

TARTU ÜLIKOOL

Sporditeaduste ja füsioteraapia instituut

Rasmus Pind

Parem jooksu ökonoomsus jooksurajal võrreldes
jooksulindil jooksmisega

Better running economy on running track compared to treadmill

Magistritöö

Kehalise kasvatuse ja spordi õppekava

Juhendajad:

Lektor, PhD, M. Mooses

Peaspetsialist, MSc, K. Mooses

MA, S. Suvi

Tartu, 2016

SISUKORD

Kasutatud lühendid	3
Lühiülevaade.....	4
Abstract.....	5
1. Kirjanduse ülevaade	6
2. Töö eesmärk ja ülesanded	10
3. Metoodika.....	11
3.1. Uuritavad	11
3.2. Uuringu disain.....	11
3.3. Antropomeetria	11
3.4. Jooksu ökonoomsuse ja tehnika mõõtmine jooksulindil ja jooksurajal.....	11
3.5. Jooksutehnika mõõtmine DartFish Pro arvutitarkvaraga.....	13
3.6. Statistiline analüüs	13
4. Töö tulemused.....	14
5. Arutelu.....	18
6. Järeldused.....	22
Kasutatud kirjandus	23
Lisad	27

KASUTATUD LÜHENDID

- AATO – *ankle angle at take-off* - sirutus tugijala hüppeliigeses ($^{\circ}$)
- ATT – *angle between track and take-off calf* - raja ja tõukejala sääre vaheline nurk ($^{\circ}$)
- BF - *breathing frequency* – hingamissagedus ($1 \cdot \text{min}^{-1}$)
- HAM – *hip angle in the midsupport phase* - tugijala reie ja puusa vaheline nurk ($^{\circ}$)
- HE – *hip extension* - sirutus puusast ($^{\circ}$)
- HF – *hip flexion* - painutus puusaliigeses ($^{\circ}$)
- KAL - *knee angle at landing* - tugijala reie ja sääre vaheline nurk ($^{\circ}$)
- KAS – *knee angle of the support leg* - tugijala sääre ja reie vaheline nurk ($^{\circ}$)
- KAT – *knee angle of the take-off leg* - tõukejala sääre ja reie vaheline nurk ($^{\circ}$)
- KE – *knee extension* - sirutus tugijala põlveliigeses ($^{\circ}$)
- KF – *knee flexion* - painutus hoojala põlveliigeses ($^{\circ}$)
- La – *lactate* – laktaadi kontsentratsioon veres ($\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$)
- RE – *running economy* – jooksu ökonoomsus ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$)
- RPE – *rated perceived exertion* – pingutuse tajutav raskusaste
- SE – *shoulder extension* – sirutus õlast ($^{\circ}$)
- SF – *shoulder flexion* - painutus õlaliigeses ($^{\circ}$)
- SLS – südame löögisagedus ($1 \cdot \text{min}^{-1}$)
- VE – *ventilation* – ventilatsioon ($1 \cdot \text{min}^{-1}$)
- VO₂ – *oxygen uptake* – hapnikutarbimine ($1 \cdot \text{min}^{-1}$)
- VO_{2a} – *absolute oxygen uptake* – absoluutne hapnikutarbimine ($1 \cdot \text{min}^{-1}$)
- VO_{2max} – *maximal oxygen uptake* - maksimaalne hapnikutarbimine ($\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)
- VO_{2s} – *relative oxygen uptake* – suhteline hapnikutarbimine ($\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)

LÜHIÜLEVAADE

Eesmärk: Urida jooksutehnika ning metaboolsete näitajate erinevusi jooksulindil (1% tõusunurk) ja jooksurajal.

Metoodika: 17 meessoost vastupidavussportlast (25.8 ± 3.8 a; 73.9 ± 8.1 kg; 1.82 ± 0.06 m; 22.4 ± 1.6 kg·m⁻²) sooritasid 4-minutilisi jooksulõike (kiirustel 11, 13 ja 15 km·h⁻¹) vaheldumisi 5 minutiliste puhkepausidega jooksurajal ja jooksulindil randomiseeritud järjekorras. Mõõdeti metaboolsed näitajad, südame löögisagedus (SLS), sammusagedus ja laktaadi kontsentratsioon ning pingutuse tajutav raskusaste (RPE). Iga jooksulõigu tehnikat filmiti ning analüüsiti DartFish Pro tarkvaraga.

Tulemused: Kõikidel kasutatud kiirustel näitasid sportlased 7.8%, 5.2% ja 2.7% paremat ökonoomsust jooksurajal võrreldes jooksulindil (1% tõusunurk) jooksmisega ($p = 0.000$; $p = 0.000$; $p = 0.006$, vastavalt 11 km·h⁻¹, 13 km·h⁻¹, 15 km·h⁻¹). Sammusagedus oli oluliselt madalam jooksurajal kiirusel 13 km·h⁻¹ ($p = 0.012$) võrreldes jooksulindil jooksmisega. SLS oli jooksulindil joostes oluliselt kõrgem kiirustel 11 km·h⁻¹ ($p = 0.001$) ning 13 km·h⁻¹ ($p = 0.003$), kuid mitte kiirusel 15 km·h⁻¹ ($p = 0.565$) võrreldes jooksurajaga. Laktaadi kontsentratsioon veres ei erinenud kahe vaadeldud tingimuse vahel. RPE-d hinnati jooksurajal kõikidel kiirustel oluliselt madalamalt kui jooksulindil (vastavalt $p = 0.002$; $p = 0.006$; 0.005). Äratõukefaasis oli nurk puusaliigeses (HF) kiirusel 11 km·h⁻¹ ning tugijala hüppeliigeses (AATO) 11 km·h⁻¹ ja 13 km·h⁻¹ oluliselt suurem jooksurajal joostes võrreldes jooksulindil jooksmisega (vastavalt, $p = 0.004$; $p = 0.007$). Samal kiirusel, kuid toefaasis, oli tugijala sääre ning reie vaheline nurk (KAS) oluliselt väiksem jooksurajal joostes võrreldes jooksulindiga ($p = 0.037$).

Kokkuvõte: Jooksulindi 1% tõusunurgaga joostes kulutavad jooksulindiga kohanenud vastupidavusalade sportlased oluliselt rohkem energiat võrreldes jooksurajal jooksmisega kiirustel 11, 13 ja 15 km·h⁻¹.

Märksõnad: jooksulint, jooksu ökonoomsus, jooksutehnika, sammusagedus

ABSTRACT

Aim: To investigate the differences between running technique and metabolic parameters between running on track and on treadmill (1% inclination).

Methods: 17 male endurance athletes (25.8 ± 3.8 yrs; 73.9 ± 8.1 kg; 1.82 ± 0.06 m; 22.4 ± 1.6 kg·m⁻²) performed 4-minutes running bouts (at the speeds of 11, 13 and 15 km·h⁻¹) interspersed with 5-minute breaks on indoor track and treadmill in randomized order. Metabolic parameters together with heart rate (HR), stride frequency, blood lactate concentration and rating of perceived exertion (RPE) were measured. Each of the running bouts technique was filmed and analysed with DartFish Pro software.

Results: At all the used speeds the athletes showed 7.8%, 5.2% and 2.7% better economy in track compared to treadmill (1% inclination) running ($p = 0.000$; $p = 0.000$; $p = 0.006$, respectively 11 km·h⁻¹, 13 km·h⁻¹, 15 km·h⁻¹). Stride frequency was significantly lower on track compared to treadmill at the speed of 13 km·h⁻¹ ($p = 0.012$). HR was significantly higher on treadmill compared to track only at the speeds of 11 ($p = 0.001$) and 13 ($p = 0.003$), but not at 15 km·h⁻¹ ($p = 0.565$). There were no differences in blood lactate concentrations between two running conditions, however RPE was significantly lower on track compared to treadmill conditions at all three speeds (respectively, $p = 0.002$; $p = 0.006$; 0.005). In take-off phase the hip flexion (HF) at the speed of 11 km·h⁻¹ and the ankle angle at take-off (AATO) at the speeds of 11 km·h⁻¹ and 13 km·h⁻¹ were significantly greater in the track compared to treadmill running (respectively, $p = 0.004$; $p = 0.007$). At the same speed, but in the support phase, the support leg and thigh angle (KAS) were significantly smaller in track running compared to treadmill ($p = 0.037$).

Conclusions: Endurance athletes who are familiarized with treadmill running have significantly better RE on track compared to treadmill (1% inclination) at the speed of 11, 13 and 15 km·h⁻¹.

Keywords: treadmill running, running economy, running technique, stride frequency

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

Jooksulindil jooksmist kasutatakse laialdaselt nii erineva sportliku tasemega indiviidide eesmärgipärasteks treeninguteks (Frishberg, 1983; Riley et al., 2008), arstide poolt meditsiinilises keskkonnas ning sporditeadlaste poolt laboratoorsetes tingimustes läbiviidavate töövõime testide sooritamisel maksimaalse hapnikutarbimise (VO_{2max}), ökonoomsuse (RE) ning ka anaeroobse läve (AnT) intensiivsuste määramiseks. Täiendava valdkonnana on märgitud ka jooksu ja kõnni biomehaanika uuringud tervetel ja erinevate terviseprobleemidega patsientidel (Riley et al., 2007; Riley et al., 2008). Jooksulindi kasutamise eeliseks peetakse võimalust viia testimine või treening läbi kontrollitud tingimustes, kus sageli testimisse integreeritud teised vahendid ja seadmed (näiteks hapnikuanalüsaatorid, EMG jne) ei pea olema portatiivsed ning võimaldavad testide läbiviijatel teostada mõõtmiseid mugavamalt ja täpsemalt. Treenerid ja sportlased otsivad võimalikult alaspetsiifilisi laboratoorseid töövõimeteste, mille tulemused peegeldaksid adekvaatselt muutuseid sportlase töövõimes nii treening- kui ka võistlustingimustes ning mille põhjal oleks võimalik teha muutusi erinevates treeningintensiivsustes (Mooses et al., 2015b). Selleks, et jooksulindil saadud tulemusi võiks üle kanda jooksurajal liikumisse, on oluline mõista, kas jooksulindil jooksmine erineb jooksurajal jooksmisest tehniliste ja/või füsioloogiliste parameetrite poolest.

Jooksurajal (jooksmine staadionil, kergejõustiku sisehallis, tasasel teel) jooksmist peetakse jooksulindiga (*treadmill-iga*) võrreldes ebaökonomsemaks (Frishberg, 1983; Jones & Doust, 1996). Põhjuseks on asjaolu, et jooksurajal peab jooksja ületama õhutakistuse, mis on lähedane tema liikumise kiirusega (Léger & Mercier, 1984). Vastuargumendina on aga märgitud õhutakistuse ületamist kui jahutavat aspekti jooksurajal jooksmisel, millel on potentsiaalne positiivne efekt ökonoomsusele (Heesch et al., 2015). Võib eeldada, et jooksulindil jooksmine on kergem ning samal kiirusel liikumiseks kulutatakse vähem energiat (parem ökonoomsus) võrreldes jooksurajal jooksmisega (Saunders et al., 2004; Vogler et al., 2010).

Jones & Doust (1996) viisid läbi uuringu, mille põhjal anti soovitus kasutada jooksulindil 1% tõusunurka, et suurendada energiakulu tasemele, mis vastaks jooksurajal jooksmisele. Hilisemad uuringud, kus on võrreldud ökonoomsust jooksulindil ning jooksurajal joostes, ei ole kinnitanud Jones & Doust (1996) tulemusi ning vastupidiselt, on näidanud et submaksimaalsetel kiirustel on 1% tõusunurk liiga suur, et tagada jooksurajal jooksmisega samal tasemel pingutus (Mooses et al., 2015b). Meyer et al. (2003) jõudsid järeldusele, et isegi 0.5% tõusunurgaga jooksulindil joostes kulutasid uuringus osalejad oluliselt rohkem energiat ehk olid ebaökonomsemad võrreldes jooksurajal jooksmisega.

Bartlett (1999) on märkinud, et hea jooksutulemuse indikaatoriks on suurepärase tehnika. Lees (2002) aga argumenteerib, et head tulemused ei näita suurepärast tehnikat, vaid pigem parem tehnika aitab saavutada kõrgemaid tulemusi. Sporditeadlased ja treenerid on leidnud, et teadusel on tänapäeval suur mõju sportlase sooritusele (Hussain & Ansari, 2013). Paranenud teadmised liikumise biomehaanikast on viinud tehniliselt täiuslikumate sooritusteni erinevatel spordialadel (Hussain & Ansari, 2013). Terminit tehnika analüüs kasutatakse analüütilise meetodi puhul, et aru saada, mis viisil on tegevust sooritatud ning selle lõppeesmärk on tagada parem suutlikkus harjutuse või sporditehnika sooritamisel (Lees, 2002). Tehnikat iseloomustatakse erinevate muutujate vaatlemisega ning seda saab tajuda visuaalselt (Lees, 2002). Sõltuvalt tehnilistest elementidest või spordialast on keeruline üksnes silma järgi hinnata, kas kindla keha segmendi või liigese liikumine on korrektne (Hussain & Ansari, 2013). Üheks analüüsi hõlbustamise viisiks on kasutusele võetud videotehnika, mis on kaasajal suhteliselt odav, kättesaadav ning pakub väga kõrgel tasemel kvaliteeti nii tehnika analüüsiks kui sportlasele tagasisidestamiseks treeningu käigus (Liebermann et al., 2002). Videotehnika kasutamine oli juba 21 sajandi alguses kõige populaarsem tehnoloogia sporditehnika analüüsil (Liebermann et al., 2002).

Lisaks õhutakistuse ületamisele on erinevustena jooksulindi ja jooksuraja vahel välja toodud (van Ingen Schenau, 1980; Jones & Doust, 1996; Mooses et al., 2015b) (i) lindiga kohanenud jooksja oskab efektiivselt kasutada energiat automaatselt pöörlevast jooksulindi rajast; (ii) biomehaanilised muutused jooksutehnikas, mis on põhjustatud rajakatte erinevustest või visuaalsest tagasisidest, mis lindil joostes on pigem staatilise iseloomuga võrreldes rajal jooksmisega. Siinkohal on oluline märkida, et jooksutehnika erineb suurel määral inimeste vahel, kes on jooksulindil jooksmisega harjunud võrreldes nendega, kes kasutavad seda esimest korda. Täiskasvanud aktiivsed inimesed, kes ei ole varasemalt jooksulindil jooksnud vajavad vähemalt 6 minutit jooksmist jooksulindil enne treeningu/testi algust, et jooksutehnika stabiliseeruks ning saaks usaldusväärset tehnikat võrrelda (Lavcanska et al., 2005). Käesolevas uuringus osalenud vaatlusalused olid kõik varasemalt regulaarselt jooksulindil jooksmisega kokku puutunud ning enne ökonoomsuse mõõtmist viidi läbi standardiseeritud 10-minutiline soojendus jooksulindil, kus prooviti lühidalt ka kõiki hiljem testis kasutusel olnud kiiruseid.

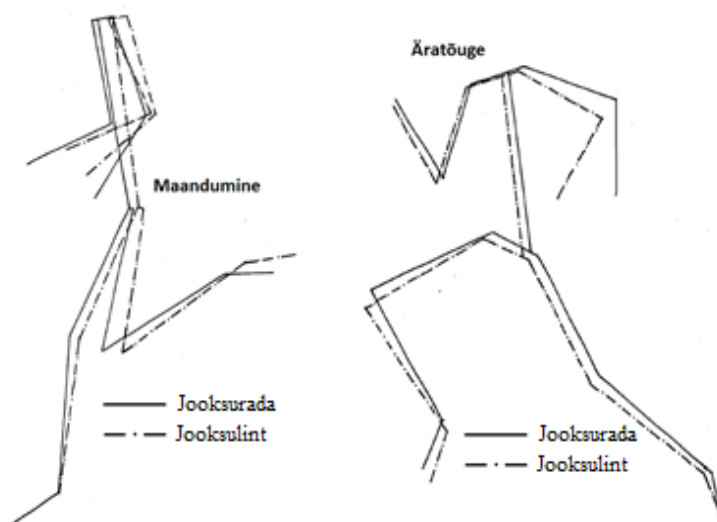
Tehniliselt korrektne jooksutehnika on ühtlasi ka ökonoomne ehk energiakulu kindla vahemaa läbimiseks etteantud kiirusel on võimalikult väike (Kyröläinen et al., 2001). Head jooksu ökonoomsust (RE) on seostatud mitmete erinevate teguritega nagu näiteks vabalt valitud sammusageduse ja sammu pikkusega (Cavanagh & Williams, 1982), väiksema vertikaalse kõikumisega (Cavanagh et al., 1977) ning kontaktiajaga (Paavolainen et al., 1999). Lisaks

biomehhaanilistele teguritele mõjutavad jooksu ökonoomsust vanus, sugu, õhutakistus, kehatemperatuur, kehakaal, maksimaalne aeroobne võimekus ning lihaskiudude kompositsioon (Kyröläinen et al., 2001). Ökonoomsuse uuringud on näitanud, et treenitud jooksjate tehnika samal submaksimaalsel intensiivsusel on oluliselt ökonoomsem kui treenimata jooksjatel (Kyröläinen et al., 2001; Bransford & Howley, 1977).

Jooksutehnika ja võistlustulemus on läbi ökonoomsuse omavahel tugevalt seotud (Saunders et al., 2004). Lisaks on osaliselt tehnikast sõltuv ka sportlaste kõrged maksimaalse hapnikutarbimise (VO_{2max}) näitajad ning laktaadilävi (Morgan et al., 1989). Paranenud jooksutehnika võib olla läbi ökonoomsuse tõusu olulisem võistlustulemust määrav faktor kui VO_{2max} (Dumke et al., 2010). Teaduskirjanduses on palju analüüsitud seoseid RE ja jala maha asetamise biomehaanika vahel (Ogueta-Alday et al., 2014, Santos-Concejero et al., 2014a, Santos-Concejero et al., 2014b). Leitud on, et jala maha asetamine tallale või põiale on ökonoomsem kui kannale asetamine (Santos-Concejero et al., 2014a). Lisaks on ökonoomsemad jooksjad, kelle sammunurk on suurem võrreldes väiksema sammunurgaga jooksjatega (Santos-Concejero et al., 2014a; Santos-Concejero et al., 2014b). Mida suurem on sammunurk, seda lühem on kontaktaeg (Santos-Concejero et al., 2014b). Saab väita, et joostes optimaalse sammunurga kasutamine annab jooksjale võimaluse minimeerida kontaktaega maapinnaga ning seeläbi parandada RE-d. Treenides pikemateks distantsideks võib sammunurga suurendamine parandada sooritust, kuna jooksutehnika on seeläbi ökonoomsem.

Varasemalt on leitud, et jooksulindil joostes on lennufaas ja seega ka sammu pikkus lühem ning sammusagedus suurem võrreldes jooksurajal jooksmisega (Elliott & Blanksby, 1976; Riley et al., 2008). Lisaks on leitud, et erinevalt jooksurajal jooksmisest maandutakse jooksulindil järjepidevalt täistallale (Nigg et al., 1995) ning oluliselt erinevad põlve sirutus- ning painutusnurk (Riley et al., 2008). Jooksurajal joostes on täheldatud ka suurenenud nurka puusa painutusel (Frishberg, 1983) võrreldes jooksulindiga. Lisaks toimub vaagnas suurem ettepoole kalle (Schache et al., 2001). On alust arvata, et jooksjatel on kaldumus kohandada oma tehnikat vastavalt tingimustele, kus joostakse (Van Caekenberghe et al., 2013). Välja on toodud ka seda, et jooksulindil joostes on maandumise faasis põlv suurema nurga all ning äratõukefaasis madalamal ehk tehakse väiksema amplituudiga tööd, kui jooksurajal jooksmisel, mistõttu on peetud jooksulindil jooksmist ökonoomsemaks (Frishberg, 1983) (Joonis 1). Lisaks toob jooksulint tugijala tagasi kehatüve alla, mis erineb jooksurajal jooksmisest, kus kehatüvi liigub tugijala kohale (Frishberg, 1983). Sarnaste tulemusteni jõudsid ka Sinclair et al. (2013), kus peamised erinevused jooksulindi ja jooksurajal jooksmise vahel leiti sagitaaltasapinnal. Kõvakattega maapinnal joostes olid uuritavate põlve ja puusa paindumus ning puusa

liikumisulatus suuremad, kui jooksulindil. Nelson et al. (1972) ei leidnud aga erinevusi jooksulindi ja jooksurajal sörkimise (12 kuni $17 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) vahel. Samas kiiremas tempos joostes oli jooksulindil kontaktaeg pikem võrreldes jooksurajal jooksmisega. Fellin et al. (2010) leidsid oma uuringus suurima tehnilise erinevuse jooksulindi ja jooksurajal jooksmise vahel dorsaalfleksiooni vähenemisel jala maha asetamise ajal. Vaatamata välja toodud erinevustele peetakse jooksmist jooksulindil ja jooksurajal tehniliselt sarnasteks (Wank et al., 1998; Williams, 1985; Nigg et al., 1995).



Joonis 1. Jooksutehnika võrdlus jooksulindil ja jooksurajal joostes. Maandumine (vasakul) ja äratõuge (paremal) (Frishberg, 1983 järgi).

Lähtuvalt eelnevast viidi läbi käesolev uuring, mille eesmärk oli kontrollida hüpoteesi, et heal tasemel vastupidavuselade sportlased on jooksurajal ökonoomsemad võrreldes 1% tõusunurgaga jooksulindil joostes erinevatel treeningutes peamiselt kasutatavatel kiirustel. Uuringu uudsus peitus põhjalikumalt kontrollitud tingimustes võrreldes sama teadusgrupi poolt (Mooses et al., 2015b) läbiviidud uuringuga ning jooksutehnika analüüsis, mida varasemas uuringus ei ole samaaegselt kasutatud.

2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli võrrelda heal tasemel Eesti vastupidavusalade sportlaste jooksutehnika ning metaboolsete parameetrite erinevusi jooksulindil ja jooksurajal joostes.

- 1) Võrrelda RE-d jooksurajal ning 1% tõusunurgaga jooksulindil joostes.
- 2) Võrrelda jooksutehnika parameetreid jooksurajal ning 1% tõusunurgaga jooksulindil joostes.
- 3) Kirjeldada jooksukiiruse mõju leitud füsioloogiliste ning tehniliste karakteristikute erinevustele.

3. METOODIKA

3.1. Uuritavad

Uuringus osalemiseks andis nõusoleku ning alustas testidega 19 sportlast. Kahe sportlase andmeid hilisemas analüüsis ei kasutatud, kuna nende sportlaste jaoks oli kiirus $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ üle anaeroobse läve. Uuringu protseduurid ja protokollid olid heaks kiidetud Tartu Ülikooli Eetikakomitee poolt ning vastasid Helsingi deklaratsioonile (luba nr. 240/T-9, väljastatud 15.09.2014). Kõikidele uuringus osalejatele selgitati testi protseduure ja võimalikke riske ning nad andsid oma kirjaliku informeeritud nõusoleku uuringus osalemiseks.

3.2. Uuringu disain

Esimesel külastusel tutvusid vaatlusalused uuringuga ning sooritasid kohanemiskõrguse jooksulindil. Jooksulinti kasutati vähemalt 20 minutit ning prooviti läbi erinevad uuringus kasutatavad kiirused – 11, 13, 15 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$. Teisel külastusel mõõdeti osalejate peamised antropomeetrilised näitajad (kehakaal, pikkus) ning seejärel läbisid osalejad RE määramise testi jooksulindil (1% tõusunurk) ja jooksurajal kiirustel 11, 13 ja 15 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$. Jooksmise tingimuste järjekord, kas alustati jooksurajal või jooksulindil, valiti juhuslikult. Uuringus osalejatel paluti hoiduda tugevatest treeningutest ning võistlemisest 48 tundi enne testimist, et tagada sportlaste optimaalne valmisolek testipäevaks.

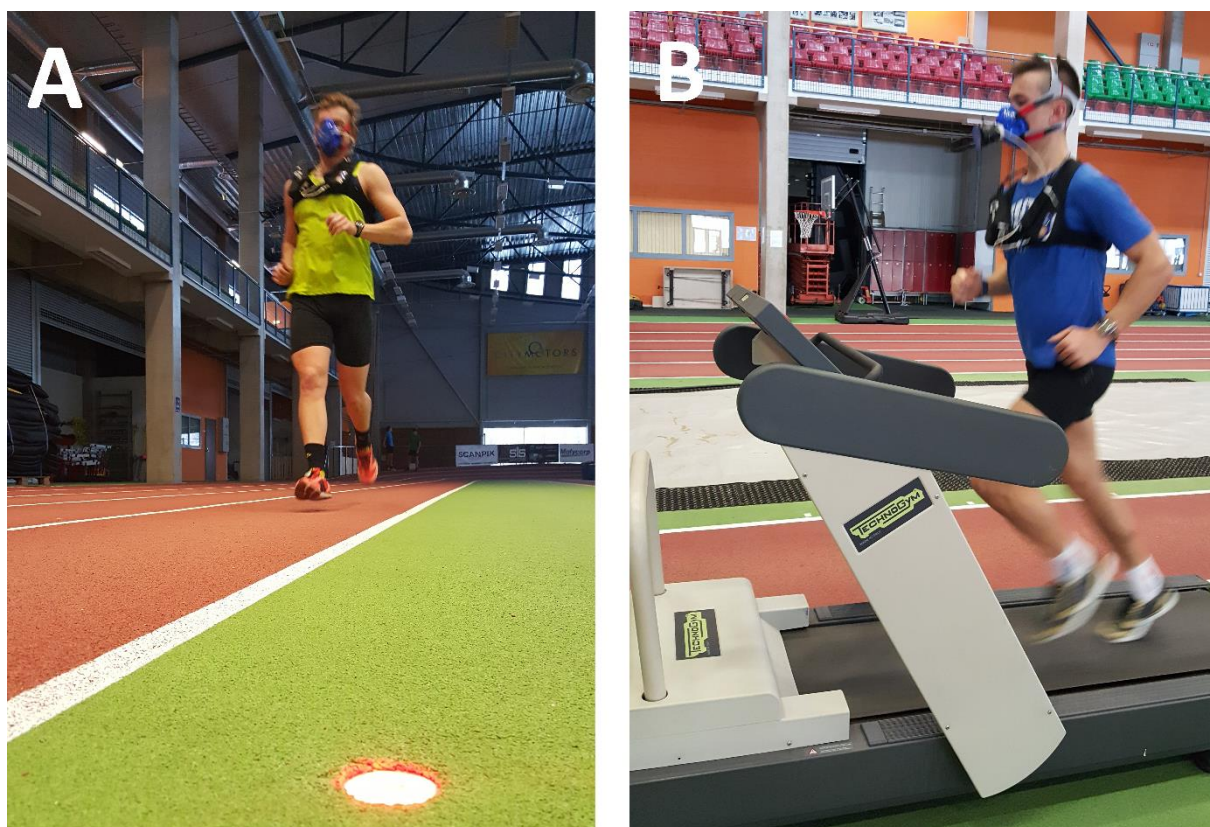
3.3. Antropomeetria

Osalejate pikkus (Seca height rod 225, Seca GmbH & Co, Hamburg, Germany) ja kehamass (Salter 144SVBKDR, Salter Housware Ltd., UK) mõõdeti vastavalt 0.1 cm ja 0.1 kg täpsusega. Nendest tulenevalt arvutati kehamassi indeks $0.1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ täpsusega. Kõik vaatlusalused kandsid mõõtmisel vaid lühikest võistlusdressi.

3.4. Jooksu ökonoomsuse ja tehnika mõõtmine jooksulindil ja jooksurajal

Jooksutest viidi läbi Tartu Ülikooli Akadeemilise Spordiklubi kergejõustiku sisehallis 200 m ringil, kus tempo hoidmiseks kasutati valgusliidrit (Protom light system model: con 12, Naakka Oy, Lappeenranta, Soome). Jooksulint (Run Race HC 1400, Technogym, Gambettola, Itaalia) oli asetatud kergejõustiku halli jooksuraja kõrvale. Jooksutestile eelnes soojendus: 10 min rahulik jooks jooksulindil kiirusega $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ tõusunurgaga 1% ning venitusharjutused 5 min. Seejärel läbiti kõikide kiirustega (11, 13 ja 15 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) 2 jooksulõiku kestusega 4 minutit (üks jooksulindil tõusunurgaga 1%, teine jooksurajal) (Joonis 2) mille vahel oli puhkepaus 5

minutit (esimene 2 minutit kõndides, järgnevad 3 minutit istudes).



Joonis 2. Test valgusliidri järgi sisehallis (A) ja liikuväljundil (B).

Enne testide algust võrreldi jooksulindi ning sisehalli valgusliidri kiirust ning vastavalt sellele kohandati kiiruste valik jooksulindile. Kalibreerimiseks kasutati jalgratast (Classic Team X9, Hawaii Express OÜ, Eesti), mille külge oli paigaldatud spidomeeter (CatEye Velo 05, CatEye Co., Ltd., Osaka, Jaapan). Jooksutesti vältel salvestati sportlaste gaasivahetuse näitajad ja südame löögisagedus kasutades Metamax 3B (Cortex Biophysic GmbH, Leipzig, Germany), mis kalibreeriti enne iga testi algust vastavalt tootja juhendile. Hilisemas analüüsis (MetaSoft 3.9, Cortex Biophysic GmbH, Leipzig, Saksamaa) kasutati iga jooksulõigu eelviimase minuti näitajaid. Lisaks mõõdeti jooksjate sammusagedus (Polar RS800CX koos jooksuanduriga S+, Polar Electro Oy, Kempele, Soome). RE-d väljendatakse kui kasutatud hapniku hulka ($O_2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$), mis arvutati järgmiselt:

$$RE = \frac{1000 \cdot VO_2}{v},$$

kus VO_2 on antud kiiruse juures sportlase saavutatud püsiseisundi hapnikutarbimine ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) ja v on jooksu kiirus ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$) (Bragada et al., 2010). Iga joostud lõigu järgselt paluti vaatlusalustel hinnata nende poolt tajutud pingutuse raskusastet (RPE-d) vastavalt Borgi 6-20 palli skaalal (Borg, 1982).

Kõiki jooksulõike filmiti mobiiltelefoni (Samsung galaxy S6 edge plus, Samsung, Soul, Lõuna-Korea) 16 megapikslit, f/1.9, 28mm, OIS, autofookus, LED välgukaameraga. Filmiti aegluubis kõrglahutus (1280x720 pikslit) 30 kaadrit sekundis sätetega. Filmitud lõikude tehnika parameetrite analüüsiks kasutati arvutiprogrammi (Dartfish ProSuite 4.0, Alpharetta, GA, USA), kus sarnaselt hingamisparameetritele analüüsiti tehnikat iga joostud lõigu 3. minutil.

3.5. Jooksutehnika mõõtmine DartFish Pro arvutitarkvaraga

Filmitud jooksulõikude analüüsimiseks kasutati DartFish Pro 4.0 arvutitarkvara. Programmiga mõõdeti kolme erinevat jooksufaasi – äratõuke-, kesktõe- ning maandumisfaas kolmel erineval kiirusel ning kahes erinevas tingimustes joostes (jooksurada ja 1% tõusunurgaga jooksulint). Igal kiirusel mõõdeti 24 erinevat nurka, vastavalt 12 nurka jooksurajal ning 12 nurka jooksulindil joostes sarnaselt varasemalt jooksutehnikat analüüsitud artiklites (Hussain & Ansari, 2013; Skof & Stuhec, 2004) välja toodule. Äratõukefaasis mõõdeti kuus nurka (painutus õla- (SF), puusa- (HF) ja hoojala põlveliigeses (KF), sirutus tugijala põlveliigeses (KE) ja hüppeliigeses (AATO) ning raja ja tõukejala sääre vaheline nurk (ATT)); kesktõefaasis 3 parameetrit (tugijala reie ja puusa (HAM), tugijala sääre ja reie (KAS) ning tõukejala sääre ja reie vaheline nurk (KAT)) ning maandumisfaasis 3 parameetrit (tugijala reie ja sääre vaheline nurk (KAL), sirutus puusast (HE) ning sirutus õlaliigesest (SE)). Mõõtmisjapoolne mõõtmistäpsus oli $r < 0.95$.

3.6. Statistiline analüüs

Andmete vastavust normaaljaotusele kontrolliti Shapiro-Wilk'i testiga. Jooksuraja ning jooksulindi südame löögisagedust (SLS), sammusagedust, VO_2 , ventilatsiooni (VE), hingamissagedust (BF), laktaadi kontsentratsiooni veres (La), RPE-d ning jooksutehnika parameetrite võrdlemiseks kasutati vastavalt vajadusele paaris t-testi või Wilcoxon Signed Rank testi. Korrelatsioonanalüüsis kasutati Pearsoni ja Spearmani korrelatsioonikoefitsienti. Andmete analüüsis kasutati tabelarvutusprogrammi Microsoft Excel 2013 ja statistikapaketti IBM SPSS v. 20 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA). Statistiliselt oluliseks loeti tulemused, mille olulisusenivoo on $p < 0.05$.

4. TÖÖ TULEMUSED

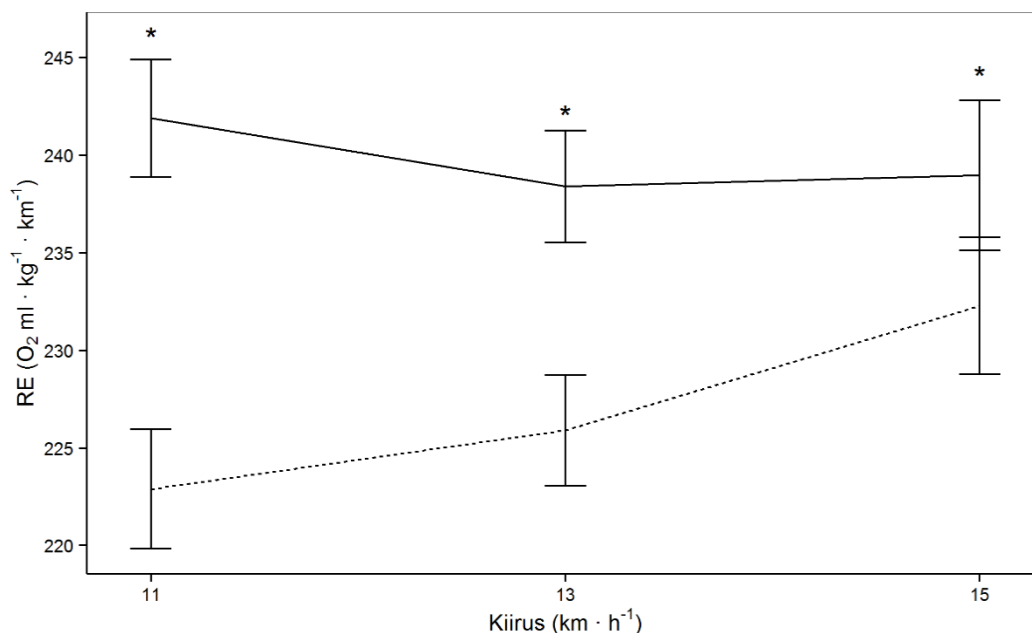
Uuringu analüüsil kasutati 17 heal tasemel meessoost vastupidavusalade sportlaste andmeid (Tabel 1), kes olid varasemalt regulaarselt kasutanud enda treeningutel jooksmist jooksulindil ning Tartu Ülikooli Akadeemilise Spordiklubi kergejõustiku sisehallis uuringus kasutusel olnud kiirustele lähedastel kiirustel.

Tabel 1. Osalejate (n = 17) peamised tunnused (\pm SD)

	Keskmine
Vanus (a)	25.8 \pm 3.8
Kehamass (kg)	73.9 \pm 8.1
Pikkus (m)	1.82 \pm 0.06
KMI ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	22.4 \pm 1.6

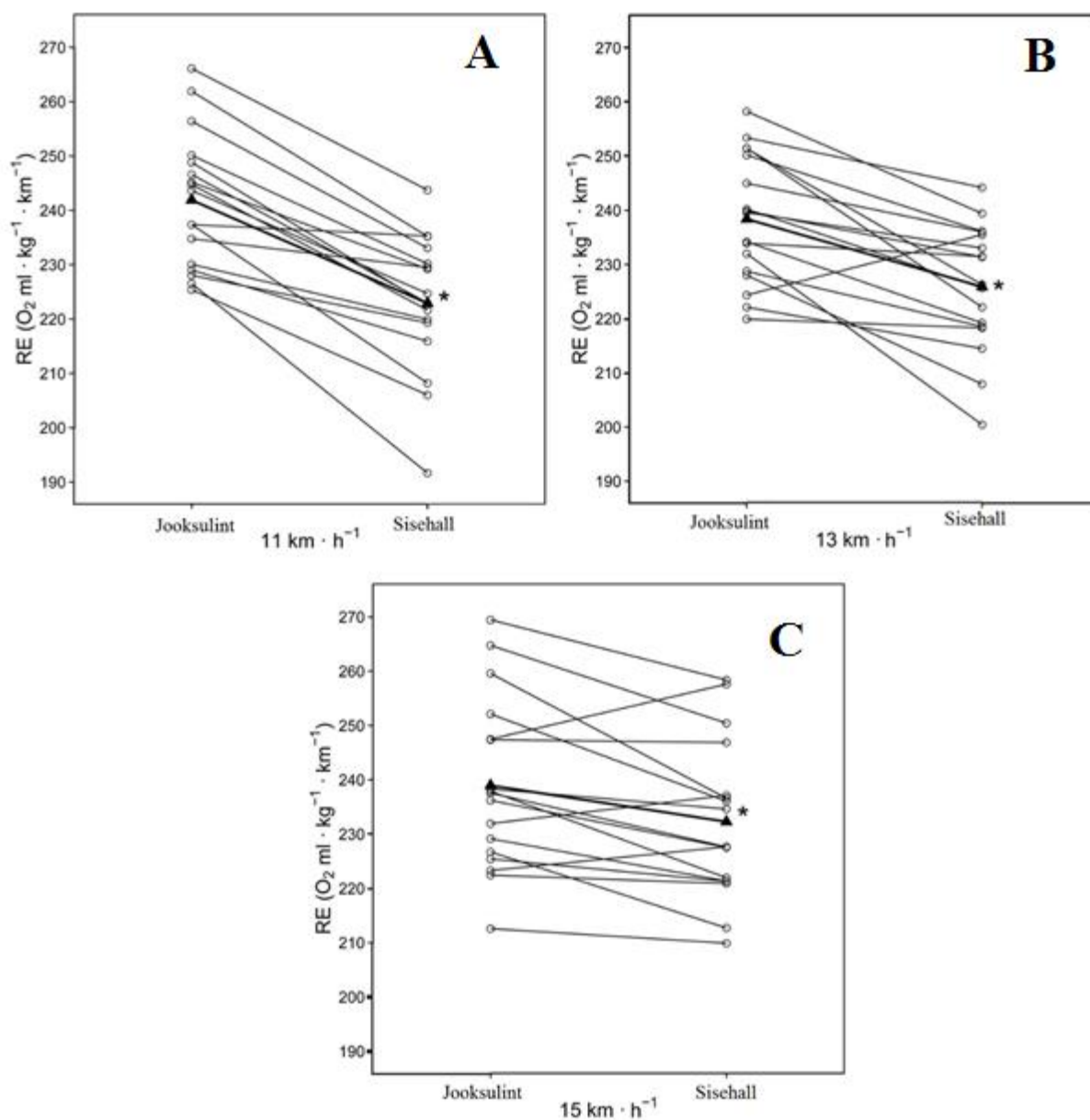
KMI – kehamassi indeks

Kõikidel kasutatud kiirustel (11, 13 ja 15 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) näitasid sportlased 7.8%, 5.2% ja 2.7% paremat RE-d jooksurajal joostes võrreldes jooksulindil (1% tõusunurk) jooksmisega ($p = 0.000$; $p = 0.000$; $p = 0.006$, vastavalt 11 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, 13 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, 15 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) (Joonis 4; Joonis 5).



Joonis 5. Jooksu ökonoomsuse keskmised \pm SE kõigil kolmel (11, 13, 15 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) kiirusel. Katkendlik joon tähistab jooksurada ning pidev joon jooksulinti. * - statistiliselt oluline erinevus jooksuraja ja -lindi vahel ($p < 0.05$)

Uuringus osalejate nii suhtelised kui ka absoluutsed VO_2 näitajad ning VE väärtused olid jooksurajal joostes oluliselt madalamad võrreldes 1% tõusunurgaga jooksulindil jooksmisega kõikidel mõõdetud kiirustel (Tabel 2). RPE hinnati kõikidel kiirustel (11, 13 ja 15 $km \cdot h^{-1}$) oluliselt kõrgemalt jooksulindil (9.5 ± 1.9 vs 8.6 ± 1.8 , $p = 0.002$; 12.0 ± 1.5 vs 11.2 ± 1.5 , $p = 0.006$; 14.2 ± 1.4 vs 13.6 ± 1.2 , $p = 0.005$) võrreldes jooksurajal jooksmisega. Kiirustel 11 ja 13 $km \cdot h^{-1}$, kuid mitte 15 $km \cdot h^{-1}$ olid jooksurajal joostes oluliselt madalamad SLS ja BF. Vere laktaadi kontsentratsioon jooksulindil ja jooksurajal joostes ei erinenud oluliselt kiirustel 11, 13 ja 15 $km \cdot h^{-1}$ ($p = 0.899$, $p = 0.437$, $p = 0.538$).



Joonis 4. Individuaalsed ökonoomsuse väärtused jooksulindil (1% tõusunurk) ning jooksurajal joostes kiirustel 11 (A), 13 (B) ja 15 $km \cdot h^{-1}$ (C). * - oluliselt erinev jooksulindi tingimustest ($p < 0.05$).

Tabel 2. Sportlaste gaasivahetuse näitajad eri kiirustel (\pm SD)

	Jooksulint	Jooksurada	P
Kiirus 11 km·h⁻¹			
VO _{2a} (l·min ⁻¹)	3.3 ± 0.3	3.0 ± 0.3	0.000*
VO _{2s} (ml·min ⁻¹ ·kg ⁻¹)	44.5 ± 2.2	40.9 ± 2.3	0.000*
RE (ml·kg ⁻¹ ·km ⁻¹)	241.9 ± 12.4	222.9 ± 12.6	0.000*
VE (l·min ⁻¹)	65.4 ± 8.4	61.1 ± 9.3	0.001*
SLS (l·min ⁻¹)	141.0 ± 8.9	137.2 ± 9.1	0.001*
BF (l·min ⁻¹)	31.0 ± 3.9	30.1 ± 6.3	0.025*
La (mmol·l ⁻¹)	0.9 ± 0.2	1.0 ± 0.5	0.899
RPE	9.5 ± 1.9	8.6 ± 1.8	0.002*
Kiirus 13 km·h⁻¹			
VO _{2a} (l·min ⁻¹)	3.8 ± 0.3	3.6 ± 0.4	0.002*
VO _{2s} (ml·min ⁻¹ ·kg ⁻¹)	51.6 ± 2.5	48.8 ± 2.6	0.000*
RE (ml·kg ⁻¹ ·km ⁻¹)	238.4 ± 11.8	225.9 ± 11.7	0.000*
VE (l·min ⁻¹)	77.6 ± 11.3	73.3 ± 13.7	0.000*
SLS (l·min ⁻¹)	154.0 ± 9.8	151.6 ± 10.0	0.003*
BF (l·min ⁻¹)	33.6 ± 3.8	32.1 ± 6.5	0.021*
La (mmol·l ⁻¹)	1.2 ± 0.5	1.2 ± 0.4	0.437
RPE	12.0 ± 1.5	11.2 ± 1.5	0.006*
Kiirus 15 km·h⁻¹			
VO _{2a} (l·min ⁻¹)	4.4 ± 0.3	4.3 ± 0.4	0.011*
VO _{2s} (ml·min ⁻¹ ·kg ⁻¹)	59.8 ± 3.9	58.2 ± 3.6	0.006*
RE (ml·kg ⁻¹ ·km ⁻¹)	239.0 ± 15.9	232.3 ± 14.5	0.006*
VE (l·min ⁻¹)	94.7 ± 14.9	91.2 ± 15.8	0.006*
SLS (l·min ⁻¹)	166.4 ± 10.6	166.0 ± 10.6	0.565
BF (l·min ⁻¹)	37.6 ± 4.4	36.7 ± 6.3	0.063
La (mmol·l ⁻¹)	2.2 ± 1.0	2.1 ± 1.1	0.538
RPE	14.2 ± 1.4	13.6 ± 1.2	0.005*

* - oluliselt erinev jooksuraja ja jooksulindi vahel ($p < 0.05$)

Sammusagedus oli oluliselt kõrgem vaid kiirusel 13 km·h⁻¹ jooksulindil joostes võrreldes jooksurajal jooksmisega. Sarnast tendentsi oli märgata kiirustel 11 ja 15 km·h⁻¹ (Tabel 3). Iga

vaatlusealuse ühe tingimuse lõikes (jooksulint või jooksurada) mõõdetud 39. nurgast olid kahe jooksutingimuse vahel oluliselt erinevad vaid 4 (Tabel 3).

Tabel 3. Statistiliselt olulised tehnilised näitajad ja sammusagedus eri kiirustel (\pm SD)

Näitaja	Jooksulint	Jooksurada	p
11 km·h⁻¹			
HF (°)	153.7 \pm 3.5	156.1 \pm 3.7	0.004*
AATO (°)	128.5 \pm 5.0	132.7 \pm 5.5	0.007*
KAS (°)	155.5 \pm 5.4	151.9 \pm 6.6	0.037*
Sammusagedus (rpm)	80.1 \pm 3.2	79.2 \pm 3.6	0.064
13 km·h⁻¹			
HF (°)	148.8 \pm 4.4	150.3 \pm 5.0	0.125
AATO (°)	128.9 \pm 4.8	133.5 \pm 6.3	0.008*
KAS (°)	155.0 \pm 5.4	154.5 \pm 7.6	0.667
Sammusagedus (rpm)	82.2 \pm 3.4	81.0 \pm 3.4	0.012*
15 km·h⁻¹			
HF (°)	145.6 \pm 4.4	145.8 \pm 3.8	0.837
AATO (°)	130.4 \pm 9.2	132.8 \pm 7.2	0.357
KAS (°)	155.7 \pm 7.0	153.8 \pm 6.6	0.361
Sammusagedus (rpm)	84.8 \pm 3.8	83.5 \pm 3.9	0.052

rpm – sammude arv minutis; * - oluliselt erinev jooksuraja ja jooksulindi vahel ($p < 0.05$)

Huvitaval kombel mõõdetud 39. nurgast olid neist kolm statistiliselt olulised kiirusel 11 km·h⁻¹. Äratõukefaasis oli nurk puusaliigeses (HF) kiirusel 11 km·h⁻¹ ning tugijala hüppeliigeses (AATO) 11 km·h⁻¹ ja 13 km·h⁻¹ oluliselt suurem jooksurajal joostes võrreldes jooksulindil (vastavalt, $p = 0.004$; $p = 0.007$) jooksmisega. Samal kiirusel, kuid toefaasis oli tugijala sääre ning reie vaheline nurk (KAS) oluliselt väiksem jooksurajal joostes võrreldes jooksulindiga ($p = 0.037$).

5. ARUTELU

Käesoleva töö uudne tulemus oli selles, et treenitud vastupidavusalade sportlased on treeningutel peamiselt kasutatavatel submaksimaalsetel kiirustel kergejõustiku jooksurajal joostes oluliselt ökonoomsemad ning tajuvad pingutust subjektiivselt kergemana võrreldes 1% tõusunurgaga jooksulindil jooksmisel.

Teadusuuringutele ja testimistele täiendavalt kasutatakse jooksulinti eesmärgipärasteks treeninguteks nii tipp- kui ka tervisespordis (Frishberg, 1983; Riley et al., 2008). Treenerid ja sportlased otsivad võimalikult alaspetsiifilisi laboratoorseid töövõime teste, mille tulemused peegeldaksid adekvaatselt sportlase töövõime muutusi nii treening- kui ka võistlustingimustes ning mille tulemuste põhjal on võimalik teha muutusi erinevates treeningintensiivsustes (Mooses et al., 2015b). Eelnevast lähtuvalt on oluline võrrelda jooksulindil ning jooksurajal jooksmise erinevusi, et laboratoorsete testide tulemusi saaks üle kanda treeningolukorda.

Käesoleva uuringu tulemustest selgub, et 1% tõusunurgaga jooksulindil joostes kulutab jooksja rohkem hapnikku ehk on ebaökonomsem võrreldes jooksurajal jooksmisega kiirustel 11, 13 ja 15 km·h⁻¹. Varasemad uuringud (Jones & Doust, 1996; Pugh, 1970) on rõhutanud, et jooksulindil jooksmisel kasutab sportlane vähem energiat (hapnikku) teatud vahemaa läbimiseks võrreldes jooksurajal jooksmisega, kuna puudub tuule vastumõju. Sellest lähtuvalt on soovitatud kasutada erinevaid tõusunurki jooksulindil võrdsustamiseks jooksulindil jooksmist jooksurajal jooksmisega (Heck et al., 1985, Jones & Doust, 1996). Tõusunurk 1% on leidnud laialdast kasutust erineva tasemega sportlaste testimisel (Crouter et al., 2001; Ferrauti et al., 2010; Heesch & Slivka, 2015; Lucia et al., 2006; Mooses et al., 2015a; Mooses et al., 2015b; Santos-Concejero et al., 2014b; Santos-Concejero et al., 2015) alates 90. keskpäigast, mil Jones & Doust (1996) näitasid, et see on kõige sobilikum tõusunurk jooksulindil jooksmise hapnikutarbimise võrdsustamiseks jooksurajal jooksmisega. Kiirustel 11 ja 13 km·h⁻¹ olid nii ökonoomsuse näitajad kui ka VE, SLS, BF ning RPE jooksulindil joostes oluliselt kõrgemad võrreldes jooksmisega jooksurajal. Kiirusel 15 km·h⁻¹ aga jäid oluliselt kõrgemaks vaid ökonoomsuse näitajad, VE ning RPE (Tabel 2), mis kinnitab asjaolu, et kiiruste kasvades erinevused jooksulindil ning jooksurajal jooksmises vähenevad. Protsentuaalselt olid jooksjad keskmiselt 7.8%, 5.2% ja 2.7% ökonoomsemad jooksurajal joostes võrreldes jooksulindil (1% tõusunurk) jooksmisega. Meyer et al. (2003) näitasid, et treenitud vastupidavusalade sportlased olid submaksimaalsetel intensiivsustel jooksurajal joostes oluliselt ökonoomsemad võrreldes jooksulindil (tõusunurk 0.5%) jooksmisega, kuid maksimaalse intensiivsuse lähedal erinevusi ei olnud. Sama kinnitas ka Mooses et al. (2015b) uuring, kus kiirusel 16 km·h⁻¹ (intensiivsus allapoole anaeroobset läve) joostes olid Eesti tasemel kesk- ja pikamaajooksjad jooksurajal

oluliselt ökonoomsemad (madalam $\dot{V}O_{2S}$) võrreldes jooksulindiga (tõusunurk 1%), kuid maksimaalsel pingutusel erinevus $\dot{V}O_{2max}$ väärtustes puudus.

Lisaks objektiivsetele näitajatel hindasid kõik uuringus osalenud sportlased tajutavat pingutust igal joostud kiirusel jooksurajal oluliselt madalamaks võrreldes jooksulindiga, mis on kooskõlas ökonoomsuse ja VE parameetritega. Seda kinnitab ka LaCaille et al. (2003) läbiviidud uuring, kus jooksulindil joostud 5 km aeg oli kehvem ning RPE näitajad kõrgemad võrreldes jooksurajal jooksmisega (LaCaille et al., 2003). Sarnaste tulemusteni on jõudnud ka Harte & Eifert (1995) ning Rejeski (1985). Kõrgemat RPE-d jooksulindil võivad põhjustada psühholoogilised tegurid nagu näiteks saavutusmotivatsioon (Stephens et al., 2000). Varasemalt on näidatud, et kui sportlasel palutakse joosta intensiivsusega, mis vastab samale RPE tasemele nii jooksulindil kui ka jooksurajal, siis jooksurajal on kiirus oluliselt suurem (Ceci & Hassmén, 1991).

Võrreldes SLS-i, siis kiirustel 11 ja 13 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ oli see jooksurajal joostes oluliselt madalam võrreldes jooksulindil jooksmisega. Suuremal kiirusel SLS olulisele erinevusele ei viita ka Heesch & Slivka (2015) uuring, mille eesmärk oli füsioloogiliste ja termoregulaatorsete näitajate mõju uurimine sooritusele 10 km tempojooksul sportlase poolt vabalt valitud kiirustel. Uuringus kasutati sarnaselt käesolevale uuringule 200 m sisehalli jooksurada ning 1% tõusunurgaga jooksulinti. Käesoleva, 17 vaatlusalusega läbitud uuringu tulemused ei näidanud olulist erinevust laktaadi kontsentratsioonid kahe erineva jooksutingimuse vahel. Crouter et al. (2001) võrdlesid laktaadi ning SLS-i erinevusi maksimaalse pingutuse korral jooksulindil ning ühe miili täiskiirusel jooksmist sisehalli 200 m jooksurajal. Erinevust SLS-is ei täheldatud, kuid maksimaalne laktaadi kontsentratsioon oli sisehallis joostes oluliselt kõrgem võrreldes jooksulindil mõõdetud laktaadi näiduga. Saadud tulemuste põhjal võib öelda, et SLS on oluliselt madalam sisehallis joostes madalamatel kiirustel võrreldes jooksulindiga, kuid intensiivsuse tõustes antud erinevus kaob.

Parem ökonoomsus jooksurajal võib olla osaliselt seotud madalama VE-ga. Käesolevas uuringus olid sportlaste VE vastavalt 6.7, 6.0 ning 3.8% madalam võrreldes jooksulindil jooksmisega, mis on samas suurusjärgus varem publitseeritud andmetega, kus näidati et 8.8% parem ökonoomsus kaasnes 11.2% madalama ventilatsiooniga jooksurajal võrreldes jooksulindiga (tõusunurk 1%) kiirusel 16 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (Mooses et al., 2015b). On teada, et ventileerimiseks kuluv energiahulk jooksmisel on 7-8% kogu energiakulust (Milic-Emili et al., 1962) ning madalam VE tähendab omakorda madalamaid $\dot{V}O_2$ väärtuseid jooksmisel (Bailey & Pate, 1991; Pate et al., 1992; Thomas et al., 1999).

Hoolitama tõsiasjast, et juba 1970. aastal läbiviidud uuring (Pugh, 1970) näitas, et eemaldades jooksurajal õhutakistuse, kasutasid sportlased siiski jooksurajal rohkem energiat võrreldes jooksulindiga, on hilisemad uuringud jätkuvalt kinnitanud, et jooksulindil puuduv tuule vastumõju on peamine faktor, mille tõttu on jooksulindil joostes parem ökonoomsus võrreldes jooksurajaga (Jones & Doust, 1996; van Ingen Schenau, 1980). Eelnevat arvesse võttes on alust eeldada, et lisaks tuule vastumõjule võib erinevas energiakulus rolli mängida erinevused jooksutehnikas (Frishberg, 1983) ning seda on hiljem toetanud ka Saunders et al. (2004). Vaadeldes käesolevas uuringus leitud erinevusi jooksutehnikas, siis kiirusel 11 ja 13 km·h⁻¹ oli jooksulindil joostes äratõukefaasis oluliselt väiksem nurk tugijala hüppeliigeses (AATO). See viitab asjaolule, et nendel kiirustel jätab jooksja tõuke “pooleli” ning ei rakenda liigutuslikku potentsiaali täielikult. Suuremat nurka on varasemalt seostatud parema RE-ga (Williams & Cavanagh, 1986), mis võib osaliselt selgitada asjaolu, et käesolevas uuringus saavutati paremad RE näitajad jooksurajal. Lisaks leiti, et nurk puusaliigeses äratõukefaasis (HF) on oluliselt väiksem jooksulindil kiirusel 11 km·h⁻¹ võrreldes jooksurajaga, mis tähendab, et jooksja tõstab jooksulindil joostes antud kiirusel põlve kõrgemale võrreldes jooksurajal jooksmisega. Vastupidiseid tulemusi on näitanud Schache et al. (2001), kes leidsid puusa painduvuse suurenemise jooksurajal joostes võrreldes jooksulindiga. Neid tulemusi saab seostada lühenenud sammu pikkusega jooksulindil joostes (Wank et al., 1998). Toefaasis, kiirusel 11 km·h⁻¹ oli aga tugijala sääre ja reie vaheline nurk (KAS) oluliselt väiksem sisehallis võrreldes jooksulindil jooksmisega. Erinevused jooksutehnikas viitavad asjaolule, et jooksulindil joostes oli sportlased kõrgemas asendis, tõstis põlve vähem ning kesktoefaasis oli jalg rohkem keha masskeskme all võrreldes jooksurajal jooksmisega. Samal ajal oli aga äratõuge passiivsem. Kõik see kokku viib sammusageduse suurenemiseni jooksulindil jooksmisel. Sammuseduse suurenemist jooksulindil joostes toetavad ka mitmed varasemad uuringud (Elliott & Blanksby, 1976; Riley et al., 2008). Võiks arvata, et väiksem sammude arv viitab ökonoomsemale jooksule. Cavanagh & Williams (1982) ja Perl et al. (2012) aga töid välja, et 180 sammu minutis on ökonoomsem, kui väiksema sagedusega jooks. Samas toovad Cavanagh & Williams (1982) ning Högberg (1952) ka välja selle, et eduka pikamaajooksja ökonoomsust seostatakse kombineeritult vabalt valitud sammuseduse ning pikkusega, mistõttu võib arvata, et kõige ökonoomsem sammusedus ning sammu pikkus on iga sportlase jaoks individuaalne. Antud uuringust aga kerkib küsimus kas positiivsed muutused jooksutehnikas, mis tulevad esile aeglasel jooksmisel jooksulindil võrreldes jooksurajaga viivad sammuseduse nõ vabatahtliku suurenemiseni või vastupidi, sportlane tunneb sundi suurendada sammusedust. Esimene asjaolu viitab RE paranemisele, teine aga langusele.

Käesoleva uuringu oluliseks puuduseks võib pidada asjaolu, et jooksutehnika analüüsi oli võimalik teostada vaid videolt ning puudusid sammutsükli ajalised karakteristikud (näiteks kontaktaeg, lennufaasi kestus, erinevused vasaku ja parema jala töös jne). Töö tugevusena on oluline märkida RE hindamist kolmel peamiselt treeningutel kasutatavatel kiirustel üksteise järel jooksurajal ja jooksulindil, mis välistab hapnikuanalüsaatori kalibreerimisest ning ruumi temperatuuri ning õhuniiskuse mõju töö tulemustele. Näitaja, millele käesolev uuring küll ei keskendunud, kuid mida meie teadusgrupi liikmed koostöös USA teadlastega mõõtnud on puudutavad erinevusi jooksuraja ning jooksulindi rajakatte omadustes. Näiteks Razzook et al. (2016) leidsid lihtsat korvpalli põrketesti kasutades, et jooksurada tagastas 27.7% rohkem energiat võrreldes jooksulindiga. Kui palju see mõjutab otseselt RE jooksmisel, jääb järgnevate uuringute küsimuseks. Lisaks on soovitatav järgmiste uuringute läbiviimisel tähelepanu pöörata asjaolule, et erinevatel kiirustel jooksulindil joostes võib olla soovitatav kasutada erinevaid tõusunurki selle asemel et kogu test teha 1% tõusunurgaga.

Käesolev uurimistöö näitas, et jooksulindil 1% tõusunurgaga joostes kulutavad jooksulindiga kohanenud vastupidavusalade sportlased oluliselt rohkem energiat ehk on ebaökonomsemad võrreldes jooksurajal jooksmisega. Võttes arvesse kaasaegseid uuringuid antud valdkonnas (Mooses et al., 2015b; Meyer et al., 2003) võib arutleda, et jooksulindil jooksmise energiakulu samaväärsele tasemele viimiseks jooksurajaga ei piisa ühest kindlast tõusunurga kasutamisest, vaid tõenäoliselt on otstarbekas kasutada erinevaid tõusunurkasid jooksulindil lähtuvalt jooksmise intensiivsusest.

6. JÄRELDUSED

- 1) Vastupidavusalade sportlastel, kes on jooksulindil jooksmisega harjunud, on oluliselt parem RE jooksurajal võrreldes 1% tõusunurgaga jooksulindil jooksmisega.
- 2) Erinevused jooksutehnikas submaksimaalsetel intensiivsustel on põhjuseks miks jooksulindil joostes submaksimaalsetel intensiivsustel on sammusagedus kõrgem või näitab sellesuunalist trendi võrreldes jooksurajal jooksmisega.
- 3) Intensiivsuse tõustes erinevused nii RE-s kui ka teistes füsioloogilistes parameetrites ning tehnilistes karakteristikutes jooksmisel jooksuraja ning jooksulindil.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Bailey SP, Pate RR. Feasibility of improving running economy. *Sports Med* 1991; 12: 228-36.
2. Bartlett R. *Sports Biomechanics: Reducing injury and improving performance*. London: E & FN Spon; 1999.
3. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 1982; 14(5): 377-81.
4. Bragada JA, Santos PJ, Maia JA, Colaço PJ, Lopes VP et al. Longitudinal Study in 3,000 m Male Runners: Relationship between Performance and Selected Physiological Parameters. *J Sports Sci Med* 2010; 9(3): 439-44.
5. Bransford DR, Howley ET. Oxygen cost of running in trained and untrained men and women. *Med Sci Sports* 1977; 9(1): 41-4.
6. Cavanagh PR, Pollock ML, Landa J. A biomechanical comparison of elite and good distance runners. *Ann N Y Acad Sci* 1977; 301: 328-45.
7. Cavanagh PR, Williams KR. The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance running. *Med Sci Sports Exerc* 1982; 14(1): 30-5.
8. Ceci R, Hassmén P. Self-monitored exercise at three different RPE intensities in treadmill vs field running. *Med Sci Sports Exerc* 1991; 23(6): 732-8.
9. Crouter S, Foster C, Esten P, Brice G, Porcari JP. Comparison of incremental treadmill exercise and free range running. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33(4): 644-7.
10. Dumke CL, Pfaffenroth CM, McBride JM, McCauley GO. Relationship between muscle strength, power and stiffness and running economy in trained male runners. *Int J Sports Physiol Perform* 2010; 5(2): 249-61.
11. Elliott BC, Blanksby BA. A cinematographic analysis of overground and treadmill running by males and females. *Med Sci Sports* 1976; 8(2): 84-7.
12. Fellin RE, Manal K, Davis IS. Comparison of lower extremity kinematic curves during overground and treadmill running. *J Appl Biomech* 2010; 26(4): 407-14.
13. Ferrauti A, Bergemann M, Fernandez-Fernandez J. Effects of a concurrent strength and endurance training on running performance and running economy in recreational marathon runners. *J Strength Cond Res* 2010; 24(10): 2770-8.
14. Frishberg BA. An analysis of overground and treadmill sprinting. *Med Sci Sports Exerc* 1983; 15(6) :478-85.
15. Harte JL, Eifert GH. The effects of running, environment, and attentional focus on athletes' catecholamine and cortisol levels and mood. *Psychophysiology* 1995; 32(1): 49-54.

16. Heck H, Mader A, Hess G, Mucke S, Muller R, et al. Justification of the 4 mM lactate threshold. *Int J Sports Med* 1985; 6: 117-30.
17. Heesch MW, Slivka DR. Running performance, pace strategy, and thermoregulation differ between a treadmill and indoor track. *J Strength Cond Res* 2015; 29(2): 330-5.
18. Högberg P. How do stride length and stride frequency influence the energy-output during running? *Arbeitsphysiologie* 1952; 14(6): 437-41.
19. Hussain I, Ansari NW. Influence of kinematics variables on distance running during competition. *Int J Sports Sci* 2013; 3(3): 63-67.
20. Jones AM, Doust JH. A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. *J Sports Sci* 1996; 14(4): 321-7.
21. Kyröläinen H, Belli A, Komi PV. Biomechnacial factors affecting running economy. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33(8): 1330-7.
22. LaCaille RA, Masters KS, Heath EM. Effects of cognitive strategy and exercise setting on running performance, perceived exertion, affect, and satisfaction. *Psychol Sport Exerc* 2003: 461–76.
23. Lavcanska V, Taylor NF, Schache AG. Familiarization to treadmill running in young unimpaired adults. *Hum Mov Sci* 2005; 24: 544-57.
24. Lees A. Technique analysis in sports: a critical review. *Int J Sports Sci* 2002; 20: 813-28.
25. Léger L, Mercier D. Gross energy cost of horizontal treadmill and track running. *Sports Med* 1984; 1(4): 270-7.
26. Liebermann DG, Katz L, Hughes MD, Bartlett RM, McClements J et al. Advances in the application of information technology to sport performance. *J Sport Sci* 2002; 20: 755-69.
27. Lucia A, Esteve-Lanao J, Oliván J, Gómez-Gallego F, San Juan AF, et al. Physiological characteristics of the best Eritrean runners-exceptional running economy. *Appl Physiol Nutr Metab* 2006; 31(5): 530-40.
28. Meyer T, Welter JP, Scharhag J, Kindermann W. Maximal oxygen uptake during field running does not exceed that measured during treadmill exercise. *Eur J Appl Physiol* 2003; 88(4-5): 387-9.
29. Milic-Emili G, Petit JM, Deroann R. Mechanical work of breathing during exercise in trained and untrained subjects. *J Appl Physiol* 1962; 17: 43-6.
30. Mooses M, Mooses K, Haile DW, Durussel J, Kaasik P, et al. Dissociation between running economy and running performance in elite Kenyan distance runners. *J Sports Sci* 2015a; 33(2): 136-44.

31. Mooses M, Tippit B, Mooses K, Durussel J, Mäestu J. Better economy in field running than on the treadmill: evidence from high-level distance runners. *Biol Sport* 2015b; 32(2): 155-9.
32. Morgan DW, Baldini FD, Martin PE, Kohrt WM. Ten kilometer performance and predicted velocity at VO₂max among well-trained male runners. *Med Sci Sports Exerc* 1989; 21(1): 78-83.
33. Nelson RC, Dillman CJ, Lagasse P, Bickett P. Biomechanics of overground versus treadmill running. *Med Sci Sports* 1972; 4(4): 233-40.
34. Nigg BM, De Boer RW, Fisher V. A kinematic comparison of overground and treadmill running. *Med Sci Sports Exerc* 1995; 27(1): 98-105.
35. Ogueta-Alday A, Rodríguez-Marroyo JA, García-López J. Rearfoot striking runners are more economical than midfoot strikers. *Med Sci Sports Exerc* 2014; 46(3): 580-5.
36. Paavolainen L, Häkkinen K, Hämmäläinen I, Nummela A, Rusko H. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol* (1985) 1999; 86(5): 1527-33.
37. Pate RR, Macera CA, Bailey SP, Bartoli WP, Powell KE. Physiological, anthropometric, and training correlates of running economy. *Med Sci Sports Exerc* 1992; 24(10): 1128-33.
38. Perl DP, Daoud AI, Lieberman DE. Effects of footwear and strike type on running economy. *Med Sci Sports Exerc* 2012; 44(7): 1335-43.
39. Pugh LG. Oxygen intake in track and treadmill running with observations on the effect of air resistance. *J Physiol* 1970; 207(3): 823-35.
40. Razzook A, Viru M, Mooses M. What can a basketball's bounce tell us about the surface-floor characteristics of different terrain? Center for Biomechanical Engineering Research National Biomechanics Day; 2016 Apr 7; University of Delaware.
41. Rejeski WJ. Perceived exertion: an active or passive process? *J Sport Psychol* 1985; 7: 371-8.
42. Riley PO, Dicharry J, Franz J, Della Croce U, Wilder RP, et al. A kinematics and kinetic comparison of overground and treadmill running. *Med Sci Sports Exerc* 2008; 40(6): 1093-100.
43. Riley PO, Paolini G, Della Croce U, Paylo KW, Kerrigan DC. A kinematic and kinetic comparison of overground and treadmill walking in healthy subjects. *Gait Posture* 2007; 26(1): 17-24.
44. Santos-Concejero J, Oliván J, Maté-Muñoz JL, Muniesa C, Montil M, et al. Gait-cycle characteristics and running economy in elite Eritrean and European runners. *Int J Sports*

- Physiol Perform 2015; 10(3): 381-7.
45. Santos-Concejero J, Tam N, Granados C, Irazusta J, Bidaurrezaga-Letona I, et al. Interaction effects of stride angle and strike pattern on running economy. *Int J Sports Med* 2014a; 35(13): 1118-23.
 46. Santos-Concejero J, Tam N, Granados C, Irazusta J, Bidaurrezaga-Letona I, et al. Stride angle as a novel indicator of running economy in well-trained runners. *J Strength Cond Res* 2014b; 28(7): 1889-95.
 47. Saunders PU, Pyne DB, Telford RD, Hawley JA. Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Med* 2004; 34(7): 465-85.
 48. Schache AG, Blanch PD, Rath DA, Wrigley TV, Starr R, et al. A comparison of overground and treadmill running for measuring the three-dimensional kinematics of the lumbo-pelvic-hip complex. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2001; 16(8): 667-80.
 49. Sinclair J, Richards J, Taylor PJ, Edmundson CJ, Brooks D. Three-dimensional kinematic comparison of treadmill and overground running. *Sports Biomech* 2013; 12(3): 272-82.
 50. Skof B, Stuhec S. Kinematic analysis of Jolanda Ceplak's running technique. *IAAF* 2004; 19:1; 23-31.
 51. Stephens DE, Janz KF, Mahoney LT. Goal orientation and ratings of perceived exertion in graded exercise testing of adolescents. *Percept Mot Skills* 2000; 90: 813-22.
 52. Thomas DQ, Fernhall B, Grant H. Changes in running economy during a 5km run in trained men and women runners. *J Strength Cond Res*. 1999; 13: 162-7.
 53. Van Caekenberghe I, Segers V, Willems P, Gosseye T, Aerts P, et al. Mechanics of overground accelerated running vs. running on an accelerated treadmill. *Gait Posture* 2013; 38(1): 125-31.
 54. van Ingen Schenau GJ. Some fundamental aspects of the biomechanics of overground versus treadmill locomotion. *Med Sci Sports Exerc* 1980; 12: 257-61.
 55. Vogler AJ, Rice AJ, Gore CJ. Validity and reliability of the Cortex MetaMax3B portable metabolic system. *J Sports Sci* 2010; 28(7): 733-42.
 56. Wank V, Frick U, Schmidtbleicher D. Kinematics and electromyography of lower limb muscles in overground and treadmill running. *Int J Sports Med* 1998; 19(7): 455-61.
 57. Williams KR. Biomechanics of running. *Exerc Sport Sci Rev* 1985; 13: 389-441.

LISAD

Lisa 1. Uuringus kasutusel olnud protokoll (lk 1).

Collection sheet

RE track & treadmill

Calibration

Investigator Name: _____

Date: _____ /2016

Test scheduled time: _____

Time: _____

Calibration details

Metamax 3B switched on: _____

Time calibration start: _____

Successful at first attempt:

If not comments:

1) Room air

2) Turbine

3) Calibration gas

4) Gas tank closed and detached _____

Time calibration successfully completed: _____

Comments: _____

Subject details

Subject ID: _____

Shoe name: _____

Body weight (kg): _____

Shoe weight (left): _____

Body height (cm): _____

Description of clothing: _____

Camera placement

Type of camera: _____

Camera settings: _____

Height from ground (cm): _____

Distance from treadmill centre (cm): _____

Lisa 2. Uuringus kasutusel olnud protokoll (lk 2).

Running test

Warm-up 10 min 10 km/h: HR (bpm): _____ Lac (mmol/l): _____ RPE: _____

1	Cond:	Speed:	Time: 00:00
	HR:	Lac (mmol/l):	RPE:
	Camera start time:		Filename:
	Walk 2 min + sitting in the chair 3 min		Time: 04:00

2	Cond:	Speed:	Time: 09:00
	HR:	Lac (mmol/l):	RPE:
	Camera start time:		Filename:
	Walk 2 min + sitting in the chair 3 min		Time: 13:00

3	Cond:	Speed:	Time: 18:00
	HR:	Lac (mmol/l):	RPE:
	Camera start time:		Filename:
	Walk 2 min + sitting in the chair 3 min		Time: 22:00

4	Cond:	Speed:	Time: 27:00
	HR:	Lac (mmol/l):	RPE:
	Camera start time:		Filename:
	Walk 2 min + sitting in the chair 3 min		Time: 31:00

5	Cond:	Speed:	Time: 36:00
	HR:	Lac (mmol/l):	RPE:
	Camera start time:		Filename:
	Walk 2 min + sitting in the chair 3 min		Time: 40:00

6	Cond:	Speed:	Time: 45:00
	HR:	Lac (mmol/l):	RPE:
	Camera start time:		Filename:

Investigator Name: _____

Investigator Signature: _____

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina _____ Rasmus Pind _____

(sünnikuupäev: _____ 17.03.1992 _____)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Parem jooksu ökonoomsus jooksurajal võrreldes jooksulindil jooksmisega, mille juhendajad on Martin Mooses, Kerli Mooses, Silva Suvi,

1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace´i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartu, 16.05.2016