

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ŠPORT

DIPLOMSKA NALOGA

GREGOR ŠKERL

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI

FAKULTETA ZA ŠPORT

Športno treniranje

Kondicijsko treniranje



**SPREMEMBE NEKATERIH BIODINAMIČNIH
PARAMETROV SPRINTERSKEGA TEKA NA 100 m ZARADI
UTRUJENOSTI**

DIPLOMSKA NALOGA

MENTOR

prof. dr. Milan Čoh, prof. šp. vzg.

RECEZENT

prof. dr. Branko Škof, prof. šp. vzg.

KONZULTANT

Robert Kreft, prof. šp. vzg.

Avtor naloge

GREGOR ŠKERL

Ljubljana, 2016

ZAHVALA

V obdobju študija na Fakulteti za šport sem spoznal veliko ljudi, ki so skozi različne načine vplivali na moj strokovni in osebni razvoj. Za to se jim lepo zahvaljujem.

Zahvaljujem se mentorju, prof. dr. Milanu Čohu za pomoč pri izdelavi moje diplomske naloge, Srdjanu Djordjeviću za tehnično podporo in neomejene strokovne nasvete, ki presegajo okvire diplomske naloge, ter atletom in atletinjam, ki so sodelovali pri meritvah, za vložen trud.

Posebna zahvala gre moji puncu Marjeti, ki mi je nudila neprestano podporo, dobro energijo in me vzpodbujala k pozitivnemu razmišljanju, ter uresničevanju mojih in najinih ciljev v življenju.

Zahvala gre tudi družini in prijateljem za vzpodbujanje v času študija.

Ključne besede: sprinterski tek na 100 metrov, utrujenost, MEMS tehnologija, biodinamični parametri.

SPREMEMBE NEKATERIH BIODINAMIČNIH PARAMETROV SPRINTERSKEGA TEKA NA 100 m ZARADI UTRUJENOSTI

Gregor Škerl

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, 2016

Športno treniranje, kondicijsko treniranje

51 strani; 2 tabeli; 33 slik; 44 virov

IZVLEČEK

Namen diplomske naloge je bil na podlagi sprememb biodinamičnih parametrov ugotoviti območje nastanka utrujenosti pri maksimalnem sprintu na 100 metrov. Za predmet diplomske naloge smo testirali dvajset atletov/inj. Testiranje je vsebovalo tri ponovitve maksimalnega sprinta na 100 metrov. Med vsako serijo sprinta je bila faza odmora, dolga 10 minut. Fotocelice za meritev časa so bile postavljene na 0, 40, 70 in 100 metrov. Poudarek našega raziskovanja sta bila segmenta sprinterskega teka od 40 do 70 metrov in od 70 do 100 metrov.

Pri zbiranju podatkov biodinamičnih parametrov nam je bila v pomoč uporaba senzorskih sistemov SSD7 (TMG-BMC, Ljubljana, Slovenija), ki so plod MEMS tehnologije. Zbrane podatke smo nato statistično obdelali. Izračunali smo povprečja in standardni odklon posameznih sprintov ter vseh treh sprintov skupaj. Opazovali smo razliko v dveh ciljnih segmentih sprinterskega teka. Za statistično oceno sprememb v biodinamičnih parametrih smo uporabili dvosmerni Studentov t-test za odvisne vzorce ($p < 0,05$).

Rezultati so pokazali, da je v večini biodinamičnih parametrov med segmentoma sprinta od 40 do 70 metrov in od 70 do 100 metrov prišlo do statistično značilnih sprememb. Vrednosti parametrov so v segmentu od 70 do 100 metrov, narasle pri številu korakov in ekvivalentu mehanske učinkovitosti medtem, ko so ostale vrednosti v tem segmentu padle. Naraščanje števila korakov v zadnjem segmentu je potrebno pripisati zmanjšanju frekvence teka in dolžine korakov v istem segmentu. Analize pozitivnih in negativnih pospeškov v X, Y in Z smereh, kažejo na padec vseh vrednosti v segmentu od 70 do 100 metrov. Vse te spremembe v zadnjem segmentu teka nakazujejo na pojav specifične sprinterske utrujenosti.

Če poznamo obdobje nastanka utrujenosti, lahko s pomočjo procesa treninga vnesemo adaptacije, ki bodo omogočale bolj učinkovito tehniko teka v tem segmentu sprinta na 100 metrov. Uporaba MEMS tehnologije nam služi kot pomoč pri diplomski nalogi in nadaljnjih raziskavah na področju pojava utrujenosti pri maksimalnih sprintih. Smotrno je razmislek o uporabi te tehnologije v vsakdanjem procesu treninga.

Key words: maximal sprint on 100 metres, fatigue, MEMS technology, biodynamical parameters.

CHANGES IN SOME BIODYNAMICAL PARAMETERS OF SPRINTING ON 100 m DUE TO FATIGUE

Gregor Škerl

University of Ljubljana, Faculty of Sport, 2016

Sports training, Conditional training

51 pages; 2 tables; 33 pictures; 44 references

ABSTRACT

Based on changes of biodynamical parameters, the goal of this study was to find out in which segment of maximal sprint on 100 metres fatigue occurs. We tested 20 athletes. The testing protocol consisted of three repetitions of maximal sprints on 100 metres. Between every repetition there was a 10 minute break. Photocells were installed at 0, 40, 70 and 100 metres. The focus of our study were two segments of 100 metre sprint; from 40 to 70 metres and from 70 to 100 metres.

The sensor systems SSD7 (TMG-BMC, Ljubljana, Slovenia) which are a product of MEMS technology, helped us collecting the data of biodynamical parameters. The data we collected were statistically processed. Average and standard deviation values of single sprints and a group of all three sprints were calculated. We observed the changes between our target segments of 100 metre sprint. To analyze the statistical changes in biodynamical parameters, we used two tailed Students t-test for paired samples ($p < 0,05$).

The results showed that statistically significant changes have occurred in almost every biodynamical parameter between the two target segments. There was an increase in two values at the last segment of sprint; number of strides and equivalent of mechanical efficiency. Other values in the same segment were decreased. The increase in the number of strides can be connected to a decrease in stride frequency and stride length in the same segment. Analysis of positive and negative accelerations in X, Y and Z direction, show a decrease in all values at the last segment of sprint. All these changes in the last segment of sprint indicate the occurrence of specific sprinters fatigue.

When we know the segment at which the fatigue occurs, we can enter the adaptations in the process of training. This will allow positive changes in sprinting technique in the target segment. The use of MEMS technology which helped us in our study, will serve as help in further studies in the segment of fatigue occurrence in maximal 100 metre sprints. It is a reasonable reflection to think about the use of this technology in everyday process of training.

Kazalo:

1. UVOD	9
1.1. PREDMET IN PROBLEM	11
1.2. UTRUJENOST	11
1.2.1. Periferna utrujenost	12
1.2.2. Centralna utrujenost	12
1.2.3. Energijski procesi pri maksimalnem teku na 100 metrov	13
1.3. HITROSNA VZDRŽLJIVOST	14
1.4. ZNAČILNOST SPRINTERSKEGA TEKA	14
1.4.1. Startna »blok« faza	17
1.4.2. Faza startne akceleracije	18
1.4.3. Faza maksimalne hitrosti	18
1.4.4. Faza upadanja hitrosti	19
1.5. CILJI	19
1.6. HIPOTEZE	20
2. METODE DELA	21
2.1. VZOREC MERJENCEV	21
2.2. VZOREC KINEMATIČNIH IN DINAMIČNIH PARAMETROV	21
2.3. PRIPOMOČKI - MERILNI INSTRUMENTARIJ	22
2.3.1. MEMS tehnologija	22
2.3.2. Sensmotion7-DoF	23
2.4. MERILNI POSTOPEK	24
2.5. OBDELAVA PODATKOV	26
2.5.1. Fourierjeva transformacija	26
3. REZULTATI	28
3.1. POVPREČNA HITROST	29
3.2. SKUPNI VEKTOR POSPEŠKOV	30
3.3. ŠTEVILO KORAKOV	31
3.4. DOLŽINA KORAKOV	32
3.5. FREKVENCA KORAKOV	33
3.6. EKVIVALENT MEHANSKE UČINKOVITOSTI	34
3.7. ANALIZA POZITIVNIH IN NEGATIVNIH POSPEŠKOV	35
3.7.1. Povprečne vrednosti površin pozitivnih pospeškov v X smer	37
3.7.2. Povprečne vrednosti površin pozitivnih pospeškov v Y smer	38
3.7.3. Povprečne vrednosti površin pozitivnih pospeškov v Z smer	39

3.7.4. Povprečne vrednosti površin negativnih pospeškov v X smer.....	40
3.7.5. Povprečne vrednosti površin negativnih pospeškov v Y smer.....	41
3.7.6. Povprečne vrednosti površin negativnih pospeškov v Z smer.....	42
4. RAZPRAVA.....	43
5. SKLEP.....	46
6. VIRI.....	48

1. UVOD

V skoraj vseh športnih aktivnostih, s katerimi se človek lahko ukvarja, prej ali slej pride do utrujanja. Stopnja tega utrujanja je odvisna od intenzitete in trajanja napora. Načrtovanje in optimizacija vadbenega procesa sovpadata s pomembnostjo opazovanja in merjenja pojava utrujenosti. V pojavu mišične utrujenosti je udeleženi več različnih struktur in mehanizmov, zato imamo pri definiranju mej teh pojavov velike težave, saj so te zelo zabrisane. Definicijo mišične utrujenosti lahko obrazložimo kot zmanjšanje zmožnosti razvijanja maksimalne sile krčenja mišic in jo poimenujemo lokalna mišična utrujenost. Na drugi strani je nevralni del utrujanja definiran kot nehoteno zmanjšanje hotene aktivacije. To utrujenost nevralne ravni imenujemo centralna in periferna nevralna utrujenost.

Sprint služi kot osnova za veliko drugih športov. Biomehanika sprinta je bila zato mnoga leta plod raziskav in analiz. Sprinter, ki želi kakovosten rezultat, mora imeti naslednje karakteristike:

- dober reakcijski čas;
- hitro in dolgo pospeševanje (eksplozivna moč);
- doseči mora svojo maksimalno hitrost in jo tudi vzdrževati (maksimalna hitrostna vzdržljivost);
- zmanjšati vpliv utrujenosti na padanje maksimalne hitrosti (submaksimalna hitrostna vzdržljivost).

Sprinterski tek je sestavljen iz serij skokov v horizontalni ravnini, pri katerih je nujno, da ustvarijo čim več pritiska na podlago. Frekvenca in dolžina korakov sta pomembno povezana z maksimalno hitrostjo sprinterjev/erk. Hitra faza relaksacije omogoča hitrejši ponovni vklop agonistov in s tem višjo frekvenco korakov, kar privede do boljše koordinacije med posameznimi mišičnimi skupinami. Frekvenco korakov je možno s pravilno izbiro trenažnega procesa adaptirati na nivo moči strateško pomembnih mišičnih skupin (Čoh idr., 1995).

Rezultati raziskave (Čoh, Milanović in Kampmiller, 2001) dokazujejo, da ima frekvenca korakov bolj pomemben doprinos k maksimalni hitrosti kot pa dolžina korakov. Dolžina korakov je kompleksen kinematični parameter, ki je odvisen od številnih dejavnikov, med njimi lahko izpostavimo morfološke karakteristike. Maksimalna hitrost sprinterskega teka je rezultat optimalnega modela frekvence in dolžine korakov posameznega atleta/inje.

Frekvenca koraka je zelo povezana in odvisna od trajanja oporne faze, dolžina koraka pa ima velik vpliv na trajanje faze leta (Čoh, 2002).

Hunter, Marshall in McNair (2005) so v svoji raziskavi ugotovili, da je med fazo akceleracije ugodnejši obseg relativnega vertikalnega impulza tisti, ki ustvari fazo leta, ki bo ravno toliko dolga, da bo omogočila ponovno pozicioniranje spodnjih okončin. Vse druge rezerve v moči bi morale biti usmerjene v horizontalno smer. Nadaljnje raziskave so potrebne, da bi

ugotovili, ali lahko s pomočjo specifičnega treninga vplivamo na zaviralne, pogonske in vertikalne impulze.

Želeli smo ugotoviti spremembe v nekaterih biodinamičnih parametrih sprinterskega teka, ki se manifestirajo v dolžini koraka, njihovi frekvenci, pospeških v X, Y in Z smeri kot posledica utrujenosti.

Ta tip utrujanja povezujemo z vadbo maksimalne hitrosti in hitrostne tekaške vzdržljivosti. Pojav tega tipa utrujenosti pri izvedbi maksimalnega sprinta se kaže kot padec horizontalne hitrosti teka ter nezmožnost izvajanja učinkovitih in koordiniranih gibalnih vzorcev. Ugotavljanje morebitnih negativnih sprememb v tehniki teka je osredotočeno na zadnjo fazo teka. Razvoj nove tehnologije omogoča neinvazivno in natančno zbiranje podatkov o biomehanskih parametrih gibanja športnika med obremenitvijo.

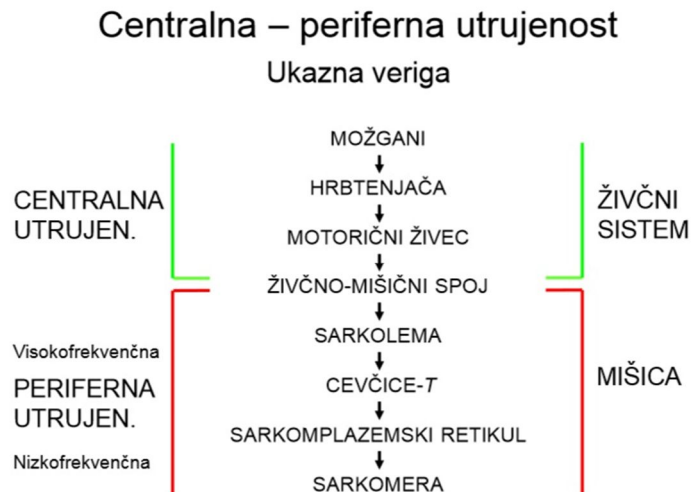
1.1. PREDMET IN PROBLEM

Tukaj velja izpostaviti spremembe, ki se pojavijo pri maksimalnem teku na 100 m. Predvidevamo, da utrujenost, ki nastopi v drugi polovici teka, vpliva na tehnično izvedbo tega teka, kar se manifestira v končnem rezultatu. Pri analizi je potrebno biti pozoren na hitrost tekov in frekvenco korakov v dveh odsekih (40 m – 70 m in 70 m – 100 m). Protokol s trikratnim maksimalnim tekom na 100 m z 10 minutnim počitkom med teki, je eden izmed že uveljavljenih načinov, ki ga atleti uporabljajo pri treningih specifične sprinterske hitrostne vzdržljivosti. S tem skrbijo za razvoj sposobnosti ohranjanja maksimalne hitrosti v zadnji fazi teka, kar pa sovпада s sposobnostjo atletov, da večkrat tečejo maksimalno hitro. Ta sposobnost je namreč nujna glede na tekmovalni sistem, katerega so deležni sprinterji na tekmovanjih. Direktne mehanske spremembe, ki jih opazimo z merjenjem in spremljanjem v časovnem in frekvenčnem prostoru, so med maksimalnim tekom na 100 metrov metodološki izziv. Namen naloge je, da ugotovimo, ali je možno z razpoložljivimi metodami natančneje zaznati mehanizme utrujanja med večkratnim maksimalnim tekom na 100 metrov. Z izsledki raziskave bomo skušali pridobiti bolj natančen vpogled v razumevanje in dinamiko sprememb, povezanih z utrujanjem. Pri tem si bomo pomagali s šestimi tridimenzionalnimi pospeškometri in giroskopi ter algoritmi za obdelavo pridobljenih signalov.

1.2. UTRUJENOST

Utrujenost je definirana kot zmanjšanje sile ali moči, ne glede na to, ali lahko dano nalogo ohranjamo ali ne (Bigland-Ritchie in Woods, 1984). Pomeni tisti trenutek v naporu, ko njegovo nadaljevanje z enako ali s povečano intenzivnostjo ni več mogoče (Ušaj, 1997). Ko ugotavljamo stopnjo utrujenosti, moramo vedeti, da lahko obstaja razlika med posameznimi mišičnimi vlakni in celotno mišico. Pri submaksimalni aktivnosti zmanjšanje delovne učinkovitosti mišice ni takoj vidno in se kaže kot nesposobnost nadaljevanja aktivnosti v originalni intenzivnosti. Pri hotenih kontrakcijah so mišice aktivirane s pomočjo kompleksnih poti, ki se začnejo v možganskem korteksu in nadaljujejo s sproščanjem spodnjih motonevronov v hrbtenjači. Akson spodnjih motonevronov prenaša akcijske potenciale do nevromišičnega križišča v mišici. Mišice, ki jih intenzivno uporabljamo, sčasoma začnejo kazati progresivno padanje učinkovitosti. Ta pa se v veliki meri povrne po obdobju počitka (Allen, Lamb in Westerblad, 2008). Ena od oblik utrujenosti, ki se pogosto pojavlja, je utrujenost, povzročena s ponavljajočimi kratkimi kontrakcijami. Frekvenca dražljajev, ki se pri tem sproščajo, je ponavadi podobna tisti, ki se ustvari pri proizvodnji maksimalne sile v neutrujenem mišičnem vlaknu. Mehanični ali metabolični stres, ki se razvija v skeletnih mišicah, vpliva na procese znotraj centralnega živčnega sistema. Procesni znotraj hrbtenjače in nad njo, so definirani kot centralni, medtem ko so procesi v perifernem živcu, nevromišičnemu križišču in mišicah definirani kot periferni. Na podlagi tega poznamo dva tipa utrujenosti (Slika 1):

- a) Centralna utrujenost
- b) Periferna utrujenost



Slika 1. Prikaz delovanja centralne-periferne utrujenosti (Strojnik, 2010)

1.2.1. Centralna utrujenost

Koncept centralne utrujenosti temelji na tem, da je zmanjšana komunikacija centralnega živčnega sistema z lokomotornimi mišicami glavni razlog za zmanjšano proizvodnjo moči (Gandevia, 2001). Ta tip utrujenosti lahko opazujemo s pomočjo supramaksimalnih stimulusov, usmerjenih v določeno točko na živčni poti, med maksimalno hoteno kontrakcijo. To je klasičen pristop, bolj znan kot metoda interpoliranega skrčka (Merton, 1954).

Možgani ne rekrutirajo dodatnih motoričnih enot med dolgotrajnim naporom, ker bi ta rekrutacija ogrozila homeostazo v telesu (St. Clair Gibson in Noakes, 2004). Kljub maksimalni hoteni kontrakciji, motorične enote niso uporabljene tako hitro, da bi izzvale maksimalno hoteno silo. Za razliko od perifernih mehanizmov utrjenosti, določeni mehanizmi centralne utrujenosti niso povsem razumljivi. Produkcija hotene mišične sile izvira iz kompleksne verige ukazov. Nastanek sile ni odvisen samo od lastnosti mišic, ampak tudi od aktivacije mišic s pomočjo centralnega živčnega sistema. Centralna utrujenost lahko nastane zaradi oslabeitev v možganskem korteksu ali v hrbtenjači (Gandevia idr., 1995).

Centralno utrujenost lahko obravnavamo tudi kot varnostno opozorilo za aktivne organizme, ki imajo funkcijo, da v telesu držijo ravnotežje oziroma homeostazo. To pomeni, da v primeru nezmožnosti nadaljnjega opravljanja napora, organizem sam ustavi nadaljevanje napora z namenom, da ne pride do poškodb (Noakes idr., 2004).

1.2.2. Periferna utrujenost

Periferna utrujenost je definirana kot zmanjšana sposobnost kontraktilnega dela mišice za razvoj sile, kljub nespremenjeni aktivaciji centralnega živčnega sistema (Bigland-Ritchie,

1986). Periferna utrujenost se lahko pojavi zaradi sprememb v krogu prečnega mostička, posledica je inhibicija mišične sile (Fitts, 2008).

Pojav periferne utrujenosti se nakazuje z zmanjšanjem sile skrčka, skrajšanjem hitrosti kontrakcije in moči, ki jo mišica proizvede. Ta pojav se dogaja distalno od živčno-mišičnega križišča. To križišče služi kot nekakšen vmesnik med živčnim sistemom in skeletnimi mišicami. Nastanek periferne utrujenosti med naporom je progresiven (Gandevia, 2001) in je odvisen od trajanja in intenzitete napora (Enoka in Stuart, 1992).

Poznamo dva tipa periferne utrujenosti:

- a) **Visokofrekvenčna utrujenost**
- b) **Nizkofrekvenčna utrujenost**

Visokofrekvenčna utrujenost je tip utrujenosti, ki je posledica ponavljajočih se maksimalnih mišičnih kontrakcij. Do utrujenosti pride zaradi spremembe v živčno-mišičnem prenosu ter proizvodnji in prevajanju akcijskega potenciala po sarkolemi in cevčicah T (Allen, Lamb in Westerblad, 2008).

Nizkofrekvenčna utrujenost je dolgotrajni tip utrujenosti, za katero je značilno zmanjšanje tetanične sile pri nizkofrekvenčni stimulaciji, medtem ko pri visokofrekvenčni stimulaciji ne pride do padca sile oziroma je ta padec majhen (Edwards idr., 1977). Pojavljala naj bi se med visoko intenzivnimi napori, ter med submaksimalnimi ponavljajočimi kontrakcijami (Edwards idr., 1977; v Bigland-Ritchie idr., 1986).

1.2.3. Energetski procesi pri maksimalnem teku na 100 m

Tip utrujanja, ki nastaja med maksimalnim tekom na 100 metrov in med večkratnimi ponovitvami tega teka, je povezan z anaerobnimi alaktatnimi procesi. Mišične kontrakcije so odvisne od zaloge kemične energije, ki jo telo dobi od adenozin trifosfata (ATP). Kratkotrajni maksimalni napor za svoje delovanje potrebuje zelo hitro stopnjo resinteze ATP-ja, če želimo, da se mišične kontrakcije lahko odvijajo naprej. Najhitrejša pot resinteze ATP-ja je z razgradnjo kreatin fosfata (CrP) (Gaitanos idr., 1993). V drugem delu se kot gorivo priključi glikogen. Hitrost razgradnje omenjenih goriv je submaksimalna, kar povzroča počasnejše kopičenje laktata v krvi. Za te procese je značilno, da so kratkotrajni in vključujejo maksimalen napor. Kratkotrajna mišična delovanja, ki temeljijo na veliki mišični sili, predstavljajo učinkovitost v najbolj intenzivnih obremenitvah (Škof, 2007). Fizični napor pri kratkotrajnih maksimalnih naporih, je omejen na začetku s stopnjo porabe ATP-ja, proti koncu pa s stopnjo regeneracije ATP-ja.

1.3. HITROSTNA VZDRŽLJIVOST

Da bi zmanjšali vpliv utrujenosti na dosežke, je potrebno doseči višjo stopnjo vzdržljivosti sprinterjevega gibalnega sistema. Hitrostna vzdržljivost se pojavlja v športnih disciplinah, ki zahtevajo sočasno visoko kapaciteto za eksplozivno proizvodnjo sile, visoko porabo moči in pa čim višjo odpornost na utrujenost. Predvsem višja odpornost na utrujenost skupaj s sposobnostjo prenašanja bolečine, sta glavni komponenti za doseg najboljših rezultatov v posamezni športni panogi.

Hitrostna vzdržljivost je prevladujoča sposobnost pri premagovanju največjega napora, ki traja do 2 minuti. Biološka podlaga, ki spremlja to sposobnost, so anaerobni energijski procesi v mišici. Ti za svoje delovanje uporabljajo glikogen. Hitrostno vzdržljivost spremlja tudi kopičenje mlečne kisline (laktata) v mišicah in celotnem organizmu. Koncentracija laktata v mirovanju je navadno manjša od 2 mmol/l, po tovrstnem naporu pa se poveča tudi do 23 mmol/l. Odstranjevanje laktata iz mišic poteka s pomočjo anaerobnih energijskih procesov, ki poleg tvorbe energije uporabljajo laktat kot svoje gorivo in zmanjšujejo acidozo v telesu (Ušaj, 2003).

Vpliv specifične vadbe na hitrostno vzdržljivost (Ušaj, 2003):

- povečanje hitrosti gibanja pri največjih naporih, ki trajajo od 45 sekund do 3 minute;
- povečanje vsebnosti laktata;
- možno je povečanje aktivnosti encimov v anaerobnih laktatnih energijskih procesih;
- sprememba acidobaznega ravnotežja v krvi;
- verjetnost povečanja prilagojenosti na povečano acidozo;
- verjetnost povečanja vsebnosti kreatin fosfata (CrP) v mišicah.

1.4. ZNAČILNOSTI SPRINTERSKEGA TEKA

Gibanje z največjo možno hitrostjo imenujemo tek z največjo hitrostjo ali sprint. Je najhitrejši način monostrukturnega cikličnega gibanja brez uporabe dodatnih pripomočkov. Odvisen je od številnih biomehanskih elementov (Čoh, 2002). Uspešen sprinterski tek je odvisen od večjega števila dejavnikov:

- štatni reakcijski čas;
- tehnika starta;
- tehnika teka;
- produkcija moči;
- aktivnost mišic;
- mišična struktura;
- zunanji dejavniki.

a) Startni reakcijski čas

Startni reakcijski čas predstavlja čas med pokom startne pištole in gibom atleta. Prepoznavno določa uspeh v sprinterskem teku. Kljub temu pa so startni pospešek, maksimalna hitrost teka

in vzdržljivost v hitrosti najpomembnejši dejavniki. S hitrim reakcijskim časom si atlet pridobi fizično in psihološko prednost pred ostalimi tekmovalci (Ditrollo in Kilding, 2004). Reakcijski čas je funkcionalno in genetsko določen in ga je težko izboljšati. Pri vrhunskih sprinterjih reakcijski čas prispeva 4–5 % celotnega časa v teku na 100 metrov (Čoh, 2002).

b) Tehnika starta

Start je najpomembnejši dejavnik celotnega sprinterskega teka na 100 metrov. Ob optimalni izvedbi omogoča boljši končni rezultat. Tehnika starta, ki se uporablja pri sprintih na 100 metrov, je t.i. tehnika nizkega starta. Za tako obliko starta potrebujemo startni blok. Sprinterski start je kompleksna motorična naloga, pri kateri je značilna izraženost velikih sil v horizontalno smer in pa hitrost oziroma kratko časovno obdobje, v katerem te sile nastanejo (Harland idr., 1995).

c) Tehnika teka

Dobra tehnika teka je skupek predvsem štirih pomembnih dejavnikov. Prvi v vrsti teh dejavnikov je sposobnost, da vzdržujemo relativno visoko centralno težišče telesa z rahlim zamikom medenice naprej, skozi fazo maksimalne hitrosti in fazo upadanja hitrosti. Drugi dejavnik, ki ga skušamo doseči, je povezan z visoko pozicijo kolkov. Namreč pri vsaki fazi zamaha stopala mora priti do obsežne fleksije kolkov (Jones, 2009). Tretji v vrsti dejavnikov je delo rok. Gibanje rok mora vedno biti v smeri naprej – nazaj, kot v komolcu pa naj bi bil vedno blizu 90° v fleksiji. Obe roki morata delovati povsem enako, le v obratno smer. Ob tem pa mora biti gibanje povezano, vključno z dopolnjevanjem (Čoh idr., 2006). Četrty dejavnik je povezan s sproščenostjo ramenskega obroča, vratu in obraznih mišic takrat, ko dosežemo vzravnani položaj v teku in maksimalno hitrost (Jones idr., 2009).

d) Produkcija moči

Za to, da sprinter učinkovito opravi z naporom, mora uporabiti različne tipe moči. Delimo jih na:

- **maksimalna moč** (količina sile, ki jo mišice lahko proizvedejo s samo enim maksimalnim gibom in ni vezana na čas);
- **eksplozivna moč** (t.i. hitra moč – je moč na časovno enoto);
- **elastična moč** (predstavlja hiter prehod iz ekscentrične v koncentrično mišično kontrakcijo, generira maksimalno hitrost);
- **vzdržljivost v moči** (zmožnost ponavljanja giba za dlje časa brez znakov utrujenosti).

Moč, ki je na koncu izražena, je odvisna od preseka mišice, ki jo uporabljamo za premagovanje napora. Namreč, večji kot je presek mišice, večja je sila, ki jo ta mišica proizvede. Ob trajanju napora sta zelo pomembni znotraj-mišična in medmišična koordinacija. Pri prvi gre za koordiniranje aktivacije mišice z inhibicijskimi refleksi, druga pa se kaže kot usklajevanje aktivacije agonistov in sproščanje antagonistov. Ko se v telesu pojavi utrujenost, se omenjena procesa hitro porušita, s tem pa povzročita še večjo porabo energije, kar pa ima za posledico še hitrejši pojav utrujenosti (Ušaj, 1997).

e) Aktivnost mišic

S pomočjo elektromiografskega signala lahko ugotovimo, kako različne mišične skupine skupaj z nevromišično koordinacijo vplivajo na sprinterski tek na 100 metrov. Med fazo maksimalne hitrosti naj bi najpomembnejšo vlogo imele dvoglava stegenska mišica (biceps femoris) in zadnjične (glutealne) mišice. Te mišice pridejo do največjega vpliva v fazi zamaha, ko je poudarjeno gibanje spodnjih ekstremitet v smeri navzdol in nazaj (Mero in Komi, 1986). Med fazo pospeševanja pridejo najbolj do izraza ekstenzorji kolena oziroma štiriglava stegenska mišica (quadriceps femoris). Ta omogoča potiskanje telesa naprej v smeri sprinta (Mero in Komi, 1990). Med samim sprintom mišice potrebujejo visoko stopnjo znotraj-mišične koordinacije, da lahko naredijo maksimalne gibe z različnimi oblikami kontrakcije. Dvoglava stegenska mišica na koncu sprednjega zamaha naredi veliko ekscentričnega dela, da zmanjša hitrost zamaha sprednje noge naprej. To omogoča shrambo elastične energije, ki se bo uporabila ob koncentričnem delu dvoglave stegenske mišice pri zadnjemu zamahu (Simonsen idr., 1985, v Wiemann in Tidow, 1995). Uravnoteženo delovanje ekscentrične, koncentrične in izometrične moči mišic ter agonistov in antagonistov, je zelo pomembno za zmogljivost in preprečevanje poškodb pri atletu (Jönhagen idr., 1994, Kallinen in Alen, 1994, Galloway in Jokl, 1996, Aagaard idr., 1998).

f) Mišična struktura

Mišična struktura je odvisna od prirojenih genetskih dejavnikov. Poznamo dva tipa mišičnih vlaken:

- **počasna mišična vlakna** (tip I);
- **hitra mišična vlakna** (tip IIa in IIb).

Počasna mišična vlakna so povezana z aerobnimi procesi v celicah in potrebujejo za proizvodnjo energije dostop do kisika. Prepoznamo jih po rdeči barvi. **Hitra mišična vlakna** so bele barve in se delijo na dva tipa. **Tip IIa** lahko za pridobivanje energije uporablja aerobne in anaerobne procese, medtem ko je **tip IIb** vezan le na anaerobne procese v celicah (Bompa in Carrera, 2005).

V sprintu potrebujemo zelo hitro produkcijo velikih sil, tako da moramo imeti pravo razmerje obeh tipov mišičnih vlaken. Počasna mišična vlakna za sprinterje niso primerna, ker so njihove kontrakcije prepočasne za sprint, zato njihov delež znaša le 24 % vseh mišičnih vlaken. Je pa zato delež hitrih mišičnih vlaken mnogo višji. Ta delež se giblje okoli 76 % vseh mišičnih vlaken, kar pa se predvsem nanaša na vlakna tipa IIa (Čoh, 2002).

g) Zunanji dejavniki

Zunanji dejavniki sprinta na 100 metrov so:

- podlaga;
- obutev;
- vreme;
- temperatura zraka;
- nadmorska višina;
- psihološka priprava.

Če vse te dejavnike učinkovito združimo v uspešno celoto, bo to v veliki meri vplivalo na dober rezultat sprinta. Za dober sprint je potrebno učinkovito povezati naslednje štiri faze (Mero, Komi in Gregor, 1992) (Slika 2):

- startna »blok« faza;
- faza startne akceleracije;
- faza maksimalne hitrosti;
- faza upadanja hitrosti (faza deceleracije).



Slika 2. Faze v sprinterskem teku (Horvat, 2008)

1.4.1. Startna »blok« faza

Startna »blok« faza se nanaša na čas, ko je sprinter v stiku s startnim blokom. Faza se začne z ukazom sodnika »Na mesta« in se konča, ko atlet zapusti startni blok. Ko atlet sliši »Na mesta«, se premakne naprej in postavi roke v širino ramen za startno črto. Noge so medtem v kontaktu s startnim blokom, koleno zadnje noge pa je v kontaktu s podlago. Ob ukazu »Pozor« atlet dvigne koleno zadnje noge iz podlage in s tem povzdigne boke in premakne centralno težišče telesa navzgor in naprej. Pri puku startne pištole mora atlet čim hitreje odreagirati. Roke zapustijo podlago in gredo v močno gibanje v smeri naprej – nazaj. Z nogami se potisne iz startnega bloka v prve sprinterske korake.

Namen starta iz bloka je, da atleta učinkovito usmeri v smer sprinta. Glavni cilji atleta skozi to fazo so sledeči (Tellez in Doolittle, 1984):

- vzpostaviti uravnotežen položaj v startnem bloku;
- zadržati pozicijo telesa s centralnim težiščem, pomaknjem toliko visoko, kolikor je še praktično in rahlo naprej;
- izvesti silo na startni blok tako, da gre premica sile skozi gleženj, koleno, kolk, centralno težišče telesa;

- izvesti silo na startni blok in čez celotno telo, s kotom v pregibu telesa v kolku cca. 45°;
- zapustiti startni blok z največjo možno hitrostjo.

1.4.2. Faza startne akceleracije

Ko atlet zapusti startni blok, začne pospeševati s podaljševanjem dolžine koraka in povečevanjem frekvenca koraka. Ta faza traja do trenutka, ko se telo atleta spravi v vzravnano položaj. Dolžina trajanja pospeševanja pri sprintu na 100 metrov je med 30 in 50 metri (Volkov in Lapin, 1979).

Za uspešno fazo akceleracije so pomembni štirje glavni dejavniki; delo rok, iztegnitev nog, kontaktni časi in drža telesa (Jones idr., 2009).

Po preteklih raziskavah sodeč (Mann, Kotmel, Herman, Johnson in Schultz, 2008), naj bi imele roke funkcijo vzpostavljanja ravnotežja ob premikanju nog med samim sprintom. Iztegnitev nog se nanaša na popolno iztegnitev sklepov kolka in kolena pri zamahu stopala ob vsakem koraku. S tem se poveča sila na podlago, kar povzroči večje pospeške v smeri sprinta. Pomembno je, da se obe nogi pri sprintu obnašata simetrično, hkrati pa izmenjujoče.

Čoh in Tomažin (2006) navajata, da se ob oddaljevanju atleta od startnega bloka, faze kontakta stopala s tlemi skrajšujejo, medtem ko se faze zamaha podaljšujejo. Drža telesa mora biti za razvoj tekaške hitrosti dinamična in ne statična.

1.4.3. Faza maksimalne hitrosti

Razvoj maksimalne hitrosti je odvisen od optimalnega razmerja dolžine in frekvenca koraka. Dolžino koraka določata dolžina nog in sile, ki se razvijejo s pomočjo mišic iztegovalk kolčnega, kolenskega in skočnega sklepa, frekvenco koraka pa narekuje delovanje centralnega živčnega sistema. Ti dve lastnosti sta med seboj povezani, ob tem pa odvisni od gibalnih sposobnosti, časa trajanja kontaktne faze, produkcije sile, fizioloških in morfoloških značilnosti ter energetskih dejavnikov (Čoh, Milanović in Kampmiller, 2001).

Načeloma naj bi krajši kontaktni časi prispevali k večji maksimalni hitrosti v sprintu na 100 metrov. S krajšim kontaktnim časom pridobimo tudi večji delež elastične energije (Alcaraz, Palao, Elvira in Linthorne, 2011).

Sposobnost doseganja visoke hitrosti sprinterskega teka med fazo maksimalne hitrosti je nedvomno povezana s sposobnostjo doseganja visoke stopnje reakcijskih sil podlage v vertikalno smer, ki pa je omejena s trajanjem kontakta. Ta faza predstavlja 60 do 70 % časa, ki ga vrhunski atlet rabi za celotni sprint na 100 metrov (Morin, Edouard in Samozino, 2013).

1.4.4. Faza upadanja hitrosti (faza deceleracije)

Za to fazo je značilno, da pride do podaljšanja obeh faz sprinterskega koraka (faza zamaha in faza kontakta), opazno pa je tudi povečanje zaviralne razdalje in vertikalno padanje centralnega težišča telesa. V tej fazi pride do padca hitrosti, ki varira med 0,9 do 7,0 %, ob tem pa lahko zasledimo, da se frekvenca korakov zmanjšuje na račun rahlega povečevanja dolžine korakov (Moravec idr., 1988).

Mačkala (2007) je v raziskavi med seboj primerjal dve skupini sprinterjev (A in B). V skupini A so bili sprinterji s povprečnimi rezultati, v skupini B pa elitni sprinterji svetovnega merila. Do padca maksimalne hitrosti je v skupini A prišlo med 60 in 80 metri zaradi manjšega padca frekvenca in dolžine koraka. Ta trend se je nadaljeval tudi v zadnjih 20 metrih sprinta. Pri 90 metrih je hitrost padla za približno 1,3 % (0,12 m/s), v zadnjih 10 metrih pa je prišlo še do dodatnega zmanjšanja hitrosti za 0,43 % (0,04 m/s). Za razliko od prejšnje faze, je zmanjšanje hitrosti v tej fazi posledica precejšnjega padca frekvenca korakov, medtem ko se je dolžina korakov celo rahlo povečala. V skupini B je ravno tako prišlo do padca maksimalne hitrosti v zadnjih 20 metrih. Hitrost je v primerjavi s segmentom sprinta med 70 in 80 metri padla za 4 % (0,48 m/s). To se je zgodilo zaradi precejšnjega padca frekvenca korakov (3,3 %) in dolžine korakov (1,1 %). Če pa pogledamo zadnjih 10 metrov sprinta pri skupini B, ugotovimo, da sta se hitrost in dolžina korakov celo rahlo povečali.

Eden najpomembnejših dejavnikov sprinterskega teka je maksimalna hitrost. Ta je produkt frekvenca in dolžine koraka. Po različnih raziskavah sodeč, naj bi se s povišanjem frekvenca in dolžine koraka povečala tudi hitrost. Do hitrosti 7 m/s je naraščanje frekvenca in dolžine koraka linearno, nadaljnje povišanje hitrosti pa je povezano z višjo frekvenco korakov (Luthanen in Komi, 1978).

Tehniko gibanja, ki v nekaterih tako imenovanih tehničnih atletskih disciplinah močno vpliva na tekmovalni rezultat, lahko razvijamo, nadzorujemo in popravljamo le takrat, kadar poznamo vse bistvene dejavnike, ki jo opredeljujejo (Čoh, 2001).

1.5. CILJI

Glede na predmet in problem je mogoče postaviti naslednje cilje naloge:

1. S pomočjo uporabe tridimenzionalnih pospeškometrov in z natančnim merjenjem časa bomo poizkušali ugotoviti spremembe biodinamičnih parametrov, ki ključno vplivajo na spremembo hitrosti v odsekih 40 m – 70 m in 70 m – 100 m, pri ponovljenih maksimalnih sprintih na 100 metrov, ob konstantnem odmoru dolgem 10 minut.
2. Spremljali bomo spremembe, ki se naj bi zgodile v primerjavi med posameznimi serijami sprintov v osnovnih biodinamičnih parametrih, na odsekih 40 m – 70 m in 70 m – 100 m, med tremi serijami maksimalnih sprintov na 100 metrov.

1.6. HIPOTEZE

H1. Zaradi procesov utrujenosti bo prišlo do spremembe hitrosti teka in izbranih biodinamičnih parametrov (frekvenca koraka, povprečna dolžina koraka, število korakov), v odsekih 40 m – 70 m in 70 m – 100 m, pri ponovljenih maksimalnih sprintih na 100 m (3 x 100 m), ob konstantnem odmoru.

H2. Zaradi utrujenosti bo prišlo do spremembe hitrosti teka in izbranih biodinamičnih parametrov med tremi serijami sprintov na 100 m, v odsekih 40 m -70 m in 70 m – 100 m, pri konstantnem odmoru.

2. METODE DELA

2.1. VZOREC MERJENCEV

V študijo je bilo vključenih 20 merjencev. Vzorec merjencev je bil sestavljen iz 14 atletov in 6 atletinj. Povprečna višina atletov in atletinj je bila ($178,1 \pm 8,2$) cm, povprečna masa ($73,5 \pm 9,3$) kg ter povprečna starost ($26,2 \pm 6,5$) let. Vsi merjenci/ke so uvrščeni v mednarodni razred in so člani *Atletske reprezentance Republike Slovenije*. Testiranje je bilo izvedeno v skladu z navodili *Helsinške deklaracije* o raziskovalnem delu.

2.2. VZOREC KINEMATIČNIH IN DINAMIČNIH PARAMETROV

- **Čas teka**
 - 0 metrov – 100 metrov
- **Povprečna hitrost**
 - 0 metrov – 100 metrov
 - 40 metrov – 70 metrov
 - 70 metrov – 100 metrov
- **Skupni vektor pospeškov – E_{eff}**
 - 40 metrov – 70 metrov
 - 70 metrov – 100 metrov
- **Frekvenca korakov**
 - 40 metrov – 70 metrov
 - 70 metrov – 100 metrov
- **Število korakov**
 - 40 metrov – 70 metrov
 - 70 metrov – 100 metrov
- **Dolžina korakov**
 - 40 metrov – 70 metrov
 - 70 metrov – 100 metrov
- **Ekvivalent mehanske učinkovitosti (M_{eff}) - Povprečna hitrost*masa/ E_{eff}**
 - 40 metrov – 70 metrov
 - 70 metrov – 100 metrov
- **Povprečna površina pozitivnih pospeškov v smeri X**
 - 40 metrov – 70 metrov

- 70 metrov – 100 metrov
- **Povprečna površina pozitivnih pospeškov v smeri Y**
 - 40 metrov – 70 metrov
 - 70 metrov – 100 metrov
- **Povprečna površina pozitivnih pospeškov v smeri Z**
 - 40 metrov – 70 metrov
 - 70 metrov – 100 metrov
- **Povprečna površina negativnih pospeškov v smeri X**
 - 40 metrov – 70 metrov
 - 70 metrov – 100 metrov
- **Povprečna površina negativnih pospeškov v smeri Y**
 - 40 metrov – 70 metrov
 - 70 metrov – 100 metrov
- **Povprečna površina negativnih pospeškov v smeri Z**
 - 40 metrov – 70 metrov
 - 70 metrov – 100 metrov

2.3. PRIPOMOČKI - MERILNI INSTRUMENTARIJ

Pospeškometri (Sensmotion7-DoF, TMG-BMC, Ljubljana, Slovenija).

Fotocelice (Brower Timing System, Utah, USA).

Videokamera (CASIO Exilim EX-ZR20, CASIO COMPUTER CO., LTD., Tokio, Japan).

2.3.1. MEMS Tehnologija

Mikro-elektro-mehanski sistemi ali MEMS, je tehnologija, ki jo v osnovi lahko opišemo kot pomanjšani mehanski in elektro-mehanski elementi, ki so proizvedeni s pomočjo uporabe tehnike mikroizdelave. Poznamo različne velikosti in tipe teh naprav. Ena glavnih komponent MEMS tehnologije so mikrosenzorji, s pomočjo katerih naprava pretvori pridobljene mehanske signale v električni signal.

V preteklosti je s pomočjo razvoja in raziskav nastalo veliko število mikrosenzorjev, ki merijo različne parametre (temperatura, pritisk, notranje sile, sevanje, magnetno polje, itd.). Kompleksnost MEMS tehnologije dokazuje prisotnost le-te v sistemih, ki so v povezavi z avtomobilskimi, medicinskimi, elektronskimi, obrambnimi in s komunikacijskimi aplikacijami. Trenutne MEMS naprave vsebujejo akcelerometre, ki se uporabljajo kot npr.:

- a) senzorji za zračne blazine;

- b) glave inkjet tiskalnikov;
- c) glave računalniških trdih diskov;
- d) senzorji za krvni pritisk;
- e) optična stikala;
- f) mikrovalji;
- g) biosenzorji.

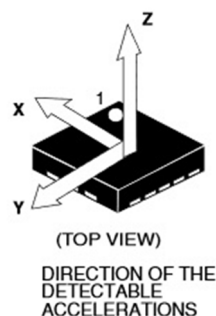
2.3.2. Sensmotion7-DoF

Sensmotion7-DoF je produkt MEMS tehnologije (Slika 3). Vsebuje 2 pospeškometra, žiroskop in magnetometer. Pospeškometra sta nizko napetostna, digitalna, merita sile v 3 smeri (X, Y in Z smer) in sta produkt »nano« tehnologije. Naprava vsebuje še digitalni vmesnik, ki omogoča prenos in obdelavo podatkov v drugih medijih. Zajema podatke s frekvenco 1000 Hz, največja sila, ki jo pospeškometer lahko zabeleži, je 24 g (g - gravitacijski pospešek), delovna temperatura pa se lahko giblje med - 40 °C in + 85 °C.



Slika 3. Pospeškometer (Sensmotion7-DoF, TMG-BMC, Ljubljana, Slovenija)

Pospeški v smeri X določajo gibanja gor – dol, pospeški v Y smeri določajo gibanja levo – desno in pospeški v Z smer določajo gibanja naprej – nazaj (Slika 4). Koliko je pospeškometer občutljiv na linearne pospeške, se lahko ugotovi tako, da se izvede 1 g pospeška na senzor pospeškometra. To izvedemo tako, da pospeškometer iz začetnega položaja obrnemo proti tlor in odčitamo vrednost ter ga nato obrnemo proti nebu in ponovno odčitamo vrednost. Nato odčitani vrednosti delimo z 2 in dobimo natančno občutljivost senzorja. Senzor bo v stanju mirovanja vedno izmeril 0 g v Y smer, 0 g v Z smer, medtem ko bo v X smer pokazal 1 g (g – gravitacijski pospešek).

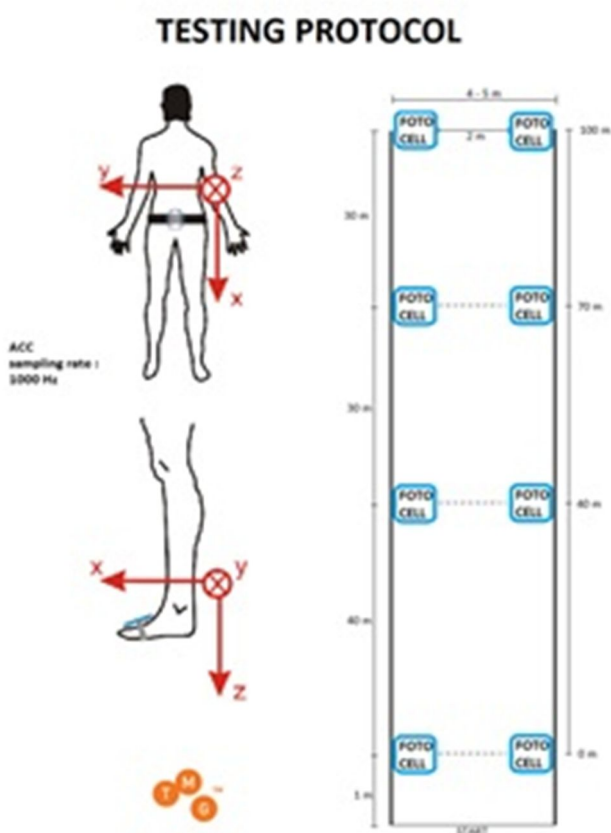


Slika 4. Smeri zaznavanja pospeškov s pospeškometrom (STMicroelectronics)

2.4. MERILNI POSTOPEK

Testiranje atletov in atletinj je potekalo v atletski dvorani (v izogib neugodnim vremenskim vplivom) z atletsko stezo v dolžini 155 m. Na vsakega merjenca/ko je bil nameščen senzorski sistem SSD7 (Sensmotion7-DoF, TMG-BMC, Ljubljana, Slovenija). Ta sistem ima triosne pospeškometre in žiroskope, ki podatke zajemajo z vzorčno frekvenco 1 kHz. Postavitev prvega senzorja je bila na ledvenem delu hrbta (med L5 in S1), drugi senzor je bil nameščen na nart leve noge, tretji pa na nart desne noge. Pridobljene podatke sem nato obdelal v programu Sensmotion, kjer sem naredil filtracijo in sinhronizacijo signalov. Uporabo te tehnologije je moč zaslediti v različnih raziskavah. Ena od teh (Purcell, Channells, James in Barrett, 2006) opisuje uporabo tridimenzionalnih pospeškometrov za spremljanje kontaktnih časov med tekom.

Časi tekov so bili zabeleženi s pomočjo fotocelic, njihova postavitve pa je bila na 0, 40, 70 in 100 metrov. Za dodatne analize smo v poligonu 100 metrov določili dva odseka, in sicer prvi odsek od 40 m do 70 m ter drugi odsek od 70 m do 100 m (Slika 5). Pri rezultatih merjenja se je izkazalo, da sta omenjena odseka po mojem mnenju ključna za pridobitev podatkov o tehničnih in ostalih spremembah v teku na 100 metrov, ki se dogajajo zaradi različnih nivojev specifične sprinterske vzdržljivosti pri vsakemu posamezniku. Med serijami tekov je bil natančno odmerjen odmor, ki je trajal 10 minut.



Slika 5. Protokol testiranja (Djordjević, S., Modic, Ž., Berdajs, M., Škerl, G. in Čoh, M., 2014)

Snemanje tekov je potekalo z dvema kamerama, katerih vzorčenje je bilo nastavljeno na 120 fps (frames per second). Ena kamera je bila postavljena 2 metra za hrbtom merjenca/ke na startnem položaju, kjer je snemala tek od starta do cilja (Slika 6).



Slika 6. Startna pozicija (foto: Gregor Škerl)

Druga kamera je bila postavljena pravokotno na stezo na 40 metrih teka in je snemala tek od starta do cilja iz strani (Slika 7).



Slika 7. Maksimalen tek na 100 metrov (foto: Gregor Škerl)

2.5. OBDELAVA PODATKOV

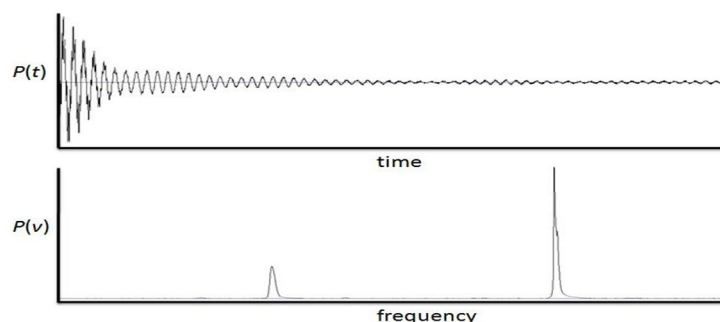
Signale, pridobljene iz senzornih sistemov SSD7 smo uredili s pomočjo programa Sensmotion. S pomočjo omenjenega programa smo signalom odrezali dele podatkov, ki niso bili uporabni za cilj diplomske naloge, in jih sinhronizirali s pomočjo videoposnetkov. Nato smo te urejene podatke izvozili v CSV obliko (z vejico ločene vrednosti). Tako so bili pripravljeni za statistično analizo v programu Microsoft Excel.

Statistična obdelava podatkov je potekala po sledečem vrstnem redu: najprej smo za vsak parameter posebej izračunali povprečje in standardni odklon iz podatkov vseh 20 atletov/inj skupaj. Izvedli smo dve ločeni analizi, in sicer prvo, analizo povprečnih vrednosti posameznih tekov, ter drugo, analizo skupnega povprečja vseh treh tekov. Nato smo uporabili program Microsoft Excel za izračun statistično značilnih sprememb med segmentoma od 40 do 70 metrov in od 70 do 100 metrov s pomočjo Studentovega t-testa za odvisne vzorce z dvosmernim testiranjem ($p < 0,05$).

Pri parametru frekvence korakov smo začeli s filtracijo podatkov, ki smo jih pridobili z izračunom parametra skupnega vektorja pospeškov. Nato pa smo s pomočjo hitre Fourierjeve transformacije (pridobljeno v programu Matlab) (glej 2.5.1.) izvedli transformacijo podatkov iz časovnega v frekvenčni prostor.

2.5.1. Fourierjeva transformacija

Hitra Fourierjeva transformacija ali t.i. FFT je vrsta Fourierjeve transformacije, ki izhaja iz diskretne Fourierjeve transformacije (DFT). Omogoča predstavitev funkcije kot neskončno vsoto sinusnih in kosinusnih funkcij, obstaja pa samo za funkcije, ki ustrezajo Dirichletovim pogojem (funkcija ima v eni periodi končno število nezveznosti, končno število ekstremov in končno povprečno vrednost). Te transformacije so imenovane po načinu, s katerim prikazujejo podatke, npr. uporabljajo kompleksna ali realna števila. Lahko spremeni signal iz originalne oblike (čas, prostor, itd.) v frekvenčno obliko in obratno. Je zapleten algoritem, ki uporablja kompleksna števila. Lahko ga uporabljamo za napoved časovnega razvoja periodičnih funkcij, odpravo šuma v signalih, uporablja pa se tudi pri mnogih aplikacijah kot pomoč za procesiranje signalov, reševanje enačb, tudi kompleksnih, in množenje velikih števil. (Slika 8)



Slika 8. Hitra Fourierjeva transformacija omogoča spremembo signala iz časovnega v frekvenčni spekter (static.giantbomb.com)

Področja časa in frekvence vsebujeta en signal, ki je sestavljen iz N kompleksnih točk. Vsaka od teh kompleksnih točk je sestavljena iz dveh števil; iz resničnega dela in navideznega dela. Torej vsaka spremenljivka vsebuje dve števili. FFT deluje tako, da razdeli N točko signala časovnega področja v N signale časovnega področja, katerega vsak je sestavljen iz ene točke. Drugi korak je izračunati N frekvenčni spekter, ki pripada N signalom časovnega področja. Nazadnje združimo N frekvenčne spektre v en frekvenčni spekter. Kadar imamo veliko množico podatkov, je zelo priporočljiva uporaba hitre Fourierjeve transformacije, saj je za en časovni red bolj ugodna od diskretne Fourierjeve transformacije (Smith, 1999).

3. REZULTATI

Rezultate smo po številu tekov razdelili v tabele, nato pa jih med seboj primerjali in prišli do ugotovitev, ki so nam pomagale pri oceni zastavljenih hipotez. Primerjali smo izbrane kinematične in dinamične parametre teka vseh 20 atletov/inj in na koncu primerjali njihove povprečne vrednosti. Dodan je bil tudi grafični prikaz analize podatkov, ki prikazuje določene trende gibanja vrednosti rezultatov.

V tabeli 1 so prikazane realne in povprečne vrednosti biodinamičnih parametrov ponovljenih sprintov na 100 metrov.

Tabela 1: Povprečne vrednosti biodinamičnih parametrov 3 maksimalnih tekov na 100 metrov

	1. tek	2. tek	3. tek	povprečje
čas teka	11,55 s	11,63 s	11,51 s	11,56 s
povprečna hitrost (0 m – 100 m)	8,74 m/s	8,69 m/s	8,77 m/s	8,73 m/s
povprečna hitrost (40 m – 70 m)	9,45 m/s	9,38 m/s	9,42 m/s	9,42 m/s
povprečna hitrost (70 m – 100 m)	8,72 m/s	8,93 m/s	8,99 m/s	8,88 m/s
skupni vektor pospeškov (40 m – 70 m)	3,24 m/s ²	3,31 m/s ²	3,34 m/s ²	3,30 m/s²
skupni vektor pospeškov (70 m – 100 m)	3,03 m/s ²	3,10 m/s ²	3,11 m/s ²	3,08 m/s²
število korakov (40 m – 70 m)	13,81 korakov	13,93 korakov	13,51 korakov	13,75 korakov
število korakov (70 m – 100 m)	14,02 korakov	14,10 korakov	13,71 korakov	13,94 korakov
dolžina korakov (40 m – 70 m)	2,18 m	2,16 m	2,23 m	2,19 m
dolžina korakov (70 m – 100 m)	2,15 m	2,14 m	2,20 m	2,16 m
frekvenca korakov (40 m – 70 m)	4,34 Hz	4,36 Hz	4,30 Hz	4,33 Hz
frekvenca korakov (70 m – 100 m)	4,27 Hz	4,25 Hz	4,26 Hz	4,26 Hz
ekvivalent mehanske učinkovitosti (40 m – 70 m)	207,31 kg/s	201,78 kg/s	204,23 kg/s	204,44 kg/s
ekvivalent mehanske učinkovitosti (70 m – 100 m)	204,73 kg/s	205,59 kg/s	208,88 kg/s	206,40 kg/s

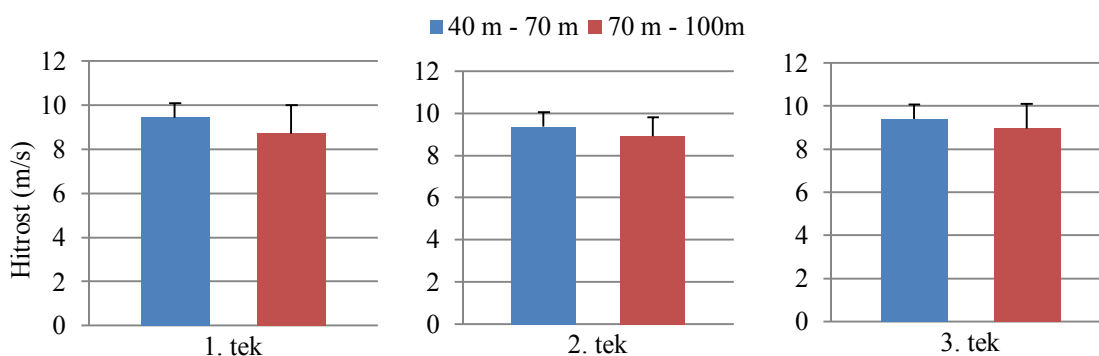
3.1. POVPREČNA HITROST

Povprečna hitrost je definirana z razdaljo, ki jo premagamo, in časom, ki smo ga rabili, da smo opravili to razdaljo, pri čemer ni pomembna smer gibanja. Za izračun povprečne hitrosti uporabljamo naslednjo formulo:

$$\bar{v} = \frac{\text{razdalja}}{\text{čas}}$$

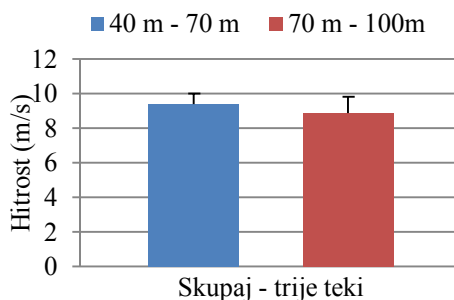
Medsebojno smo primerjali podatke za parameter povprečne hitrosti, ki je bila dosežena na segmentih 40 m – 70 m in 70 m – 100 m. Pri tem parametru smo ugotovili, da so se pojavile statistično značilne spremembe pri prvem ($p = 0,01$) in drugem teku ($p = 0,05$), pri tretjem teku pa te spremembe niso pokazale statistične značilnosti ($p = 0,07$), so pa na meji statistične značilnosti.

Slika 9 prikazuje razlike v parametru povprečne hitrosti v segmentih 40 m – 70 m in 70 m – 100 m pri vseh treh maksimalnih sprintih na 100 metrov. Grafični prikaz kaže vrednosti iz prvega teka ($(9,44 \pm 0,64)$ m/s, $(8,72 \pm 1,30)$ m/s), drugega teka ($(9,38 \pm 0,67)$ m/s, $(8,93 \pm 0,88)$ m/s) in tretjega teka ($(9,42 \pm 0,64)$ m/s, $(8,99 \pm 1,13)$ m/s). Pri prvem teku je bila razlika v hitrosti med obema segmentoma 0,73 m/s, pri drugem teku 0,45 m/s, pri tretjem teku pa je bil ta padec najmanjši, in sicer 0,43 m/s. Iz zgoraj navedenih rezultatov lahko ugotovimo, da trend padanja povprečne hitrosti narašča z razdaljo teka na 100 metrov.



Slika 9. Primerjava povprečne hitrosti vseh treh tekov po segmentih

Analiza podatkov povprečnih vrednosti vseh treh tekov skupaj dokazuje, da je prišlo do statistično značilnih sprememb ($p = 0,01$). Na sliki 10 lahko opazimo, da pride v segmentu 70 m – 100 m do padca v povprečni hitrosti za 0,56 m/s. Grafični prikaz kaže skupne vrednosti vseh treh tekov ($(9,42 \pm 0,59)$ m/s, $(8,88 \pm 0,92)$ m/s).



Slika 10. Primerjava skupnega povprečja hitrosti vseh treh tekov

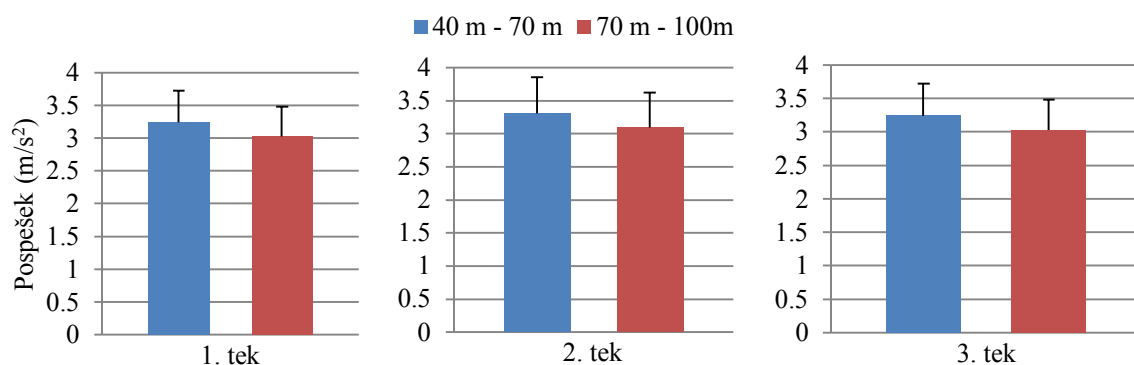
3.2. SKUPNI VEKTOR POSPEŠKOV

Skupni vektor pospeškov je spremenljivka, ki nam služi kot ocena učinkovitosti posameznega teka na podlagi podatkov, pridobljenih iz senzorskih sistemov SSD7. Iz teh podatkov je moč razbrati sile, ki se v celotnem teku pojavljajo v X, Y in Z smer. Segmenta teka, ki sta pomembna za analizo, sta od 40 m do 70 m in od 70 m do 100 m. Formula za pridobitev končnega rezultata je sledeča:

$$E_{eff} = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

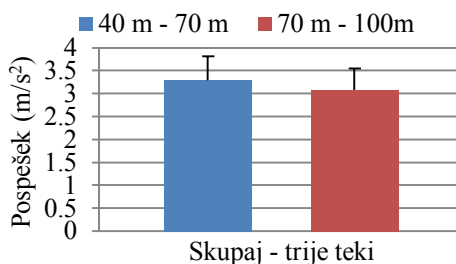
Ob analizi podatkov smo ugotovili, da je pri vseh treh tekih med obema segmentoma teka prišlo do statistično značilnih sprememb ($p = 0,00$).

Podatki na Sliki 11 prikazujejo razlike v povprečnih vrednostih skupnega vektorja pospeškov v obeh segmentih vseh treh tekov. Grafični prikaz kaže vrednosti iz prvega teka ($(3,24 \pm 0,48) \text{ m/s}^2$, $(3,03 \pm 0,45) \text{ m/s}^2$), drugega teka ($(3,31 \pm 0,55) \text{ m/s}^2$, $(3,10 \pm 0,53) \text{ m/s}^2$) in tretjega teka ($(3,24 \pm 0,48) \text{ m/s}^2$, $(3,03 \pm 0,45) \text{ m/s}^2$). V vseh treh tekih pride do padca vrednosti v segmentu 70 m – 100 m, kar dokazuje, da učinkovitost teka pada z naraščanjem razdalje teka do 100 metrov.



Slika 11. Primerjava povprečnih vrednosti skupnega vektorja pospeškov vseh treh tekov po segmentih

Povprečje vseh treh tekov pri sledečem parametru kaže, da je prišlo do statistično značilnih sprememb skupnega vektorja pospeškov ($p = 0,00$). Slika 12 prikazuje padec vrednosti povprečja skupnega vektorja pospeškov vseh treh tekov v segmentu 70 m – 100 m za $0,22 \text{ m/s}^2$. Grafični prikaz kaže skupne vrednosti vseh treh tekov ($(3,30 \pm 0,51) \text{ m/s}^2$, $(3,08 \pm 0,47) \text{ m/s}^2$).



Slika 12. Primerjava skupnega povprečja skupnega vektorja pospeškov vseh treh tekov

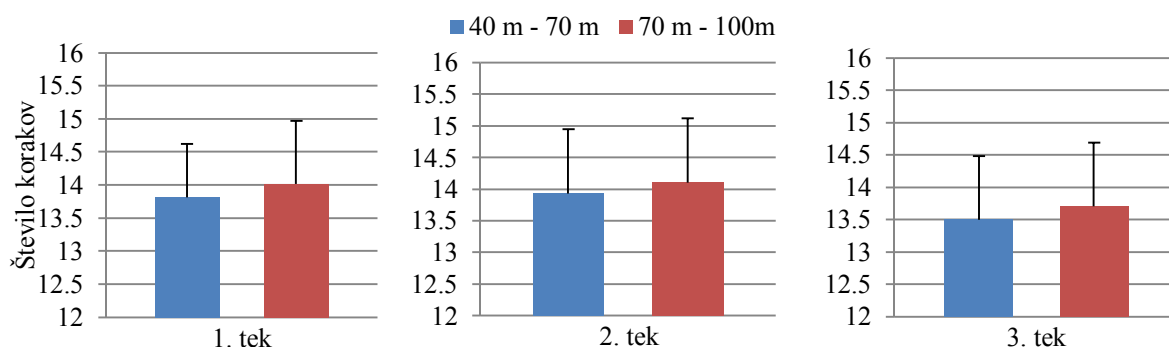
3.3. ŠTEVILO KORAKOV

Število korakov je podatek, na katerega vpliva hitrost teka. Pri večji hitrosti je število korakov manjše, nato pa se z zmanjševanjem hitrosti začne to število povečevati. Za izračun potrebujemo čas teka in frekvenco korakov v določenem segmentu. Formula je sledeča:

$$\text{število korakov} = \text{čas teka} * \text{frekvenca korakov}$$

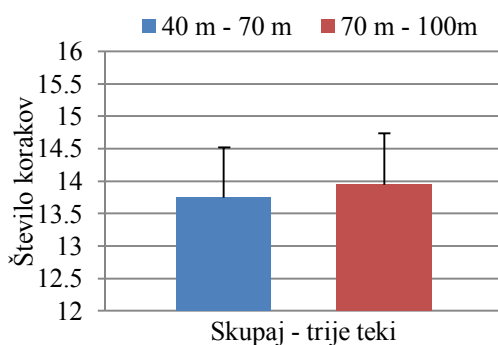
Analiza je pokazala, da je prišlo do statistično značilnih sprememb med segmentoma 40 m - 70 m in 70 m - 100 m v prvem ($p = 0,00$) in tretjem teku ($p = 0,00$). Pri drugem teku pa izračuni niso pokazali statistično značilnih sprememb ($p = 0,15$).

Iz slike 13 je, če primerjamo segmenta 40 m - 70 m in 70 m - 100 m, razvidno, da se število korakov v vseh treh sprintih povečuje. Grafični prikaz kaže vrednosti iz prvega teka ($(13,81 \pm 0,81)$ korakov, $(14,02 \pm 0,95)$ korakov), drugega teka ($(13,93 \pm 1,01)$ korakov, $(14,10 \pm 1,02)$ korakov) in tretjega teka ($(13,51 \pm 0,97)$ korakov, $(13,71 \pm 0,98)$ korakov). Razlika med obema segmentoma je bila v prvem teku 0,21 koraka, v drugem teku 0,17 koraka, v tretjem teku pa 0,20 koraka. Zanimivo pa je, da se število korakov med prvim in drugim tekom rahlo poveča, nato pa v tretjem teku pride do večjega padca.



Slika 13. Primerjava povprečnih vrednosti števila korakov vseh treh tekov po segmentih

Statistična analiza skupnega povprečja vseh treh tekov (Slika 14) prikazuje statistično značilne spremembe v parametru števila korakov ($p = 0,00$). Vrednost med segmentoma je narasla za 0,20 koraka. Grafični prikaz kaže skupne vrednosti vseh treh tekov ($(13,75 \pm 0,76)$ korakov, $(13,95 \pm 0,79)$ korakov).



Slika 14. Primerjava skupnega povprečja števila korakov vseh treh tekov

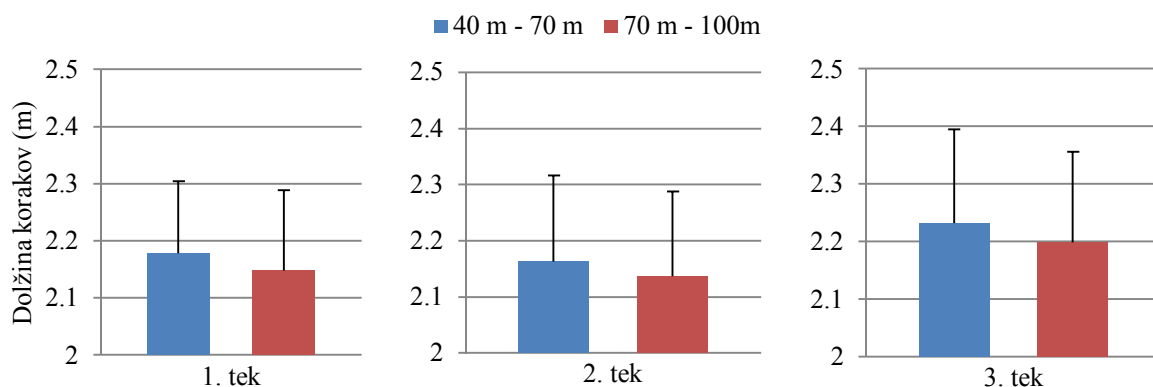
3.4. DOLŽINA KORAKOV

Tudi na dolžino koraka vpliva hitrost teka, le da je tukaj situacija ravno obratna. Namreč pri večji hitrosti je dolžina korakov daljša, s padanjem hitrosti pa se ta dolžina krajša. Podatki, ki jih rabimo za izračun, so razdalja teka in število korakov. Formula za izračun je:

$$\text{dolžina korakov} = \frac{\text{razdalja}}{\text{število korakov}}$$

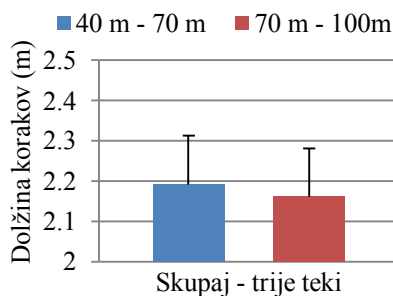
Za dolžino korakov smo pri obdelavi podatkov ugotovili, da v prvem ($p = 0,00$) in tretjem teku ($p = 0,00$) med obema segmentoma nastanejo statistično značilne razlike, v drugem teku pa ne ($p = 0,10$).

Podatki kažejo (Slika 15), da pride v segmentu teka 70 m – 100 m do padca dolžine koraka v vseh treh tekih. Dolžina koraka se med prvim in drugim tekom zmanjšuje, nato pa se v tretjem teku poveča. Grafični prikaz kaže vrednosti iz prvega teka ($(2,18 \pm 0,13)$ m, $(2,15 \pm 0,14)$ m)), drugega teka ($(2,16 \pm 0,15)$ m, $(2,14 \pm 0,15)$ m)) in tretjega teka ($(2,23 \pm 0,16)$ m, $(2,20 \pm 0,16)$ m)). Razlika med obema segmentoma je v prvem teku 0,03 m, v drugem teku 0,02 m, v tretjem teku pa 0,03 m. Ti podatki so obratnosorazmerni s podatki iz števila korakov.



Slika 15. Primerjava povprečnih vrednosti dolžine korakov vseh treh tekov po segmentih 40 m – 70 m in 70 m – 100 m

Povprečje dolžine korakov nakazuje statistično značilne spremembe v skupnem povprečju vseh treh tekov ($p = 0,00$). Na sliki 16 lahko vidimo, da pride ponovno do padca vrednosti skupnega povprečja dolžine korakov v segmentu 70 m – 100 m. Ta padec znaša 0,03 metra. Grafični prikaz kaže skupne vrednosti dolžine korakov vseh treh tekov ($(2,19 \pm 0,12)$ m, $(2,16 \pm 0,12)$ m)).



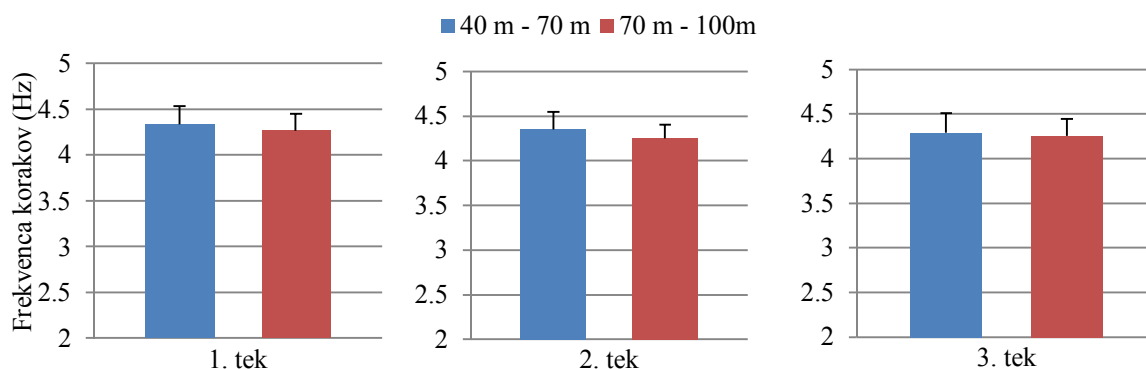
Slika 16. Primerjava skupnega povprečja dolžine korakov vseh treh tekov

3.5. FREKVENCA KORAKOV

Frekvenca korakov je odvisna od števila korakov v določenem časovnem obdobju teka. S padanjem hitrosti teka sorazmerno pada tudi frekvenca korakov. Podatke v segmentih od 40 m do 70 m in 70 m do 100 m smo pridobili tako, da smo podatke iz skupnega vektorja pospeškov ($E_{\text{eff}} = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$) filtrirali s hitro Fourierjevo transformacijo.

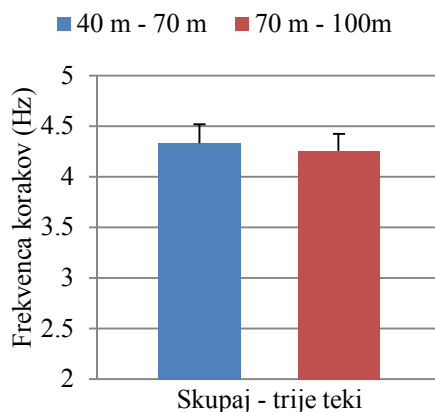
Po statistični analizi lahko ugotovimo, da razlike med obema segmentoma teka pri vseh treh tekih predstavljajo statistično značilne spremembe. Manjša razlika je opazna med prvim in drugim tekom ($p = 0,00$) ter tretjim tekom ($p = 0,01$).

Frekvenca korakov je (Slika 17) padla pri vseh tekih v odseku 2 za približno 2 %. Zanimivo je, da je bil padec najmanjši v tretjem teku, predvsem na račun nižje frekvence prvega odseka (40 m - 70 m). Grafični prikaz kaže vrednosti iz prvega teka ((4,34 ± 0,19) Hz, (4,27 ± 0,18) Hz)), drugega teka ((3,36 ± 0,19) Hz, (4,25 ± 0,15) Hz)) in tretjega teka ((4,30 ± 0,21) Hz, (4,26 ± 0,18) Hz)). Zasedili smo tudi statistično značilen padec frekvence korakov v obeh odsekih med prvim in tretjim tekom. Ta je večji pri odseku 1 kot pri odseku 2.



Slika 17. Primerjava frekvence korakov vseh treh tekov po segmentih 40 m – 70 m in 70 m – 100 m

Skupno povprečje frekvence korakov vseh treh tekov nakazuje na statistično značilne spremembe ($p = 0,00$). Slika 18 ponovno kaže na padec vrednosti frekvence korakov v segmentu 70 m – 100 m, za 0,04 Hz. Grafični prikaz kaže skupne vrednosti frekvence korakov vseh treh tekov ((4,33 ± 0,19) Hz, (4,26 ± 0,16) Hz)).



Slika 18. Primerjava skupnega povprečja frekvence korakov vseh treh tekov

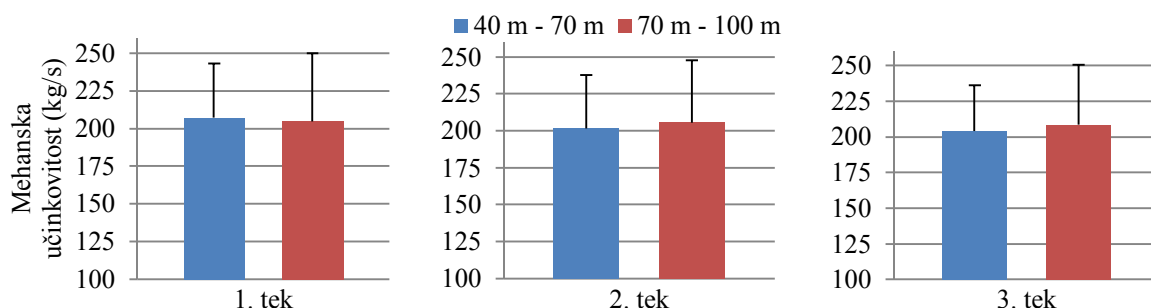
3.6. EKVIVALENT MEHANSKE UČINKOVITOSTI

Ekvivalent mehanske učinkovitosti določa učinkovitost mišičnega delovanja na podlagi povprečne hitrosti posameznega teka. Definiran je kot produkt mase posameznika in povprečne hitrosti na posameznih odsekih, deljen s skupnim vektorjem pospeška (oz. s korenom vsote kvadratov pospeškov v 3 dimenzijah). Masa je v tem primeru konstantna, druge spremenljivke pa so variabilne. Formula je sledeča:

$$M_{eff} = \frac{m \bar{v}}{E_{eff}} = \frac{m \bar{v}}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}$$

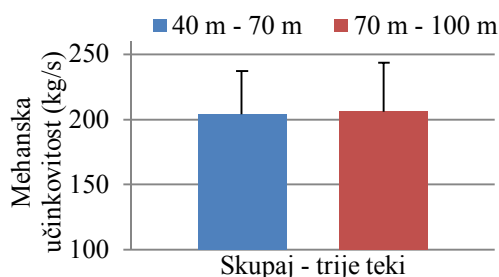
Ob analizi podatkov mišične učinkovitosti je moč ugotoviti, da ni prišlo do statistično značilnih sprememb v nobenem teku. Največja razlika se pojavi v prvem teku ($p = 0,70$), nato sledi tretji tek ($p = 0,48$), najmanjša razlika pa nastane v drugem teku ($p = 0,47$).

Slika 19 kaže, da je v prvem teku prišlo do padca vrednosti ekvivalenta mehanske učinkovitosti v segmentu 70 m - 100 m, v drugem in tretjem teku pa vrednosti v tem segmentu naraščajo. Grafični prikaz kaže vrednosti iz prvega teka ($(207,31 \pm 36,04)$ kg/s, $(204,73 \pm 45,17)$ kg/s), drugega teka ($(201,79 \pm 35,93)$ kg/s, $(205,60 \pm 42,10)$ kg/s) in tretjega teka ($(204,23 \pm 31,93)$ kg/s, $(208,88 \pm 41,51)$ kg/s). V prvem teku pade vrednost spremenljivke med obema segmentoma za 2,58 kg/s, v drugem naraste za 3,81 kg/s, v tretjem pa naraste za 4,65 kg/s.



Slika 19. Primerjava ekvivalenta mehanske učinkovitosti vseh treh tekov po segmentih

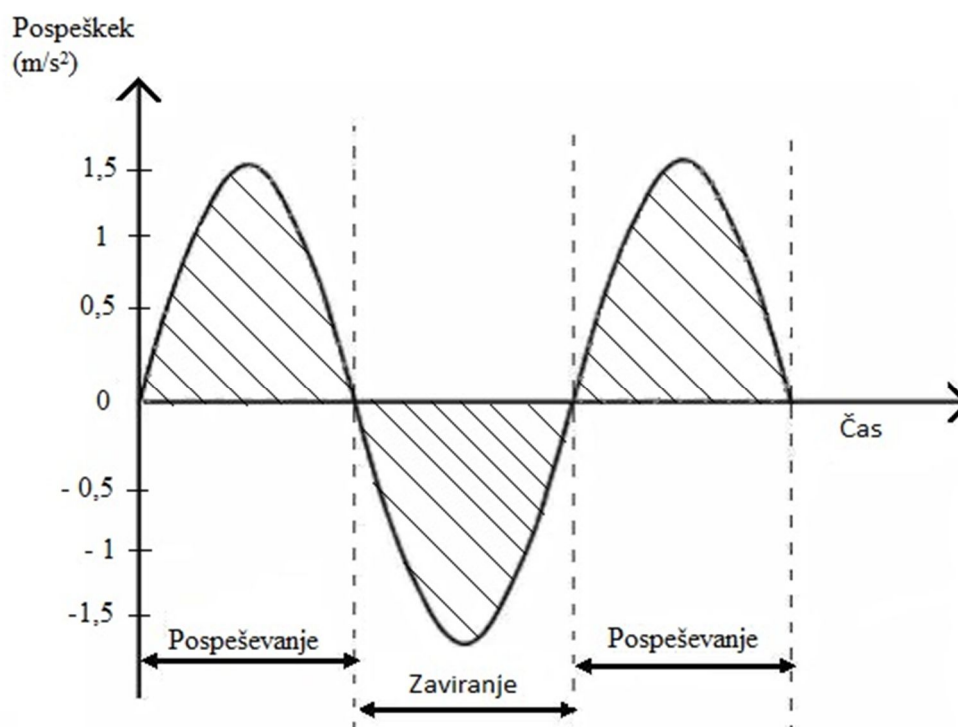
Parameter ekvivalenta mehanske učinkovitosti po statistični obdelavi skupnega povprečja vseh treh tekov nakazuje odsotnost statistično značilnih sprememb ($p = 0,67$). Za razliko od drugih parametrov pride pri mišični učinkovitosti (Slika 20) do dviga povprečnih vrednosti v segmentu teka 70 m – 100 m za 1,96 kg/s. Grafični prikaz kaže skupne vrednosti vseh treh tekov ($(204,44 \pm 32,64)$ kg/s, $(206,40 \pm 37,18)$ kg/s).



Slika 20. Primerjava skupnega povprečja ekvivalentov mehanske učinkovitosti vseh treh tekov

3.7. ANALIZA POZITIVNIH IN NEGATIVNIH POSPEŠKOV

Analizo pozitivnih in negativnih pospeškov smo naredili tako, da smo izračunali posamezne površine pozitivnih in negativnih pospeškov (Slika 21), doseženih na segmentih med 40 in 70 metri in med 70 in 100 metri, ter nato izračunali njihovo povprečje (Tabela 2). Pri tem smo morali upoštevati, da pospeški v smeri X določajo gibanja gor – dol, pospeški v Y smeri določajo gibanja levo – desno in pospeški v Z smer določajo gibanja naprej – nazaj.



Slika 21. Površina pozitivnih in negativnih pospeškov iz signala

V vseh primerih smo uporabili signal trajanja 3 sekunde iz pospeškometra, ki je bil nameščen na hrbtu. Filtracijo signala smo naredili z nizkopasovnim filtrom pri 12 Hz. Celotni interval smo razdelili na pozitivni in negativni del, ter izračunali površine. Pri X osi so bili potrebni popravki zaradi vpliva gravitacije, zato smo prišteli 1 enoto gravitacijskega pospeška.

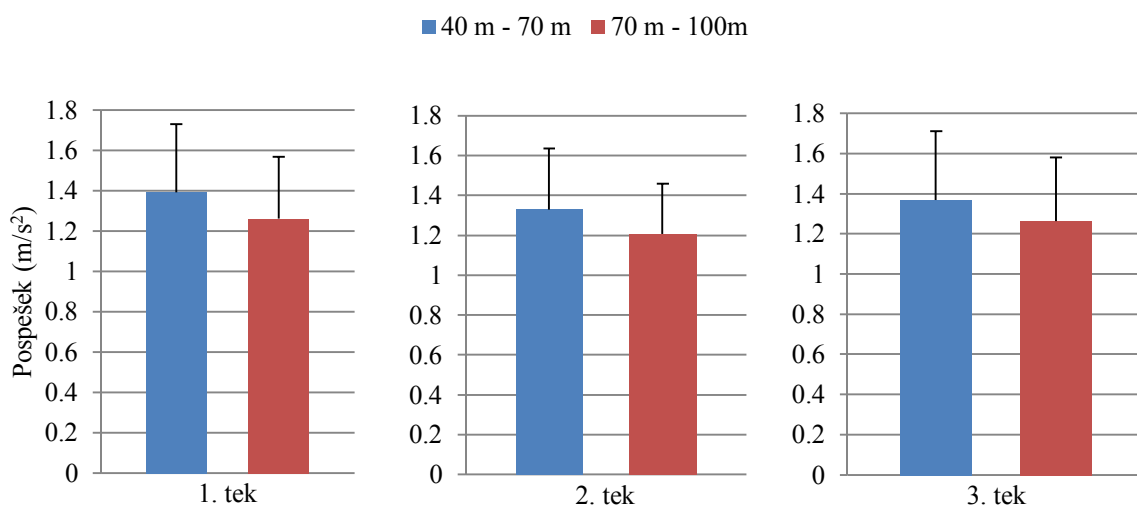
Tabela 2: Povprečne površine pospeškov (X, Y in Z smer) iz 3 maksimalnih tekov na 100 metrov

	1. tek	2. tek	3. tek	povprečje
pozitivni pospeški - X smer odseki (40 m - 70 m)	1.39 m/s ²	1.33 m/s ²	1.37 m/s ²	1.36 m/s²
pozitivni pospeški - X smer odseki (70 m - 100 m)	1.26 m/s ²	1.21 m/s ²	1.26 m/s ²	1.24 m/s²
negativni pospeški - X smer odseki (40 m - 70 m)	-1.32 m/s ²	-1.23 m/s ²	-1.33 m/s ²	-1.29 m/s²
negativni pospeški - X smer odseki (70 m - 100 m)	-1.21 m/s ²	-1.11 m/s ²	-1.20 m/s ²	-1.17 m/s²
pozitivni pospeški - Y smer odseki (40 m - 70 m)	0.86 m/s ²	0.85 m/s ²	0.87 m/s ²	0.86 m/s²
pozitivni pospeški - Y smer odseki (70 m - 100 m)	0.80 m/s ²	0.81 m/s ²	0.81 m/s ²	0.81 m/s²
negativni pospeški - Y smer odseki (40 m - 70 m)	-0.64 m/s ²	-0.60 m/s ²	-0.59 m/s ²	-0.61 m/s²
negativni pospeški - Y smer odseki (70 m - 100 m)	-0.58 m/s ²	-0.55 m/s ²	-0.54 m/s ²	-0.56 m/s²
pozitivni pospeški - Z smer odseki (40 m - 70 m)	1.20 m/s ²	1.22 m/s ²	1.16 m/s ²	1.19 m/s²
pozitivni pospeški - Z smer odseki (70 m - 100 m)	1.01 m/s ²	0.98 m/s ²	0.97 m/s ²	0.99 m/s²
negativni pospeški - Z smer odseki (40 m - 70 m)	-1.41 m/s ²	-1.46 m/s ²	-1.40 m/s ²	-1.42 m/s²
negativni pospeški - Z smer odseki (70 m - 100 m)	-1.26 m/s ²	-1.33 m/s ²	-1.26 m/s ²	-1.28 m/s²

3.7.1. Povprečne vrednosti površin pozitivnih pospeškov v X smer

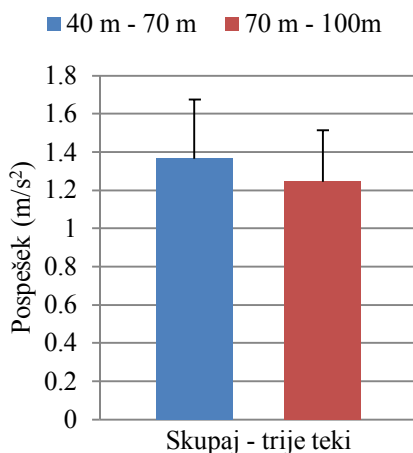
Statistična obdelava je pokazala, da so spremembe v vseh treh tekih statistično značilne ($p < 0,05$). Statistične vrednosti vseh treh tekov so enake ($p = 0,00$).

Slika 22 prikazuje padanje vrednosti pozitivnih pospeškov (X smer) v segmentu 70 m – 100 m, v vseh treh tekih. Grafični prikaz kaže vrednosti iz prvega teka ($(1,39 \pm 0,34) \text{ m/s}^2$, $(1,26 \pm 0,30) \text{ m/s}^2$), drugega teka ($(1,33 \pm 0,31) \text{ m/s}^2$, $(1,21 \pm 0,25) \text{ m/s}^2$) in tretjega teka ($(1,37 \pm 0,34) \text{ m/s}^2$, $(1,26 \pm 0,32) \text{ m/s}^2$). V prvem teku pade vrednost za $0,13 \text{ m/s}^2$, v drugem teku za $0,12 \text{ m/s}^2$ in v tretjem teku za $0,11 \text{ m/s}^2$. Vrednosti v segmentu 40 m – 70 m so največje v prvem teku ($1,39 \text{ m/s}^2$), najmanjše pa v drugem teku ($1,33 \text{ m/s}^2$).



Slika 22. Primerjava povprečnih vrednosti površin signala pozitivnih pospeškov vseh treh tekov po segmentih (smer X)

Statistična obdelava skupnega povprečja vseh treh tekov prikazuje statistično značilne spremembe ($p = 0,00$). Iz slike 23 lahko ugotovimo padec povprečnih vrednosti v segmentu 70 m – 100 m, za $0,12 \text{ m/s}^2$. Grafični prikaz kaže skupne vrednosti vseh treh tekov ($(1,37 \pm 0,31) \text{ m/s}^2$, $(1,25 \pm 0,27) \text{ m/s}^2$).

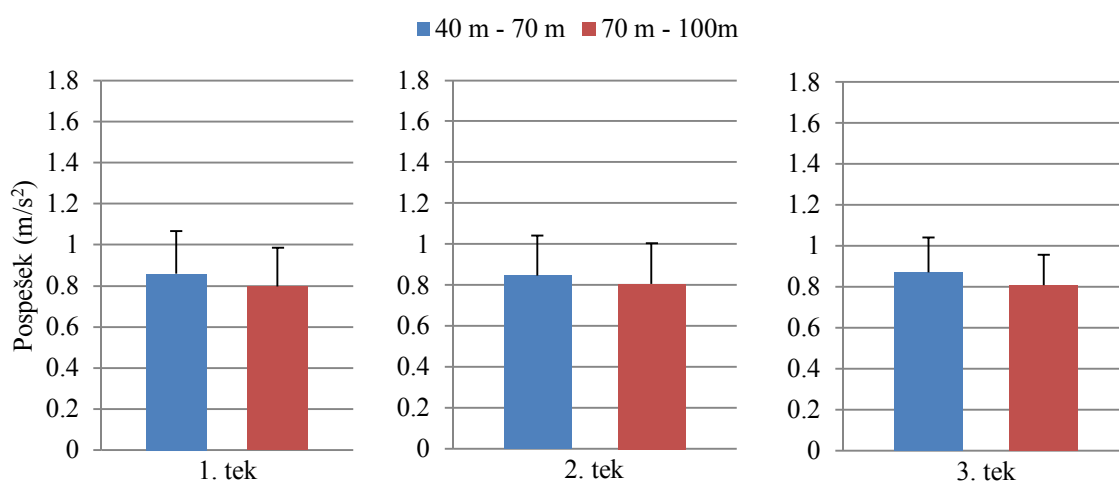


Slika 23. Primerjava skupnega povprečja pozitivnih pospeškov vseh treh tekov v smeri X

3.7.2. Povprečne vrednosti površin pozitivnih pospeškov v Y smer

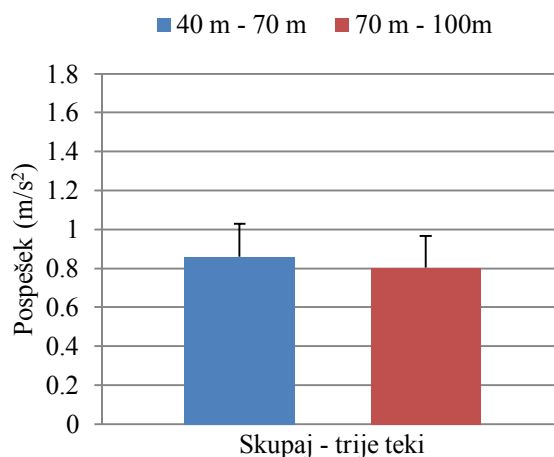
Z obdelavo podatkov smo ugotovili, da povprečne vrednosti pozitivnih pospeškov (Y smer) v prvem ($p = 0,00$), drugem ($p = 0,04$) in tretjem teku ($p = 0,00$) kažejo statistično značilne spremembe.

Slika 24 prikazuje padec povprečnih vrednosti pozitivnih pospeškov (Y smer) v vseh treh tekih v segmentu 70 m – 100 m. Grafični prikaz kaže vrednosti iz prvega teka ($(0,86 \pm 0,21) \text{ m/s}^2$, $(0,80 \pm 0,19) \text{ m/s}^2$), drugega teka ($(0,85 \pm 0,19) \text{ m/s}^2$, $(0,81 \pm 0,20) \text{ m/s}^2$) in tretjega teka ($(0,87 \pm 0,17) \text{ m/s}^2$, $(0,81 \pm 0,15) \text{ m/s}^2$). Padec v prvem teku je $0,06 \text{ m/s}^2$, v drugem teku $0,04 \text{ m/s}^2$ in v tretjem teku $0,06 \text{ m/s}^2$. Največje vrednosti v segmentu 40 m – 70 m lahko opazimo v tretjem teku ($0,86 \text{ m/s}^2$), najmanjše pa v drugem teku ($0,85 \text{ m/s}^2$).



Slika 24. Primerjava povprečnih vrednosti površin signala pozitivnih pospeškov vseh treh tekov po segmentih (smer Y)

Statistično značilne spremembe pozitivnih pospeškov (Y smer) so dokazane tudi v skupnem povprečju vseh treh tekov ($p = 0,00$). Padec povprečnih vrednosti (Slika 25) v segmentu 70 m – 100 m znaša $0,06 \text{ m/s}^2$. Grafični prikaz kaže skupne vrednosti vseh treh tekov ($(0,86 \pm 0,17) \text{ m/s}^2$, $(0,80 \pm 0,16) \text{ m/s}^2$).

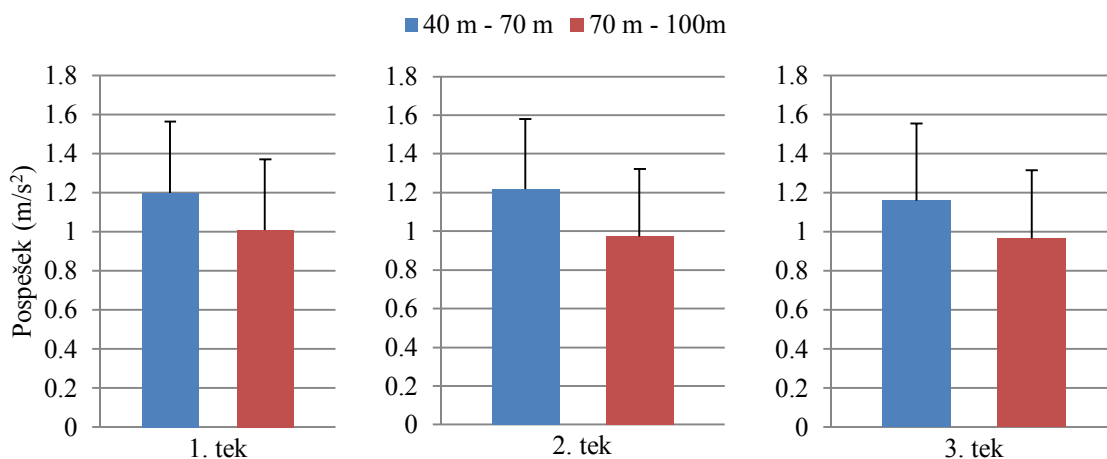


Slika 25. Primerjava skupnega povprečja pozitivnih pospeškov vseh treh tekov v smer Y

3.7.3. Povprečne vrednosti površin pozitivnih pospeškov v Z smer

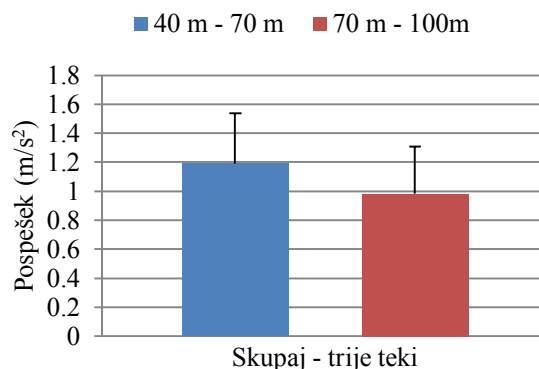
Pri pozitivnih pospeških v Z smer smo s statistično obdelavo ugotovili, da je pri vseh treh tekih prišlo do statistično značilnih sprememb ($p = 0,00$).

V vseh treh tekih (Slika 26) pride do padca vrednosti v segmentu 70 m – 100 m. Grafični prikaz kaže povprečne vrednosti pozitivnih pospeškov (Z smer) iz prvega teka ($(1,20 \pm 0,37) \text{ m/s}^2$, $(1,01 \pm 0,36) \text{ m/s}^2$), drugega teka ($(1,22 \pm 0,36) \text{ m/s}^2$, $(0,98 \pm 0,35) \text{ m/s}^2$) in tretjega teka ($(1,16 \pm 0,39) \text{ m/s}^2$, $(0,97 \pm 0,35) \text{ m/s}^2$). V prvem teku znaša padec $0,19 \text{ m/s}^2$, v drugem teku $0,24 \text{ m/s}^2$, v tretjem teku pa $0,19 \text{ m/s}^2$. Največjo vrednost v segmentu 40 m – 70 m opazimo v drugem teku ($1,22 \text{ m/s}^2$), najmanjšo vrednost pa opazimo v tretjem teku ($1,16 \text{ m/s}^2$). Največjo vrednost v segmentu 70 m – 100 m opazimo v prvem teku ($1,01 \text{ m/s}^2$), najmanjšo vrednost pa opazimo v tretjem teku ($0,97 \text{ m/s}^2$).



Slika 26. Primerjava povprečnih vrednosti površin signala pozitivnih pospeškov vseh treh tekov po segmentih (smer Z)

Na podlagi statistične obdelave skupnega povprečja vrednosti pozitivnih pospeškov (Z smer) vseh treh tekov lahko ugotovimo, da pride do statistično značilnih sprememb ($p = 0,00$). Slika 27 prikazuje padec vrednosti skupnega povprečja v segmentu 70 m – 100 m ($0,21 \text{ m/s}^2$). Grafični prikaz kaže skupne vrednosti vseh treh tekov ($(1,19 \pm 0,34) \text{ m/s}^2$, $(0,98 \pm 0,32) \text{ m/s}^2$).

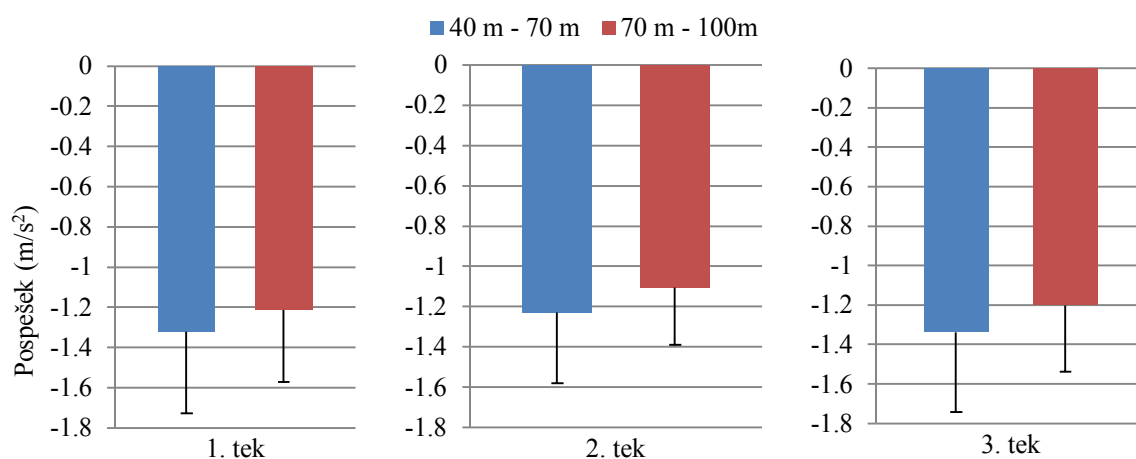


Slika 27. Primerjava skupnega povprečja pozitivnih pospeškov vseh treh tekov v smeri Z

3.7.4. Povprečne vrednosti površin negativnih pospeškov v X smer

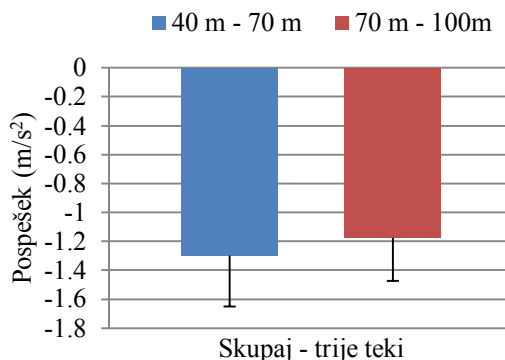
Statistična analiza je pokazala, da je bilo moč pri vseh tekih opaziti statistično značilne spremembe med obema segmentoma teka. Poznamo povprečne vrednosti negativnih pospeškov (X smer) prvega ($p = 0,00$), drugega ($p = 0,00$) in tretjega teka ($p = 0,01$).

Slika 28 prikazuje padec povprečnih vrednosti negativnih pospeškov (X smer) v segmentu 70 m – 100 m v vseh treh tekih. Grafični prikaz kaže vrednosti iz prvega teka ($(-1,32 \pm 0,41) \text{ m/s}^2$, $(-1,21 \pm 0,36) \text{ m/s}^2$), drugega teka ($(-1,23 \pm 0,35) \text{ m/s}^2$, $(-1,10 \pm 0,28) \text{ m/s}^2$) in tretjega teka ($(-1,34 \pm 0,41) \text{ m/s}^2$, $(-1,20 \pm 0,34) \text{ m/s}^2$). Padec povprečnih vrednosti za prvi tek je $0,11 \text{ m/s}^2$, za drugi tek $0,13 \text{ m/s}^2$, za tretji tek pa $0,14 \text{ m/s}^2$. Največjo vrednost v segmentu 40 m - 70 m lahko ugotovimo v tretjem teku ($1,34 \text{ m/s}^2$), najmanjšo vrednost pa v drugem teku ($1,23 \text{ m/s}^2$). Največjo vrednost v segmentu 70 m – 100 m lahko ugotovimo v prvem teku ($1,21 \text{ m/s}^2$), najmanjšo pa v drugem teku ($1,10 \text{ m/s}^2$).



Slika 28. Primerjava povprečnih vrednosti površin signala negativnih pospeškov vseh treh tekov po segmentih (smer X)

Pri primerjavi skupnega povprečja vrednosti negativnih pospeškov (X smer) vseh treh tekov lahko s statistično obdelavo ugotovimo, da pride do statistično značilnih sprememb ($p = 0,00$). Slika 29 nakazuje na padec vrednosti v segmentu 70 m – 100 m, za $0,13 \text{ m/s}^2$. Grafični prikaz kaže skupne vrednosti vseh treh tekov ($(-1,30 \pm 0,35) \text{ m/s}^2$, $(-1,17 \pm 0,30) \text{ m/s}^2$).

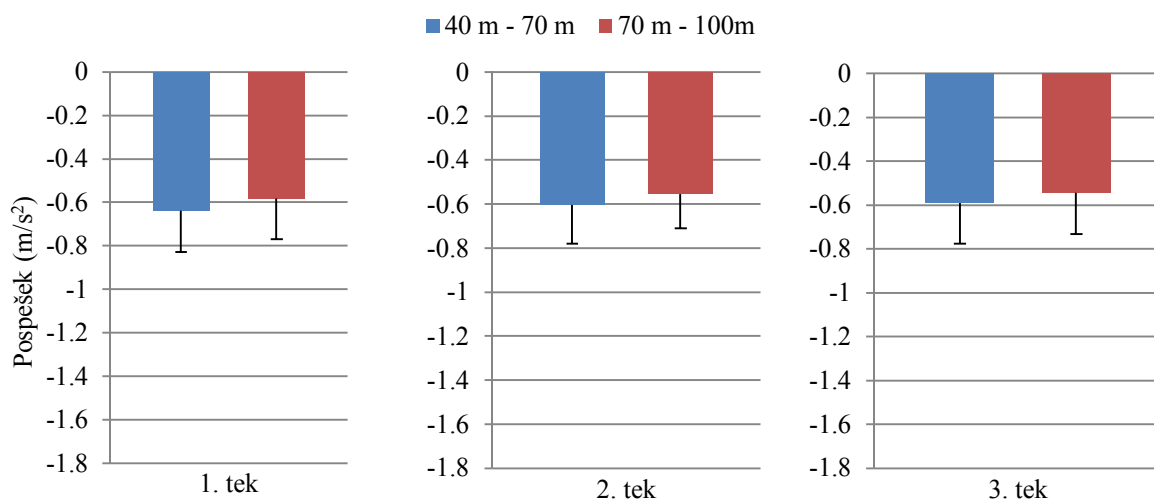


Slika 29. Primerjava skupnega povprečja negativnih pospeškov vseh treh tekov v smeri X

3.7.5. Povprečne vrednosti površin negativnih pospeškov v Y smer

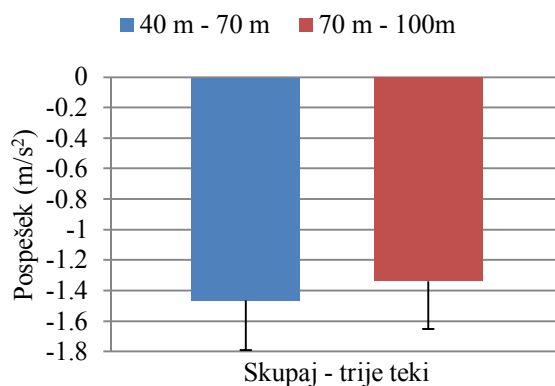
Statistično značilne spremembe povprečnih vrednosti negativnih pospeškov (Y smer) se pojavijo pri primerjavi segmentov 40 m – 70 m in 70 m – 100 m v prvem ($p = 0,00$), drugem ($p = 0,03$) in tretjem teku ($p = 0,00$).

Slika 30 grafično prikazuje padec povprečnih vrednosti v segmentu 70 m – 100 m. Grafični prikaz kaže vrednosti iz prvega teka ($(-0,64 \pm 0,19) \text{ m/s}^2$, $(-0,58 \pm 0,19) \text{ m/s}^2$), drugega teka ($(-0,60 \pm 0,18) \text{ m/s}^2$, $(-0,55 \pm 0,16) \text{ m/s}^2$) in tretjega teka ($(-0,59 \pm 0,19) \text{ m/s}^2$, $(-0,54 \pm 0,19) \text{ m/s}^2$). V prvem teku znaša ta padec $0,06 \text{ m/s}^2$, v drugem teku in tretjem teku pa $0,05 \text{ m/s}^2$. Največja vrednost v segmentu 40 m – 70 m je opazna v prvem teku ($-0,64 \text{ m/s}^2$), najmanjša pa v tretjem teku ($-0,59 \text{ m/s}^2$). Največja vrednost v segmentu 70 m – 100 m je opazna v prvem teku ($-0,58 \text{ m/s}^2$), najmanjša pa v tretjem teku ($-0,54 \text{ m/s}^2$).



Slika 30. Primerjava povprečnih vrednosti površin signala negativnih pospeškov vseh treh tekov po segmentih (smer Y)

Statistična obdelava skupnega povprečja vrednosti negativnih pospeškov (Y smer) vseh treh tekov nakazuje na statistično značilne spremembe ($p = 0,000$). Slika 31 prikazuje padec vrednosti v segmentu 70 m – 100 m, za $0,05 \text{ m/s}^2$. Grafični prikaz kaže skupne vrednosti vseh treh tekov ($(-1,46 \pm 0,15) \text{ m/s}^2$, $(-1,34 \pm 0,14) \text{ m/s}^2$).

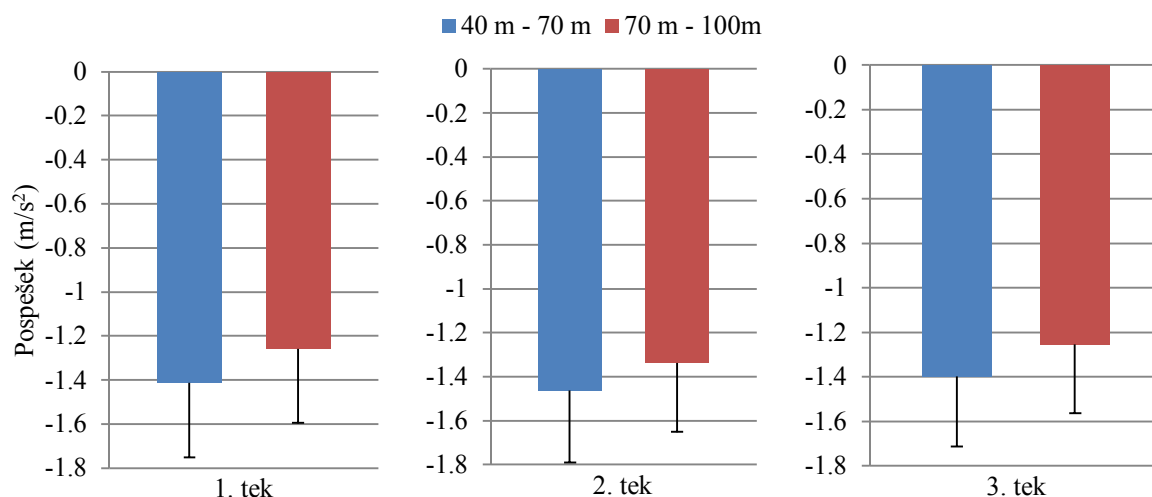


Slika 31. Primerjava skupnega povprečja negativnih pospeškov vseh treh tekov v smeri Y

3.7.6. Povprečne vrednosti površin negativnih pospeškov v Z smer

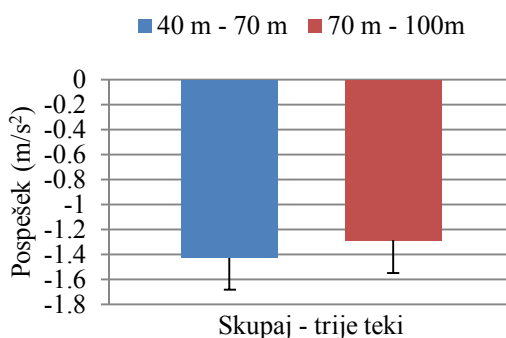
Pri pregledu statističnih podatkov povprečnih vrednosti negativnih pospeškov (Z smer) lahko ugotovimo, da pride do statistično značilnih sprememb v vseh treh tekih ($p = 0,00$).

Slika 32 grafično prikazuje povprečne vrednosti negativnih pospeškov (Z smer) vseh treh tekov, razdeljenih po segmentih 40 m – 70 m in 70 m – 100 m. Vidno je, da pride do padca vrednosti v segmentu 70 m – 100 m. Grafični prikaz kaže vrednosti iz prvega teka ($(-1,41 \pm 0,34) \text{ m/s}^2$, $(-1,26 \pm 0,34) \text{ m/s}^2$), drugega teka ($(-1,46 \pm 0,33) \text{ m/s}^2$, $(-1,34 \pm 0,32) \text{ m/s}^2$) in tretjega teka ($(-1,40 \pm 0,32) \text{ m/s}^2$, $(-1,25 \pm 0,31) \text{ m/s}^2$). Padec teh vrednosti je v prvem in tretjem teku $0,15 \text{ m/s}^2$, v drugem teku pa $0,12 \text{ m/s}^2$. Največja vrednost v segmentu 40 m – 70 m je v drugem teku ($-1,46 \text{ m/s}^2$), najmanjša vrednost pa v tretjem teku ($-1,40 \text{ m/s}^2$). Največja vrednost v segmentu 70 m – 100 m je v drugem teku ($-1,34 \text{ m/s}^2$), najmanjša vrednost pa v tretjem teku ($-1,25 \text{ m/s}^2$).



Slika 32. Primerjava povprečnih vrednosti površin signala negativnih pospeškov vseh treh tekov po segmentih (smer Z)

Primerjava skupnega povprečja vseh treh tekov s statistično obdelavo povprečnih vrednosti negativnih pospeškov (Z smer) dokazuje obstoj statistično značilnih sprememb ($p = 0,00$). Slika 33 prikazuje padec vrednosti v segmentu 70 m – 100 m. Ta padec znaša $0,24 \text{ m/s}^2$. Grafični prikaz kaže skupne vrednosti vseh treh tekov ($(-1,42 \pm 0,26) \text{ m/s}^2$, $(-1,28 \pm 0,26) \text{ m/s}^2$).



Slika 33. Primerjava skupnega povprečja negativnih pospeškov vseh treh tekov v smeri Z

4. RAZPRAVA

Namen diplomske naloge je bil s pomočjo tridimenzionalnih pospeškometrov in natančnega merjenja časa ugotoviti statistično značilne spremembe v sprintih, na podlagi sprememb v biodinamičnih parametrih. Pri maksimalnem teku na 100 metrov se vidijo spremembe v zadnjem delu faze teka med 70 in 100 m. V tem delu ne prihaja več do občutnega pospeševanja hitrosti teka. Ko spremljamo končne rezultate vseh treh tekov, ni opaziti statistično značilnih razlik, ki bi nakazovale na viden vpliv utrujanja. Če pa opazujemo spremembe v biomehaniki teka med posameznimi teki kot tudi znotraj odsekov teka, pa lahko ugotovimo, da prihaja do določenih statistično značilnih razlik v biodinamičnih parametrih.

Prva spremenljivka, ki smo ji posvetili pozornost in ima vpliv na končni rezultat teka, je povprečna hitrost. Visoke vrednosti povprečne hitrosti nakazujejo na višjo maksimalno hitrost in daljše vzdrževanje le-te skozi maksimalen tek na 100 metrov. Ob statistični obdelavi podatkov, ki smo jih pridobili, lahko ugotovimo, da so se statistično značilne spremembe pojavile v prvih dveh tekih, v tretjem teku pa se le-te niso pojavile. Iz grafičnih prikazov lahko ugotovimo in potrdimo, da gre v segmentu teka 70 m – 100 m za pojav faze deceleracije oziroma padanja maksimalne hitrosti. V vseh treh maksimalnih tekih, ki smo jih opravili na naših testiranjih, lahko v tem segmentu ugotovimo padec povprečnih vrednosti.

Skupni vektor pospeškov je spremenljivka, katere podatke smo pridobili s pomočjo MEMS tehnologije. Ta spremenljivka nam pove, kakšna je učinkovitost teka. Iz podatkov, ki smo jih pridobili iz pospeškometrov, je razvidno, kakšne sile (v X, Y in Z smer) se proizvajajo v času maksimalnega teka na 100 metrov. S statistično analizo smo prišli do zaključka, da je pri vseh treh tekih prišlo do statistično značilnih sprememb. Nakazuje tudi na vidne razlike med obema ciljnim segmentoma teka. Ponovno se pojavi padec povprečnih vrednosti v zadnjem segmentu.

Če uporabimo podatke povprečne hitrosti na določenem odseku in jo množimo z maso posameznika ter nato delimo z vrednostjo skupnega vektorja pospeškov na tem segmentu, dobimo približek t.i. ekvivalenta mehanske učinkovitosti. S podatki o hitrosti, masi (ta je edina konstantna) in pospeških, ki gredo v različne smeri (X, Y in Z) lahko ugotovimo, kako mišica racionalno premaguje nek določen napor. S pomočjo statistične analize smo ugotovili, da nobena izmed vrednosti iz vseh treh tekov ni pokazala statistično značilnih sprememb. Opaženo je bilo, da se povprečne vrednosti v prvem teku razlikujejo od vrednosti iz drugega in tretjega teka. V prvem teku je bilo moč zaslediti padec vrednosti v segmentu 70 m – 100 m, v ostalih dveh tekih je bilo opaženo naraščanje vrednosti. To si lahko razložimo s tem, da se v prvem teku mišice, ki sodelujejo pri teku, še niso tako dobro aktivirale in s tem povzročile padec učinkovitosti delovanja mišic v segmentu 70 m – 100 m. V ostalih dveh tekih pa je nato sledila boljša aktivacija in s tem tudi večja učinkovitost mišic.

Število korakov in dolžina korakov sta obratno sorazmerni spremenljivki. Ob naraščanju hitrosti pride do padanja števila korakov in naraščanja dolžine korakov. Pri padanju hitrosti je

ta slika ravno obratna. Ob statistični analizi smo ugotovili, da je prišlo pri obeh spremenljivkah do statistično značilnih sprememb v prvem in tretjem teku, v drugem teku pa do le-teh ni prišlo. Glede na obratno sorazmernost teh dveh spremenljivk smo ugotovili zmanjšanje dolžine korakov in naraščanje števila korakov v segmentu teka med 70 m in 100 m, kar nakazuje na zmanjšanje hitrosti.

Podroben pregled rezultatov meritev nakazuje na statistično značilne spremembe v frekvenci korakov. Ugotoviti je mogoče, da prihaja do zmanjšanja frekvence korakov v zadnjem odseku med 70 in 100 metri. Zmanjšanje hitrosti v zadnjih fazah teka na 100 metrov je posledica padca frekvence korakov. Sprinterji/ke ponavadi padec frekvence korakov začnejo kompenzirati s podaljševanjem dolžine koraka, kar pa postopoma vodi v zmanjšanje hitrosti teka. Pri primerjavi vrednosti frekvenc teka vseh treh tekov je mogoče potegniti vzporednice med 1. in 3. tekom. Pri vseh treh tekih vrednosti frekvence korakov padajo.

Padec frekvence se pripisuje spremembam reda rekrutacije in frekvenci proženja električnih potencialov alfa-motoričnih nevronov. Nevralni dejavniki imajo zelo velik vpliv pri nastanku utrujanja med maksimalnim tekom na 100 metrov (Ross idr., 2001). Na podlagi raziskav (Miller, Moussavi, Green, Carson in Weiner, 1993) je znano, da se večina sprememb, ki so akutnega nevralnega izvora, izraža na hitrih (FT – fast-twitch) motoričnih enotah, ki imajo kratek čas krčenja in visoko hitrost prenašanja impulzov.

Na podlagi nekaterih študij lahko potrdimo povezavo med togostjo mišično tetivnega kompleksa in razvojem, ter vzdrževanjem maksimalne hitrosti teka (Locatelli, 1996). Pomembno vlogo pri tej povezavi igra miotatični refleks s kratko zakasnitvijo.

Tehnologija MEMS nam je omogočila analizo signalov iz vsakega teka. Iz te analize je razvidno, kako so bile razporejene sile pospeškov med celotnim tekom. Zaradi boljše preglednosti smo ločeno analizirali pozitivne in negativne površine pospeškov. S statistično analizo smo ugotovili, da je pri primerjavi površin vseh signalov med segmentoma 40 m – 70 m in 70 m – 100 m prišlo do statistično značilnih sprememb. Iz podatkov sodeč lahko ugotovimo, da je opazna razlika v vrednostih med površinami pospeškov, ki delujejo v smeri gor – dol (X) in naprej – nazaj (Z), s površinami pospeškov, ki delujejo v smeri levo – desno (Y). Ta razlika je pričakovana, saj kakršno koli povečano gibanje v smeri levo – desno ovira prenos sil v smeri maksimalnega teka. Ugotovili smo tudi, da je pri vseh treh sprinterskih tekih prišlo do padca vrednosti pospeška v segmentu teka 70 m – 100 m v vseh treh smereh.

Ob analizi sprememb v parametrih med posameznimi teki smo naredili tudi analizo skupnih povprečij vseh treh tekov, vezanih na vse parametre, ki so bili cilj raziskave. S pomočjo Studentovega T-testa smo ugotovili, da je prišlo pri vseh parametrih (razen mišične učinkovitosti) do statistično značilnih sprememb. Opaziti je mogoče tudi standardno spremembo vrednosti v segmentu teka od 70 metrov do 100 metrov.

Analiza vseh parametrov torej nakazuje na statistično značilne spremembe med segmentoma 40 m – 70 m in 70 m – 100 m. Na podlagi tega lahko ugotovimo, da obstajajo dokazi za nastanek utrujenosti in to predvsem centralne komponente utrujanja.

Centralna komponenta utrujanja je pri padcu hitrosti maksimalnega teka torej nedvomno prisotna. Razloge za nastanek centralne komponente utrujanja pri maksimalno hitrem teku lahko iščemo tudi v ekstremno visoki aktivaciji živčevja, ki je del takšnega tipa obremenitve. Mesto, kjer centralno utrujanje nastane, je zelo težko določiti, ker je vzrok za utrujenost potrebno poiskati na več mestih:

- izguba vzdraženosti na predsinalptični ravni;
- depresija proženja motoričnih nevronov;
- supraspinalne spremembe;
- segmentarno aferentno zaviranje.

Glede na predmet, problem in cilj diplomske naloge smo zastavili hipotezo, da z uporabo tridimenzionalnih pospeškometrov in natančnim merjenjem časa lahko ugotovimo spremembe biodinamičnih parametrov, ki ključno vplivajo na spremembo hitrosti teka (frekvenca koraka, povprečna dolžina koraka, število korakov, skupni vektor pospeškov, povprečna hitrost, ekvivalent mehanske učinkovitosti in povprečne površine pozitivnih in negativnih pospeškov (smer X, Y in Z)) v odsekih 40 m – 70 m in 70 m – 100 m, pri ponovljenih maksimalnih sprintih na 100 m (3 x 100 m), ob konstantnem odmoru. Ugotovili smo, da so se v skoraj vseh biodinamičnih parametrih pokazale statistično značilne spremembe med segmentoma 40 m – 70 m in 70 m – 100 m ($p < 0,05$). Edini parameter, kjer se statistično značilne spremembe ne pokažejo, je t.i. ekvivalent mehanske učinkovitosti. Hipotezo 1 lahko delno potrdimo.

Glede na predmet, problem in cilj diplomske naloge smo zastavili hipotezo, da je z uporabo istih tehnologij možno spremljati spremembo biodinamičnih parametrov (frekvenca koraka, povprečna dolžina koraka, število korakov, skupni vektor pospeškov, povprečna hitrost, ekvivalent mehanske učinkovitosti in povprečne površine pozitivnih in negativnih pospeškov (smer X, Y in Z)) med tremi serijami maksimalnih sprintov na 100 m, v odsekih 40 m - 70 m in 70 m – 100 m, pri konstantnem odmoru. Med posameznimi serijami ponovljenih sprintov na 100 m pride v določenih parametrih v nekaterih tekih do sprememb, ki niso pokazale statistične značilnosti. Ostaja pa več kot polovico takih, pri katerih je prišlo do statistično značilnih sprememb. Hipotezo 2 lahko delno potrdimo.

5. SKLEP

Sprint na 100 metrov je napor, pri katerem vzorec gibanja narekuje tudi nastanek specifične oblike utrujanja, katere razlog je pomanjkanje hitrostne vzdržljivosti. Na uspešno izvedbo sprinta vpliva veliko število dejavnikov in biodinamičnih parametrov. Namen diplomske naloge je bil ugotoviti, ali med sprintom na 100 metrov pride do specifične sprinterske oblike utrujenosti. Ob predpostavki, da do nje pride, smo morali ugotoviti, v katerem delu teka le-ta nastane. Zato smo za predmet diplomske naloge vzeli dva segmenta; razdaljo sprinta od 40 do 70 metrov in od 70 do 100 metrov ter na njih opazovali spremembe v biodinamičnih parametrih.

Pri merjenju je sodelovalo 20 atletov/inj. Vsak merjenec/ka je opravil tri maksimalne teke na 100 metrov. Med vsakim tekom je bil vnaprej določen čas za regeneracijo oziroma počitek, ki je bil dolg 10 minut. Meritev vsakega teka je potekala s pomočjo dveh kamer; ena je bila postavljena za hrbet merjenca/ke, druga pa pravokotno na območje, kjer je merjenje potekalo. Poleg tega smo uporabili fotocelice za merjenje časa, ki smo jih postavili na 0, 40, 70 in 100 metrov, ter tri senzorske sisteme SSD7, ki so bili nameščeni en na ledveni del hrbta (med S1 in L5), druga dva pa na oba narta merjenca/ke. Za analizo rezultatov smo si pomagali s programi Microsoft Excel, Matlab in Sensmotion.

Na podlagi statistične analize rezultatov merjenj smo prišli do spoznanja, da je možno zaznati statistično značilne spremembe v skoraj vseh biodinamičnih parametrih, pri primerjavi povprečnih rezultatov posameznih tekov in skupnega povprečja vseh treh tekov. Iz tega spoznanja je mogoče potrditi nastanek specifične sprinterske oblike utrujenosti v segmentu med 70 in 100 metri. Grafični prikazi namreč kažejo na biodinamične spremembe v vseh treh ponovljenih sprintih na 100 metrov. Edini parameter, kjer lahko v celoti ovržemo statistično značilne spremembe, je mišična učinkovitost. Iz analize rezultatov različnih parametrov je mogoče ugotoviti tudi pomankljivosti v tehničnih komponentah sprinterskega teka, kar nam omogoča, da s pomočjo procesa treninga te pomankljivosti odpravimo.

Metodološko je dostop do informacij, ki prikazujejo izvor sprememb za pojav utrujenosti v točno določenem času, zelo omejen, saj ponavadi spremembe potekajo istočasno. Na podlagi meritev, ki so predmet moje diplomske naloge, lahko ugotovimo, da z uporabo miniaturnih biosenzorskih sistemov odpiramo možnost bolj natančnim in poglobljenim študijam na temo pojava utrujenosti pri maksimalno intenzivnih sprintih na 100 metrov. Ravno v vzrokih za nastanek specifične sprinterske hitrostne utrujenosti se skriva odgovor, s pomočjo katerega lahko dosežemo željeno adaptacijo na višji ravni, v povezavi z bolj učinkovito tehniko teka. Z združitvijo teh dveh komponent dobimo večjo stabilnost in varnost znotraj gibalnega vzorca, s tem pa tudi zmanjšamo tveganje za nastanek poškodb.

Utrujenost, ki temelji na nevrolni komponenti, se pojavi pri maksimalno intenzivnih obremenitvah znotraj nekaj sekund maksimalnega napora. Verjetnost je, da zaradi močne rekrutacije hitrih mišičnih vlaken pri sprintu pride do povečane stopnje akutne nevroalne komponente utrujanja, ki se kaže kot zmanjšanje aktivacije, še posebej v zadnjem delu

maksimalnega sprinta na 100 metrov. Akutna utrujenost med sprintom bi lahko imela nevralno komponento utrujanja, ki bi se kazala skozi metabolične spremembe v mišici. Dolgotrajna utrujenost, ki nastane zaradi sprinterske obremenitve, bi prav tako lahko imela nevralne posledice na prevod refleksov in propriocepcijo ter posledično na tehniko sprinterskega teka (Ross idr., 2001).

Aplikativna vrednost diplomske naloge za atletske prakso je v boljšem razumevanju pojava utrujenosti v maksimalnem sprintu na 100 metrov. S pomočjo sodobne biosenzorske tehnologije je možno ugotoviti območje pojava specifične sprinterske utrujenosti. Ugotovitve diplomske naloge so pokazale na pojav specifične sprinterske oblike utrujenosti v segmentu sprinta od 70 do 100 metrov. Ta verjetno temelji na centralni oziroma nevralni komponenti utrujenosti. Na podlagi te ugotovitve je tako možno bolj sistematsko pristopiti k načrtovanju procesa treninga. S tem se nam ponudi prostor za izboljšanje učinkovitosti teka ter zmanjšanje možnosti za nastanek poškodb, kar poveča možnost napredka v rezultatih atletov/inj.

6. VIRI

- Alcaraz, P. E., Palao, J. M., Elvira, J. L. L. in Linthorne, N. P. (2011). *Effects of a sand running surface on the kinematics of sprinting at maximum velocity* [elektronska izdaja]. *Biology of Sport*, 28(2), 95-100.
- Allen, D. G., Lamb, G. D. in Westerblad, H. (2008). *Skeletal muscle fatigue: Cellular mechanisms* [elektronska izdaja]. *Physiological Reviews*, 88, 287-332. doi:10.1152/physrev.00015.2007.
- Bigland-Ritchie, B. R., Woods, J. J. (1984). *Changes in muscle contractile properties and neural control during human muscular fatigue* [elektronska izdaja]. *Muscle & Nerve*, 7, 691-699.
- Bigland-Ritchie, B. R., Dawson, N. J., Johansson, R. S. in Lippold, O. C. J. (1986) *Reflex origin for the slowing of motoneurone firing rates in fatigue of human voluntary contractions* [elektronska izdaja]. *The Journal of Physiology*, 379, 451-459.
- Bompa, T. in Carrera, M., (2005) *Periodization Training for Sports*. Human Kinetics Publishers.
- Čoh, M. (2002). *Atletika: tehnika in metodika nekaterih atletskih disciplin*. Ljubljana: Fakulteta za šport.
- Čoh, M. (2014). *Analiza biofizikalnih spremenljivk starta pri sprinterjih različne kvalitete*. *Šport*, 62(3/4), 114-117.
- Čoh, M., Milanovič, D., in Kampmiller, T., (2001). *Morphological and kinematic characteristics of Elite sprinters*. *Collegium antropologicum*, 2, 605-610.
- Čoh, M., Tomažin, K. in Štuhec, S. (2006). *The biomechanical model of the sprint start and block acceleration* [elektronska izdaja]. *Physical education and sport*, 4(2), 103-114.
- Čoh, M., Škof, B., Dolenec, A., Milanović, D., Emberšič, D. S., Klavara, P. idr. (2001). *Biomehanika atletike*. Ljubljana: Fakulteta za šport.
- Čoh, M., Škof, B., Kugovnik, O., Dolenec, A., Kampmiller, T., Laczo, E., Kolček, R. in Šelinger, P. (1995). *Kinematic-dynamic characteristics of maximal velocity of young sprinters* [elektronska izdaja]. *Kinesiologia Slovenica*, 2(1), 5-10.
- Čoh, M., Škof, B., Tomažin, K., Supej, M., Bračič, M. in Šuhec, S. (2009). *Sodobni diagnostični postopki v treningu atletov*. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za kineziologijo.

- Ditrollo, M. in Kilding, A. (2004). *Has the new false start rule affected the reaction time of elite sprinters?*. New studies, 19(1), 13-19.
- Djordjević, S., Modic, Ž., Berdajs, M., Škerl, G. in Čoh, M. (2014). *Različni tipi utrujenosti med trikratnim maksimalnim tekom na 100 m*. Medicina športa, 2, 28-34.
- Edwards, R. H. T., Hill, D. K. in Merton, P. A. (1977). *Fatigue of long duration in human skeletal muscle after exercise* [elektronska izdaja]. The Journal of Physiology, 272(3), 769-778.
- Enoka, R. M. in Stuart, D. G. (1992). *Neurobiology of muscle fatigue* [elektronska izdaja]. Journal of applied physiology, 72(5), 1631-1648.
- Fitts, R. H. (2008). *The cross-bridge cycle and skeletal muscle fatigue* [elektronska izdaja]. Journal of applied physiology, 104(2).
- Gaitanos, G. C., Williams, C., Boobis, L. H. in Brooks, S. (1993). *Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise* [elektronska izdaja]. Journal of applied Physiology, 75(2), 712-719.
- Gandevia, S. C. (2001). *Spinal and supraspinal factors in Human muscle fatigue* [elektronska izdaja]. Physiological reviews, 81, 4.
- Gandevia, S. C., Allen, G. M. in McKenzie, D. K. (1995). *Central fatigue. Critical issues, quantification and practical implications*. Advances in Experimental Medicine and Biology, 384, 281-94.
- Harland, M. J., Andrews, M. H. in Steele, J. R. (1995). *Instrumented start blocks: A quantitative coaching aid* [elektronska izdaja]. XIII International Symposium for Biomechanics in Sport, 367-370.
- Hunter, J. P., Marshall, R. N. in McNair, P. J. (2005). *Relationships between ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running acceleration* [elektronska izdaja]. Journal of Applied Biomechanics, 21, 31-43.
- Jones, R., Bezodis, I. In Thompson (2009). *Coaching sprinting: Expert coaches' perception of race phases and technical constructs* [elektronska verzija]. International journal of sport science & coaching, 4(3), 385-396.
- Jönhagen, S., Nemeth, G. in Eriksson, E. (1994). *Hamstring injuries in sprinters. The role of concentric and eccentric hamstring muscle strength and flexibility* [elektronska verzija]. The American journal of sport medicine, 22(2), 262-266.

- Locatelli, E. (1996). *The importance of anaerobic glycolysis and stiffness in the sprints (60, 100 and 200 metres)*. New Studies in Athletics, 11(2-3), 121-125.
- Luhtanen, P. in Komi, R. V. (1978). *Segmental contribution to forces in vertical jump*. European journal of applied physiology and occupational physiology, 38(3), 181-188.
- Mačkala, K. (2007) *Optimisation of performance through kinematic analysis of the different phases of the 100 metres* [elektronska izdaja]. New Studies in Athletics, 22, 7-16.
- Mann, R., Kotmel, J., Herman, J., Johnson, B., in Schultz, C. (2008) *Kinematic trends in elite sprinters* [elektronska verzija]. International Symposium on Biomechanics in Sports, 1(1), 17-33.
- Mero, A. in Komi P. V. (1986). *Force-,EMG-,and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters* [elektronska verzija]. European journal of applied physiology and occupational physiology, 55(5), 553-561.
- Mero, A. in Komi, P. V. (1990). *Reaction time and electromyographic activity during a sprint start* [elektronska verzija]. European journal of applied physiology and occupational physiology, 61(1-2), 73-80.
- Mero, A., Komi, P. V. in Gregor, R.J. (1992). *Biomechanics of Sprint Running: A Review* [elektronska verzija]. Sports Medicine, 13(6), 376-392.
- Merton, P. A. (1954). *Voluntary strength and fatigue* [elektronska izdaja]. Journal of Physiology, 123, 553-564.
- Miller, R.G., Moussavi, R.S., Green, A.T., Carson, P.J. in Weiner, M.W. (1993). *The fatigue of rapid repetitive movements* [elektronska izdaja]. Neurology, 43(3), 755–761.
- Moravec, P., Ruzicka J., Susanka P., Dostal E., Kodejs M. in Nosek M. (1988). *The 1987 International Athletic Foundation/IAAF Scientific Project Report: Time analysis of the 100 metre events at the II World Championships in Athletics*. New Studies in Athletics 3, 61–96.
- Morin, J. B., Edouard, P. in Samozino, P. (2011). *Technical ability of force application as a determinant factor of sprint performance* [elektronska izdaja]. Medicine and science in sports and exercise, 43(9), 1680-1688.
- Purcell, B., Channells, J., James, D. in Barrett, R. (2006). *Use of accelerometers for detecting foot-ground contact time during running* [elektronska izdaja]. Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering, BioMEMS and Nanotechnology II, 603615.

- Ross, A., Leveritt, M., in Riek S. (2001) *Neural influences on sprint running: training adaptations and acute responses*. Sports Medicine, 31(6), 409–425.
- Smith, S. W. (1999) *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*. San Diego: California Technical Publishing.
- St. Clair Gibson, A., Noakes, T. D. (2004). *Evidence for complex system integration and dynamic neural regulation of skeletal muscle recruitment during exercise in humans* [elektronska izdaja]. British journal of sport medicine, 38 (6), 797-806.
- Škof, B. (2007). *Šport po meri otrok in mladostnikov*. Ljubljana: Fakulteta za šport
- Ušaj, A. (1997). *Kratek pregled osnov športnega treniranja*. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za šport.
- Volkov, N. I. in Lapin, V. I. (1979). *Analysis of the velocity curve in sprint running* [elektronska verzija]. Medicine and science in sports, 11(4), 332-337.
- Wiemann, K. in Tidow, G. (1995). *Relative activity of hip and knee extensors in sprinting – implications for training* [elektronska verzija]. New Studies in Athletics 1, 10, 29-49.
- World Medical Association (1964). *Declaration of Helsinki: Recommendations Guiding Physicians in Biomedical Research Involving Human Subjects*. Adopted by the 18th World Medical Assembly, Helsinki, Finland.