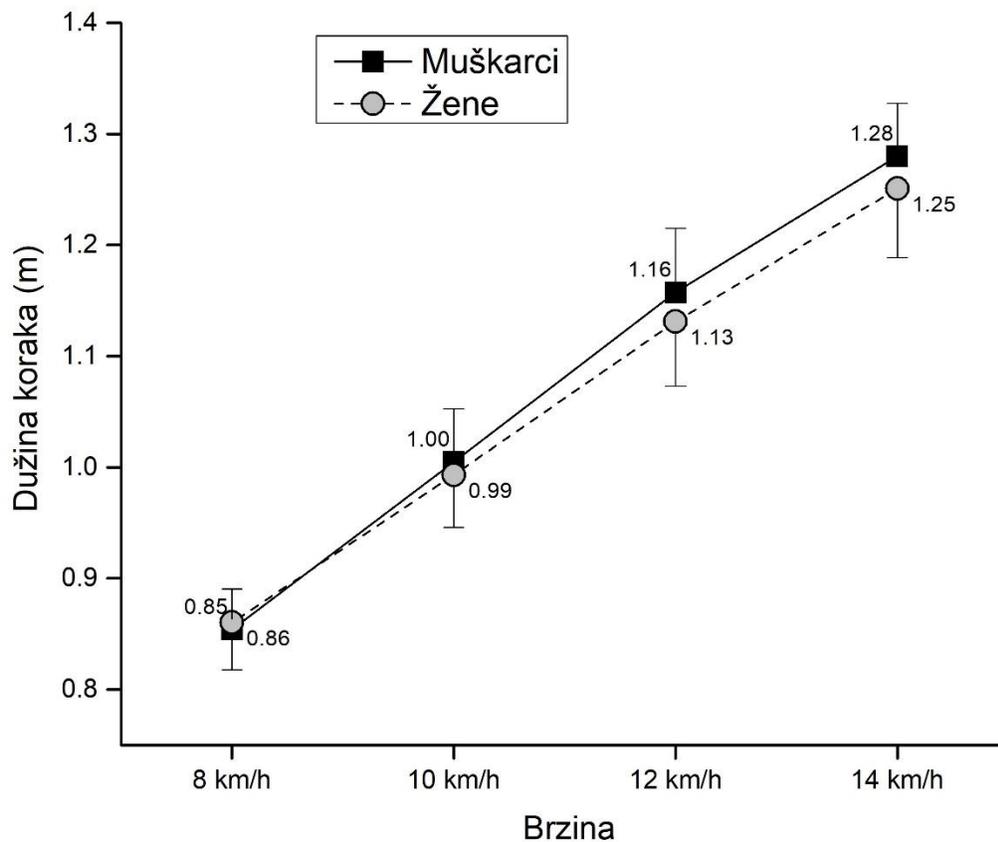
## 7. РЕЗУЛТАТИ

У табели 1, приказани су број година и дескриптивни показатељи антропометријских карактеристика мушкараца и жена. Такође, Т-тестом за независне узорке испитане су разлике између приказаних варијабли.

Табела 1: Број година, дескриптивни показатељи антропометријских карактеристика мушкараца и жена и разлике између полова у овим варијаблама

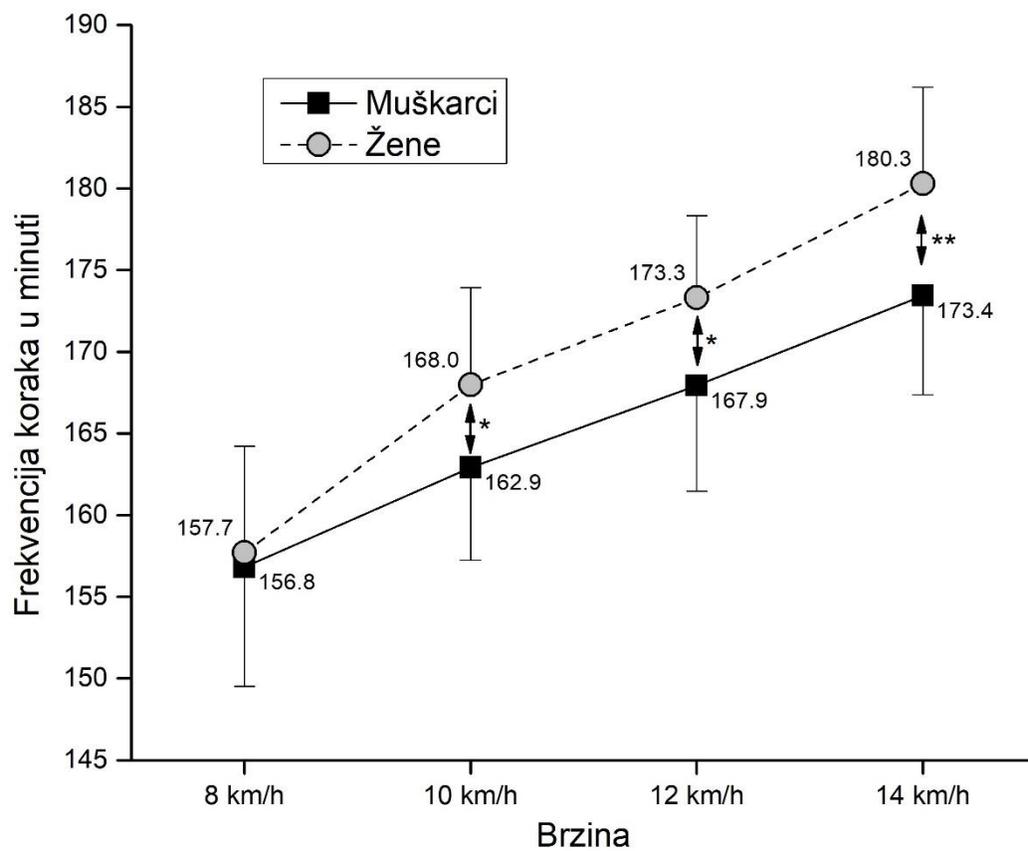
Варијабла	Пол	N	Средња вредност	Стандардна девијација	Т-вредност	Статистичка значајност( <i>p</i> )
Године	Мушкарци	22	23.18	2.28	-0.156	0.877
	Жене	15	23.33	3.62		
Висина (cm)	Мушкарци	22	182.50	5.03	7.614**	<0.001
	Жене	15	169.86	4.86		
Маса (kg)	Мушкарци	22	82.77	11.16	6.150**	<0.001
	Жене	15	62.80	6.94		
% Мласти	Мушкарци	22	24.83	3.04	3.580**	0.001
	Жене	15	21.73	1.70		

Двофакторска ANOVA примењена на варијаблу дужина корака показала је значајан главни ефекат за брзину трчања [ $F_{(3,35)} = 1116,1$ ;  $\eta^2 = 0,97$ ;  $p < 0,001$ ], али не и за ефекат пола [ $F_{(3,35)} = 5,68$ ;  $\eta^2 = 0,14$ ;  $p = 0,023$ ] и интеракцију брзина трчања x пол [ $F_{(3,35)} = 2,32$ ;  $\eta^2 = 0,06$ ;  $p = 0,091$ ]. Пост хок анализа (Графикон 1) је показала да се дужина корака значајно повећавала и код мушкараца и жена са порастом брзине трчања ( $p < 0,001$ ). Између мушкараца и жена није било разлика у дужини корака ( $p > 0,05$ ).



Графикон 1: Разлике у дужини корака у минути за мушкарце и жене при трчању различитим брзинама

Двофакторска АНОВА примењена на варијаблу фреквенција корака показала је значајне главне ефекте за брзину трчања [ $F_{(3,35)} = 297,2$ ;  $\eta^2 = 0,89$ ;  $p < 0,001$ ], пол [ $F_{(3,35)} = 1,18$ ;  $\eta^2 = 0,03$ ;  $p = 0,284$ ] и интеракцију брзина трчања x пол [ $F_{(3,35)} = 7,06$ ;  $\eta^2 = 0,17$ ;  $p = 0,001$ ]. Пост хок анализа (Графикон 2) је показала да се дужина корака значајно повећавала и код мушкараца и жена са порастом брзине трчања ( $p < 0,001$ ). Осим тога, жене су имале већу фреквенцију корака при брзини трчања од 10 km/h ( $p = 0,014$ ), 12 km/h ( $p = 0,010$ ) и 14 km/h ( $p = 0,002$ ).



Графикон 2: Разлике у фреквенцији корака у минути за мушкарце и жене при трчању различитим брзинама;  
 \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$

У табели 2 и 3 приказане су корелације између антропометријских варијабли (висина, маса и проценат масти) и дужине односно фреквенције корака при 4 брзине трчања одвојено за мушкараце (табела 2) и жене (табела 3).

Табела 2 Корелације између антропометријских варијабли и дужине и фреквенције корака при 4 брзине трчања код мушкараца

Варијабла	Висина (cm)		Маса (kg)		% масти	
	Корелациони коефицијент (r)	Статистичка значајност (p)	Корелациони коефицијент (r)	Статистичка значајност (p)	Корелациони коефицијент (r)	Статистичка значајност (p)
Фреквенција корака (8 km/h)	-0.625**	<b>0.002</b>	-0.218	0.329	0.044	0.845
Фреквенција корака (10 km/h)	-0.590**	<b>0.004</b>	-0.164	0.465	0.075	0.740
Фреквенција корака (12 km/h)	-0.659**	<b>0.001</b>	-0.255	0.252	0.021	0.926
Фреквенција корака (14 km/h)	-0.602**	<b>0.003</b>	-0.208	0.352	0.047	0.837
Дужина корака (8 km/h)	0.458**	<b>0.032</b>	0.048	0.831	-0.143	0.526
Дужина корака (10 km/h)	0.175	0.437	0.116	0.607	0.051	0.822
Дужина корака (12 km/h)	0.376	0.084	0.171	0.448	0.000	1.000
Дужина корака (14 km/h)	0.446**	<b>0.037</b>	0.200	0.373	0.002	0.991

\*\* и подебљан текст: статистички значајна разлика на новиоу  $p < 0.01$

Табела 3: Корелације између антропометријских варијабли и дужине и фреквенције корака пир 4 брзине трчања код жена

Варијабла	Висина (cm)		Маса (kg)		% масти	
	Корелациони коефицијент (r)	Статистичка значајност (p)	Корелациони коефицијент (r)	Статистичка значајност (p)	Корелациони коефицијент (r)	Статистичка значајност (p)
Фреквенција корака (8 km/h)	-0.335	0.223	-0.367	0.178	-0.279	0.314
Фреквенција корака (10 km/h)	-0.279	0.314	-0.386	0.155	-0.337	0.219
Фреквенција корака (12 km/h)	-0.434	0.106	-0.377	0.166	-0.210	0.453
Фреквенција корака (14 km/h)	-0.305	0.268	-0.155	0.580	0.000	0.999
Дужина корака (8 km/h)	0.460	0.084	0.108	0.703	-0.186	0.508
Дужина корака (10 km/h)	0.343	0.211	0.182	0.516	0.007	0.979
Дужина корака (12 km/h)	0.525*	<b>0.044</b>	0.231	0.408	-0.067	0.813
Дужина корака (14 km/h)	0.471	0.076	0.280	0.313	0.033	0.906

\* и подебљан текст: статистички значајна разлика на новиоу  $p < 0.05$

## 8. ДИСКУСИЈА

Ово истраживање имало је примарни циљ да процени разлике у дужини и фреквенцији корака између мушкараца и жена при различитим брзинама трчања. Други циљ био је испитивање повезаности морфолошких карактеристика мушкараца и жена са дужином и фреквенцијом корака при различитим брзинама трчања. С тим у вези, постављене су две хипотезе. Прва хипотеза да ће мушкарци при повећавању брзине трчања повећавати дужину корака, а жене фреквенцију делимично је потврђена. Наиме, жене су имале већу фреквенцију корака од мушкараца при готово свим брзинама трчања, али у дужини корака није било разлике између мушкараца и жена. Друга хипотеза да ће висина високо позитивно корелирати са дужином корака, а негативно и високо са фреквенцијом корака и код мушкараца и код жена такође је делимично потврђена. Код мушкараца добијене су високе и статистички значајне негативне корелације висине и фреквенције корака, као и ниске до умерене позитивне корелације висине са дужином корака. Са друге стране, код жена су добијене ниске до умерене негативне корелације висине и фреквенције корака и такође ниске до умерене позитивне корелације висине са дужином корака.

Очекивано, и фреквенција и дужина корака се повећавају како се повећава брзина трчања као и у ранијим истраживањима (Hunter и сар., 2003; Barnes и сар., 2013; Rajkumar, 2020), док маса и проценат масти веома ниско корелирају са дужином и фреквенцијом корака код мушкараца, а ниско и негативно код жена што се делимично подудара са тврдњама из претходних радова (Šentija и сар., 2011; Taylor-Наас и сар., 2022).

На основу овога поставља се питање на основу којег параметра мушкарци прате раст брзине трчања. Претпоставка је да мушкарци драстично повећавају силу којом делују на подлогу (сила реакције подлоге) како би испратили увећање задате брзине на тредмилу. Како је већ доказано у многобројним истраживањима (Schubert и сар., 2014; Yong и сар., 2018; Farina и сар., 2021) већи број корака у једном минути драстично смањује силу реакције подлоге која се јавља при трчању што значајно умањује ризик од настанка акутних повреда доњих екстремитета. Истиче се да на разлику ових вредности између

полова не утичу само наведени параметри већ и други попут разлике у механици зглобова и целокупног локомоторног система која је доказана у ранијим радовима (Bruening и сар., 2020; Ortega и сар., 2021).

Поједини аутори управо истичу значајну разлику између полова у кинетици при брзинама од 11,9 km/h (Besson и сар., 2022), што се подудара са скоком у разлици вредности фреквенције трчања при порасту брзине са 8 km/h на 10km/h, а потом и при већим брзинама унутар овог истраживања.

На основу повезаности ових антропометријских мера и испитаних варијабли можемо закључити да висина много више утиче на број корака код мушкараца него што је то случај код жена. То додатно иде у прилог претпоставци да мушкарци прате увећање брзине трчања тако што увећавају силу којом делују на подлогу при сваком засебном кораку. Такође примећујемо да је код жена са увећањем масе тела примећен благ пад у броју корака што се подудара са резултатима претходног истраживања (Luedke и сар., 2021).

Сами узроци ових разлика су многобројни и аутори их тумаче на више начина. Као што смо раније истакли, постоје одређене биомеханичке законитости приликом трчања. Објаснили смо кинематику и кинетику трчања што нам може помоћи у тумачењу добијених резултата.

Како је трчање активност која подразумева циклус издужења-скраћења мишића они са бољом способношћу акумулације еластичне енергије, предодређени су за бољи резултат приликом трчања. Аутори наводе да је крутост ахилове тетиве један од фактора који помаже ефикасније трчање (Sano и сар., 2015; Joseph и сар., 2017; Besson и сар., 2022). Они наводе да испитаници који имају круће тетиве могу ефикасније да акумулирају силу унутар њих и на тај начин генеришу исте вредности силе са мањом мишићном активацијом за разлику од појединаца који имају еластичније тетиве, подложније еластичној деформацији. Недостатак унутар ових истраживања је тај да нису поређени полови већ само испитаници са другачијим механичким карактеристикама.

Оно што потврђује тврдњу претходних аутора је разлика у вредности хормона између мушкараца и жена. Повећана количина естрогена код жена негативно утиче на крутост

тетива и лигамената што негативно утиче на акомулацију силе у тим структурама (Chidi-Ogbolu и сар. 2019). То такође може представљати један од фактора због којих жене морају да повећају фреквенцију корака како би надокнадиле мање вредности генерисане силе.

Ограничење овог истраживања може бити коришћење нове опреме (сензори и апликација), која захтева додатно тестирање и верификацију како би се усавршила и проширила њена свеобухватна примена. Поред тога, тиме што смо увидели да се додатно повећавају и брзина и фреквенција корака, може се тврдити да је систем довољно осетљив да уочи ове очекиване промене. Осим тога, једно од ограничења ове студије је и недостатак испитивања још неких варијабли које би допринеле бољем разумевању механика трчања код мушкараца и жена.

## 9. ЗАКЉУЧАК

Добијени резултати говоре о значајном утицају висине тела на фреквенцију корака код мушкараца док су те вредности код жена нешто мање. Такође примећује се умерен до низак утицај висине тела на дужину корака код оба пола што представља занимљивост у односу на друге радове који говоре о њиховој високој повезаности. Фреквенција корака и дужина корака јесу расле код обе групе испитаника, али је скок фреквенције корака код жена драстично већи него код мушкараца. Већа фреквенција корака смањује ризик од настанка повреде јер нема потребе за драстичним увећањем силе реакције подлоге. Ово представља одличан простор за даља истраживања која могу испитивати и повезаност силе реакције подлоге са фреквенцијом и дужином корака. Модерна технологија коришћена у овом раду би значајно унапредила тренажни процес свих њених корисника додатном анализом споменутих варијабли.

## 10. ЛИТЕРАТУРА

1. Aleksić, J., Gkatzaveli, S., Tasić, L., Obrenović, M., Stojanović, N., and Ćuk, I. (2023), “The concurrent validity of motion x-ray technology utilising polar verity sense to measure velocity, force and power – pilot study,” *Teme - Časopis za Društvene Nauke*, vol. 47, no. 3, pp. 717–733
2. Alentorn-Geli, E., Samuelsson, K., Musahl, V., Green, C. L., Bhandari, M., & Karlsson, J. (2017). The Association of Recreational and Competitive Running With Hip and Knee Osteoarthritis: A Systematic Review and Meta-analysis. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 47(6), 373–390. <https://doi.org/10.2519/jospt.2017.7137>
1. An, H. Y., Chen, W., Wang, C. W., Yang, H. F., Huang, W. T., & Fan, S. Y. (2020). The Relationships between Physical Activity and Life Satisfaction and Happiness among Young, Middle-Aged, and Older Adults. *International journal of environmental research and public health*, 17(13), 4817. <https://doi.org/10.3390/ijerph17134817>
2. Barnes, K. R., Mcguigan, M. R., & Kilding, A. E. (2014). Lower-Body Determinants of Running Economy in Male and Female Distance Runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(5), 1289–1297
3. Besson, T., Macchi, R., Rossi, J., Morio, C. Y., Kunimasa, Y., Nicol, C., ... & Millet, G. Y. (2022). Sex differences in endurance running. *Sports medicine*, 52(6), 1235-1257.
4. Brophy, R. H., Backus, S., Kraszewski, A. P., Steele, B. C., Ma, Y., Osei, D., & Williams, R. J. (2010). Differences between sexes in lower extremity alignment and muscle activation during soccer kick. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 92(11), 2050–2058. <https://doi.org/10.2106/JBJS.I.01547>
5. Bruening, D. A., Baird, A. R., Weaver, K. J., & Rasmussen, A. T. (2020). Whole body kinematic sex differences persist across non-dimensional gait speeds. *PLOS ONE*, 15(8).
6. Chidi-Ogbolu, N., & Baar, K. (2019). Effect of estrogen on musculoskeletal performance and injury risk. *Frontiers in physiology*, 9, 1834.
7. Eckstrom, E., Neukam, S., Kalin, L., & Wright, J. (2020). Physical Activity and Healthy Aging. *Clinics in geriatric medicine*, 36(4), 671–683. <https://doi.org/10.1016/j.cger.2020.06.009>

8. Farina, K. A., & Hahn, M. E. (2021). Increasing Step Rate Affects Rearfoot Kinematics and Ground Reaction Forces during Running. *Biology*, 11(1), 8.
9. Germini, F., Noronha, N., Borg Debono, V., Abraham Philip, B., Pete, D., Navarro, T., Keepanasseril, A., Parpia, S., de Wit, K., & Iorio, A. (2022). Accuracy and Acceptability of Wrist-Wearable Activity-Tracking Devices: Systematic Review of the Literature. *Journal of medical Internet research*, 24(1), e30791. <https://doi.org/10.2196/30791>
10. Gibson, A. L., Holmes, J. C., Desautels, R. L., Edmonds, L. B., & Nuudi, L. (2008). Ability of new octapolar bioimpedance spectroscopy analyzers to predict 4-component–model percentage body fat in Hispanic, black, and white adults. *The American journal of clinical nutrition*, 87(2), 332–338.
11. Hadži Pavlović, Đ., Nikolić K. (2024) “APPLICATION OF PRESENCE SENSORS WITH MOTIONXRAYS TECHNOLOGY DURING RECREATIONAL RUNNING” Paper presented at Sinteza 2024 - International Scientific Conference on Information Technology, Computer Science, and Data Science. doi:10.15308/Sinteza-2024-342-346
12. Harridge, S. D., & Lazarus, N. R. (2017). Physical Activity, Aging, and Physiological Function. *Physiology* (Bethesda, Md.), 32(2), 152–161. <https://doi.org/10.1152/physiol.00029.2016>
13. Hunter, J. P., Marshall, R. N., & McNair, P. J. (2004). Interaction of Step Length and Step Rate during Sprint Running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(2), 261–271
14. Joseph, M. F., Histén, K., Arntsen, J., L'Hereux, L., Defeo, C., Lockwood, D., Scheer, T., & Denegar, C. R. (2017). Achilles Tendon Adaptation During Transition to a Minimalist Running Style. *Journal of sport rehabilitation*, 26(2), 165–170. <https://doi.org/10.1123/jsr.2016-0007>
15. Lee, D. C., Brellenthin, A. G., Thompson, P. D., Sui, X., Lee, I. M., & Lavie, C. J. (2017). Running as a Key Lifestyle Medicine for Longevity. *Progress in cardiovascular diseases*, 60(1), 45–55. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2017.03.005>
16. Luedke, L. E., & Rauh, M. J. (2021). Factors Associated With Self-Selected Step Rates Between Collegiate and High School Cross Country Runners. *Frontiers in sports and active living*, 2, 628348. <https://doi.org/10.3389/fspor.2020.628348>

17. Maksimović, D., Sveučilište, R., Zagrebu, K., Fakultet, & Olympic, C. (2022). Motivacija za vježbanje rekreativaca, polaznika škola trčanja -spolne razlike exercise motivation of recreatives, attendants of running schools -gender differences journal of the croatian olympic committee founded as basketball medical periodical. *Hrvat. Športskomed. Vjesn*, 37, 1–46.
18. Markotić, V., Pokrajčić, V., Babić, M., Radančević, D., Grle, M., Miljko, M., Kosović, V., Jurić, I., & Karlović Vidaković, M. (2020). The Positive Effects of Running on Mental Health. *Psychiatria Danubina*, 32(2), 233–235.
19. Mason, R., Pearson, L. T., Barry, G., Young, F., Lennon, O., Godfrey, A., & Stuart, S. (2023). Wearables for Running Gait Analysis: A Systematic Review. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 53(1), 241–268. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01760-6>
20. Novacheck, T. F. (1998). The biomechanics of running. *Gait & Posture*, 7(1), 77–95. [https://doi.org/10.1016/s0966-6362\(97\)00038-6](https://doi.org/10.1016/s0966-6362(97)00038-6)
21. Oja, P., Titze, S., Kokko, S., Kujala, U. M., Heinonen, A., Kelly, P., Koski, P., & Foster, C. (2015). Health benefits of different sport disciplines for adults: systematic review of observational and intervention studies with meta-analysis. *British journal of sports medicine*, 49(7), 434–440. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-093885>
22. Ortega D.R., Berral, A. J., & José, F. (2021). Bilateral asymmetries and sex differences in the kinematics of running gait cycle of a group of Andalusian recreational runners. *Retos: Nuevas Tendencias En Educación Física, Deporte Y Recreación*, 41(41), 512–518.
23. Oswald, F., Campbell, J., Williamson, C., Richards, J., & Kelly, P. (2020). A Scoping Review of the Relationship between Running and Mental Health. *International journal of environmental research and public health*, 17(21), 8059. <https://doi.org/10.3390/ijerph17218059>
24. Rajkumar, R. V. (2020). Indirect estimation of the step length of walking and running performances on the treadmill. *Int J Physiother Res*, 8(2), 3407-3414.
25. Sano, K., Nicol, C., Akiyama, M., Kunimasa, Y., Oda, T., Ito, A., Locatelli, E., Komi, P. V., & Ishikawa, M. (2015). Can measures of muscle-tendon interaction improve our understanding of the superiority of Kenyan endurance runners?. *European journal of applied physiology*, 115(4), 849–859. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-3067-7>

26. Scheerder, J., Breedveld, K., & Borgers, J. (2015). Who Is Doing a Run with the Running Boom? *Running across Europe*, 1–27. [https://doi.org/10.1057/9781137446374\\_1](https://doi.org/10.1057/9781137446374_1)
27. Schubert, A. G., Kempf, J., & Heiderscheidt, B. C. (2014). Influence of stride frequency and length on running mechanics: a systematic review. *Sports health*, 6(3), 210–217.
28. Senefeld, J. W., Shepherd, J. R. A., Baker, S. E., & Joyner, M. J. (2021). Sex- based limits to running speed in the human, horse and dog: The role of sexual dimorphisms. *The FASEB Journal*, 35(5).
29. Šentija, D., Rakovac, M., & Babić, V. (2012). Anthropometric characteristics and gait transition speed in human locomotion. *Human Movement Science*, 31(3), 672–682.
30. Sugiyono. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta (2013).
31. Taylor-Haas, J. A., Garcia, M. C., Rauh, M. J., Peel, S., Paterno, M. V., Bazett-Jones, D. M., Ford, K. R., & Long, J. T. (2022). Cadence in youth long-distance runners is predicted by leg length and running speed. *Gait & Posture*, 98(98), 266–270
32. Vannatta, C. N., & Kernozek, T. W. (2021). Sex differences in gluteal muscle forces during running. *Sports biomechanics*, 20(3), 319–329.  
<https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1548641>
33. Vladimir M. Zaciorski, Vilijem J. Kremer (2009). *Наука и пракса у тренингу снаге*, Champaign, IL: Human Kinetics
34. Wirnitzer, K., Boldt, P., Wirnitzer, G., Leitzmann, C., Tanous, D., Motevalli, M., Rosemann, T., & Knechtle, B. (2022). Health status of recreational runners over 10-km up to ultra-marathon distance based on data of the NURMI Study Step 2. *Scientific Reports*, 12(1).
35. Xiang, L., Wang, A., Gu, Y., Zhao, L., Shim, V., & Fernandez, J. (2022). Recent Machine Learning Progress in Lower Limb Running Biomechanics With Wearable Technology: A Systematic Review. *Frontiers in neurorobotics*, 16, 913052.
36. Yong, J. R., Silder, A., Montgomery, K. L., Fredericson, M., & Delp, S. L. (2018). Acute changes in foot strike pattern and cadence affect running parameters associated with tibial stress fractures. *Journal of biomechanics*, 76, 1–7.  
<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.05.017>
37. Недељковић, А. (2003). Скок у дубину као средство плиометријског метода тренинга за побољшање скочности. *Физичка Култура*, 57(58), 57-68.