

TARTU ÜLIKOOL

Spordipedagoogika ja treeninguõpetuse instituut

Bert Tippi

**Eesti ja Kenya jooksjate ökonoomsus ning maksimaalne aeroobne võimekus: jooksulint
vs staadion**

Magistritöö

Kehalise kasvatuse ja spordi õppekava

Juhendaja: MSc Martin Mooses

Kaasjuhendaja: dotsent Jarek Mäestu

Tartu 2014

Sisukord

| | |
|---|----|
| Sissejuhatus | 3 |
| 1. Kirjanduse ülevaade | 4 |
| 1.1. Mis on jooksu ökonoomsus? | 4 |
| 1.2. Jooksu ökonoomsuse olulisus..... | 5 |
| 1.3. Jooksu ökonoomsus jooksulindil ja staadionil | 7 |
| 1.4. Kuidas jooksu ökonoomsust mõõdetakse? | 8 |
| 1.5. Antropomeetria ja biomehaanika jooksu ökonoomsuse mõjutajatena | 9 |
| 2. Töö eesmärk ja ülesanded..... | 13 |
| 3. Metoodika..... | 14 |
| 3.1. Uuritavad | 14 |
| 3.2. Uuringu disain | 14 |
| 3.3. Antropomeetria..... | 14 |
| 3.4. Kasvavate koormustega test staadionil..... | 16 |
| 3.5. Kasvavate koormustega test liikoval jooksurajal | 17 |
| 3.6. Statistiline analüüs..... | 18 |
| 4. Töö tulemused | 19 |
| 5. Tulemuste arutelu | 23 |
| 5.1. Ökonoomsus ning maksimaalne aeroobne võimekus jooksulindil ning staadionil joostes | 23 |
| 5.2. Kenya ja Eesti jooksjate antropomeetrilised näitajaid..... | 25 |
| 5.3. Uuringu piirangud | 27 |
| 6. Järeldused | 28 |
| 7. Praktilised soovitused..... | 29 |
| Kasutatud kirjandus | 30 |
| Summary..... | 36 |
| Lisad | 37 |

Sissejuhatus

Võistlustulemus kesk- ja pikamaajooksudes sõltub mitmetest teguritest, näiteks maksimaalsest aeroobsest võimekusest ($\dot{V}O_{2max}$), võimest töötada pika aja vältel kõrgel intensiivusel $\dot{V}O_{2max}$ -ist (*fractional utilization of $\dot{V}O_{2max}$*) ja jooksu ökonoomsusest (*running economy – RE*). RE-st on käsitletud teaduskirjanduses oluliselt vähem, kui teisi vastupidavust mõjutavaid faktoreid (Foster & Lucia 2007). Ida-Aafrika (Kenya, Etioopia, Eritrea, Uganda) jooksjad on olnud domineerivaks jõuks kesk- ja pikamaajooksudes viimastel aastakümnetel ning kuigi nende edu põhjuseid on intensiivselt uuritud, kuid ei ole siiski jõutud üksmeelele. Antud regiooni jooksjate $\dot{V}O_{2max}$ näitajad ei erine oluliselt Euroopa jooksjate näitajatest. Teaduskirjanduses esitatud andmed Aafrika jooksjate parema RE kohta on samuti vastuolulised (Santos-Concejero *et al.*, 2013; Weston *et al.*, 2000). Seetõttu on RE uurimisele üha suurenevat tähelepanu pööratud.

Liikuvat jooksurada ehk *treadmilli* on traditsiooniliselt kasutatud nii $\dot{V}O_{2max}$ -i kui ka RE määramiseks. Sellepärast viiakse enamasti ka RE testid läbi jooksulindil standardiseeritud laboratoorses tingimustes. Viimase aastakümne tehnoloogilised uuendused ning treenerite ja sportlaste huvi alaspetsiifiliste testide vastu on teinud võimalikuks samade andmete kogumise ka staadionil joostes, kus sportlane on rohkem loomulikumatel treening- ja/või võistlustingimustes (Vogler *et al.*, 2010). Jooksmine liikoval jooksurajal erineb staadionil jooksmisest peamiselt tuule takistava mõju puudumise tõttu (Saunders *et al.* 2004; Jones & Doust, 1996). Lähtuvalt eelnevast on leitud, et jooksjad on jooksulindil joostes ökonoomsemad võrreldes samal kiirusel staadionil joostes, kuna ei ole vaja ületada õhutakistust. Jones & Doust (1996) näitasid, et sise- ja välistingimuste ühtlustamiseks on soovitatav kasutada jooksulindil 1%-st tõusunurka, mis peaks hästi imiteerima väljas jooksmist. Seoses tehnoloogia arenemisega ning uute, mugavamate ja väiksemate seadmete leiutamisega on viimase kümnendi teadusuuringud näidanud ka vastupidiseid tulemusi (Meyer *et al.*, 2003). On jõutud üksmeelele, et puuduvad erinevused $\dot{V}O_{2max}$ väärtustes välistingimustes ning jooksulindil joostes, kuid endiselt jätkub diskussioon RE näitajate osas.

Käesolev magistritöö ning selle põhjal koostamisel olev teadusartikkel "*Better economy on field running than on treadmill: evidence from high level distance runners*" uurivad RE-st ning $\dot{V}O_{2max}$ näitajaid kõrgel tasemel Kenya ning Eesti jooksjatel liikoval jooksurajal ning staadionil joostes. Lisaks on magistritöö kasutatud ka võrdlusandmeid Kenya jooksjatel.

1. Kirjanduse ülevaade

1.1. Mis on jooksu ökonoomsus?

Kesk- ja pikamaajooksu tulemused, eriti pikematel distantsidel nagu maraton, on mõjutatud paljudest füsioloogilistest faktoritest (Joyner, 1991) nagu:

- 1) $\dot{V}O_{2max}$,
- 2) võimest säilitada kõrget % $\dot{V}O_{2max}$ -ist pikema aja jooksul (Foster & Lucia, 2007; Jones & Carter, 2000; Di Prampero *et al.*, 1993),
- 3) väikesest energiakulust submaksimaalsetel jooksukiirustel ehk ökonoomsusest.

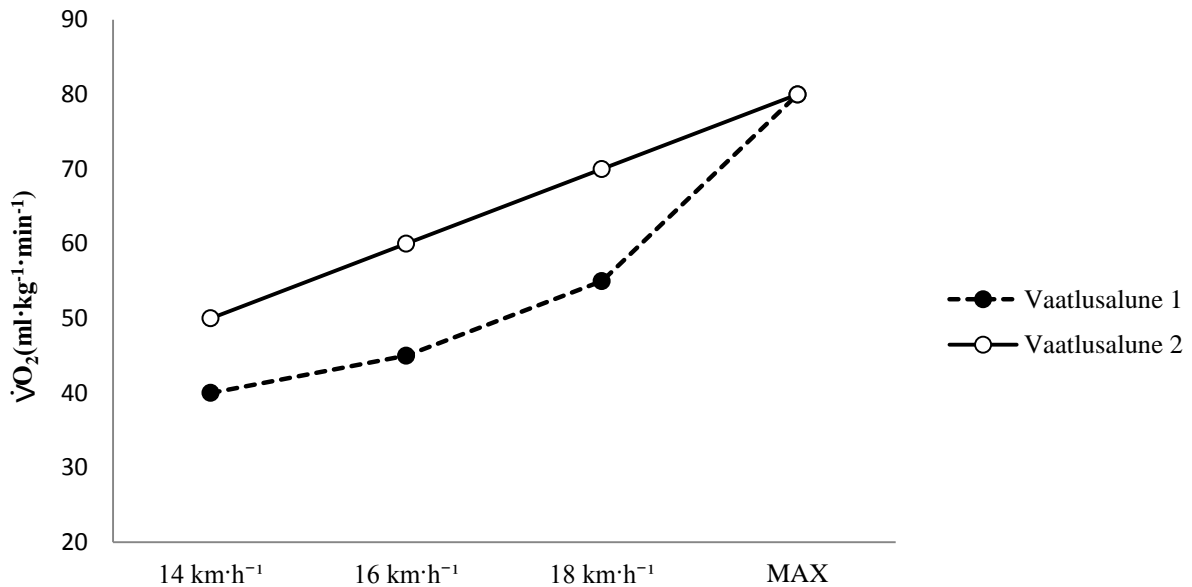
Viimasena nimetatud faktor on üks viis kirjeldada RE-st ning seda on uuritud oluliselt vähem kui teisi jooksu tulemust mõjutavaid faktoreid. RE defineeritakse kui hapnikutarbimist ($\dot{V}O_2$) mingil kindlal submaksimaalsel jooksukiirusel. Võttes arvesse sportlase keha massi, tarbivad parema RE-ga jooksjad samal intensiivsusel vähem hapnikku kui kehvema RE-ga jooksjad. RE ja võistlustulemuse vahel on leitud tugev seos ning on leitud, et RE on jooksutulemuse prognoosimisel $\dot{V}O_{2max}$ -st parem indikaator kui vaadeldava jooksjategrupi $\dot{V}O_{2max}$ väärtused on sarnasel tasemel ehk grupp on homogeenne (Saunders *et al.*, 2004; Abe *et al.*, 1998; Coetzer *et al.*, 1993, Conley & Krahenbuhl, 1980; Costill & Winrow, 1970).

RE mõõtmise eesmärgiks on leida energia hulk, mida jooksja teatud submaksimaalsel kiirusel kasutab. Oluline on mõõta RE-st submaksimaalsetel intensiivsustel, sest ületades anaeroobse läve intensiivsuse taset, ei saavuta $\dot{V}O_2$ enam stabiilsust ehk püsiseisundit, mis on vajalik RE arvutamiseks (Foster & Lucia, 2007). RE põhimõte seisneb selles, et paremad jooksjad vajavad samal submaksimaalsel kiirusel edasi liikumiseks väiksemat hulka hapnikku ehk väga hea ökonoomsusega jooksja tarbib väikeses koguses hapnikku võimalikult suurel kiirusel. On leitud, et mitmed faktorid võivad mõjutada RE-st: sugu, treenitus, keskkond (temperatuur, kõrgus merepinnast), vanus, biomehaanika, antropomeetria, tuule takistus, sammupikkus, keha erinevate segmentide massi jaotus, lihaskiudude kompositsioon, südamelöögi sagedus, minutimaht ja lihaste võime kasutada ning salvestada elastsusenergiat (Saunders *et al.*, 2004; Turner *et al.*, 2003).

1.2. Jooksu ökonoomsuse olulisus

Di Prampero *et al.* (1993) leidsid, et RE paranemine 5% toob jooksudistantsidel kaasa 3.8% parema tulemuse. Conley & Krahenbuhl (1980) näitasid, et RE ja võistlustulemus on omavahel seotud. Nimelt leiti uuringus osalenud 12 kõrgelt treenitud jooksjal oluline korrelatsioon submaksimaalse $\dot{V}O_2$ (kiirustel 14, 16 ja 18 km·h⁻¹) ja võistlustulemuse vahel ehk ökonoomsemad jooksjad näitasid 10 km jooksus ka paremaid tulemusi. Weston *et al.* (2000) võrdlesid omavahel Kenya ja Hispaania jooksjaid, kes olid võistlustulemuste poolest võrdsel tasemel (10 km võistlustulemused Kenya ja Hispaania jooksjatel vastavalt: 32.8 ± 2.8; 32.0 ± 2.5 min), kuid sealjuures oli Kenya jooksjatel 13% madalam $\dot{V}O_{2max}$. Samas RE oli kenyalastel 5% parem kui hispaanlastel. Kenya jooksjad suutsid joosta ka kõrgemal intensiivsusel oma $\dot{V}O_{2max}$ -st, kuid nende laktaadikontsentratsioon oli sealjuures madalam võrreldes hispaanlastega. Need uuringud näitavad, et parem RE on seotud parema jooksutulemusega. Nagu eelnevast näha, on palju erinevaid tegureid, mis võivad RE-st mõjutada ning iga faktor (treening, kõrgus merepinnast, temperatuur jne), mis võib vähendada sportlase hapnikutarbimist teatud submaksimaalsel kiirusel, aitavad kokkuvõttes parandada jooksu tulemust.

Maailmatasemel jooksjate keskmine hapnikutarbimine on 75-80 ml·kg⁻¹·min⁻¹. Kindlasti peab suutma hea jooksja säilitada kõrget intensiivsust ehk suuremat protsenti oma $\dot{V}O_{2max}$ tasemest pikema aja vältel – näiteks maratoonarid 80–90% oma $\dot{V}O_{2max}$ -st ning 10 km jooksjad isegi üle 90–95%. Sageli unustatakse ära aga ökonoomsuse tähtsus kui jooksutulemuse üks määraja (Foster & Lucia, 2007). Foster & Lucia (2007) toovad välja, et oluline ei ole sportlase kõrge $\dot{V}O_{2max}$ tase või suutlikkus pikema aja jooksul efektiivselt kasutada ja säilitada kõrget töövõimet, vaid võitja on tavaliselt see, kes jookseb kõige ökonoomsemalt (Joonis 1).



Joonis 1. Kahe jooksja võrdlus, kellel on sarnane $\dot{V}O_{2max}$ näitaja, kuid erinev RE. Vaatlusaluse nr. 1 RE on parem kui vaatlusalusel nr 2. Ökonoomsema jooksja 10 km tulemus on minuti võrra kiirem (Saunders *et al.*, 2004 järgi).

Aafrika jooksjad on erinevatel rahvusvahelistel kesk- ja pikamaajooksu võistlustel väga edukad, kuid senimaani ei ole leitud kindlaid põhjuseid, miks nende tulemused on paremad ülejäänud maailma tulemustest. Uuringud on näidanud, et $\dot{V}O_{2max}$ väärtused ei ole Ida-Aafrika jooksjatel kõrgemad ning seega ei saa sellega seletada Ida-Aafrika jooksjate üleolekut (Coetzer *et al.*, 1993; Bosch *et al.*, 1990). Siinkohal oleks ehk oluline uurida RE-st ning protsenti $\dot{V}O_{2max}$ -ist, mida sportlane suudab kasutada kogu võistluse vältel ehk suhtelist intensiivsust. Bosch *et al.* (1990) uurisid jooksjate füsioloogilisi näitajaid jooksulindil simuleeritud maratonidistantsil. Leiti, et sama protsendi juures (~87%) oma maratoni rekordajast, suutsid Aafrika jooksjad joosta suurema protsendiga oma $\dot{V}O_{2max}$ -st (76% vs 68%, $p < 0.05$). Nende pulsageduse ning hingamiskoefitsendi näitajad olid samuti kõrgemad. Sealjuures on Weston *et al.* (1999) leidnud, et Aafrika 10 km jooksjad suudavad joosta lindil kõrgema protsengiga oma $\dot{V}O_{2max}$ -st (92%) kaks korda kauem kui valedahalised jooksjad. Kõik need uuringud on näidanud, et Aafrika jooksjate võimekus kasutada suhteliselt suuremat osa oma $\dot{V}O_{2max}$ tasemest on parem kui valgenahalistel jooksjatel.

Coetzer *et al.* (1993) võrdlesid musta- ja valgenahalisi jooksjaid ning jooksukiiruse 17 km·h⁻¹ juures ei leitud olulist erinevust suhtelistes $\dot{V}O_{2max}$ näitajates. Selle uuringu puhul oli vahe kehamassis väga suur (mustanahalised = 56kg, valgenahalised = 70kg). Samuti on Saltin *et al.*

(1995) leidnud, et Kenya jooksjad on palju ökonoomsemad kui skandinaavia jooksjad. Weston *et al.* (2000) uurisid sama kehakaaluga ning võrdsel sportlikul tasemel olevad Euroopa ja Aafrika jooksjaid. Oluliseimaks tulemuseks oli Aafrika jooksjate 13% madalam $\dot{V}O_{2peak}$, kuid kiirusel $16.1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 5% parem RE kui Euroopa jooksjatel.

1.3. Jooksu ökonoomsus jooksulindil ja staadionil

Jooksulinti kasutatakse laialdaselt $\dot{V}O_{2max}$ -i, aeroobse ja anaeroobse läve määramiseks, mõõtes selleks gaasivahetuse näitajaid astmeliselt kasvavate koormustega testil. Sarnaselt on RE-st traditsiooniliselt mõõdetud laboratoorsetes tingimustes jooksulindil joostes. Kuigi jooksulindil jooksmine ei ole päris sama, mis välistingimustes jooksmine, võimaldab see hinnata sportlase RE-st ja selle muutumist aja jooksul (Saunders *et al.*, 2004). Teaduse ja tehnika areng võimaldab tänapäeval testida sportlaseid nende loomulikumas treening- ja võistluskeskkonnas. Selleks on loodud portatiivsed gaasianalüsaatorid, mis võimaldavad sportlaste metaboolset võimekust mõõta spordialaspetsiifilises keskkonnas nagu näiteks staadion (Vogler *et al.*, 2010).

Erinevalt välistingimustes jooksmisest, puudub jooksulindil tuule takistav mõju, mis on tuulevaikse ilmaga väljas joostes minimaalselt võrdne jooksja kiirusega. Sellest lähtuvalt on leitud, et välistingimustes tasasel maal tõusudeta pinnal joostes kulutab inimene rohkem energiat kui jooksulindil 0% tõusunurgaga joostes ehk on ebaökonoomsem. Aastal 1996 näidati, et erinevus ökonoomsuses välistingimustes ja jooksulindil joostes on tingitud peamiselt tuule takistavast mõjust ehk jooksja peab tegema välistingimustes rohkem tööd, et liikuda läbi õhu (Jones & Doust, 1996). Antud uuring soovitas jooksulindil kasutada 1% tõusunurka, võrdsustamaks energiakulu välistingimustes jooksmisega. Jones & Doust (1996) on toonud välja 3 aspekti, mille poolest erineb jooksulindil jooksmine väljas jooksmisest:

- 1) jooksulindil puudub tuule mõju;
- 2) kogenud jooksja kulutab lindil vähem energiat, kuna oskab ära kasutada mootori poolt liigutatava lindi energiat;
- 3) muutused jooksutehnikas, mis on tingitud erinevast "rajakattest" ning kehvem tasakaal, mis on tingitud sellest, et lindil joostes on ümbrus pigem staatiline, kui dünaamiline.

Võrdsustamaks tingimusi jooksulindil ja väljas jooksmisel, soovitavad Jones & Doust kasutada jooksulindil 1% tõusunurka. Samas on ka arvamusi, mille kohaselt on 1% tõusunurk liiga suur ning selle tagajärjel on jooksulindil jooksmisel sportlase ökonoomsus madalam. Meyer *et al.* (2003) leidsid, et isegi 0.5% tõusunurk tingib jooksulindil suurema energiakulu kui välistingimustes jooksmine.

Samuti on näidatud, et kui sportlastel paluti välistingimustes joosta sama subjektiivse enesetundega (Borg-i skaalal), millega nad jooksid jooksulindil, siis väljas jooksid kõik sportlased oluliselt suurema kiirusega (Ceci & Hassmen, 1991).

1.4. Kuidas jooksu ökonoomsust mõõdetakse?

Standardne meetod RE mõõtmiseks on hapnikutarbimise ($\dot{V}O_2$) püsiseisundi mõõtmine intensiivsustel allpool anaeroobset läve (Foster & Lucia, 2007). Tavaline uuring RE mõõtmiseks hõlmab endas $\dot{V}O_2$ mõõtmist kindlatel submaksimaalsetel jooksukiirustel. Ökonoomsuse määramisel mõõdetakse $\dot{V}O_2$ püsiseisundit, sest $\dot{V}O_2$ peegeldab kasutatud ATP kogust, mille juures on saadud energia enamasti aeroobse metabolismi tulemus. Selleks, et leida füsioloogilise püsiseisundi näitajad, kasutatakse tavaliselt koormusteste, mis kestavad 4-15 min (piisav aeg, et hapnikutarbimine saavutaks püsiseisundi) (Morgan & Daniels 1994), kuid kiirus peab olema piisavalt madal, et laktaat ei hakkaks veel verre akumulereuma. Suurimaks intensiivsuseks, mille juures vere laktaadikontsentratsioon veel järsult ei kasva, nimetatakse laktaadi maksimaalseks püsiseisundiks (Svedahl & MacIntosh, 2003). Oluline on hoida intensiivsus testi ajal madalamal, kui maksimaalne laktaadi püsiseisund, sest intensiivsematel kiirustel ei saavuta $\dot{V}O_2$ enam püsiseisundit (Bragada *et al.*, 2010). RE-st väljendatakse erinevates uuringutes kui tarbitud hapniku hulka kindla distantsi kohta, enamasti $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ või kui submaksimaalset hapnikutarbimist ehk $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Enamasti määratakse RE kiirusel $268 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ($4.47 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), mis on 3:44 (min:s) kilomeetri kohta. Madalaim registreeritud RE väärtus kiirusel $268 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ on $39.0 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (antud sportlase 1500m isiklik rekord 3:35). Tema $\dot{V}O_{2\text{max}}$ oli sealjuures ainult $63 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (Foster & Lucia, 2007).

RE määramine on väga usaldusväärne meetod sportlase võimekuse määramisel. Individuaalsed testid on näidanud, et saadud tulemused erinevad kordustestide puhul 1.5-5%, mis näitab, et testid on suhteliselt stabiilsed (Morgan *et al.*, 1994). Tulemusi võib testimise

puhul mõjutada ka sportlase kogemus jooksulindil jooksmisega, jalanõud, testimise kellaeg ja eelnev treeningute intensiivsus. Morgan *et al.* (1991) kordasid sportlastega teste mitmeid päevi. Kõik testid toimusid indiviidi jaoks samades tingimustes ning samade jalanõudega. Saadud RE tulemused erinevate testide lõikes olid omavahel tugevas korrelatsioonis. Erinevus oli kõigest 1.3%. Saunders *et al.* (2004) on märkinud, et kõrgetasemeliste sportlase puhul tuleks RE määrata intensiivsusel, mis on vähemalt $\leq 85\%$ sportlase $\dot{V}O_{2max}$ -st.

Füsioloogilised faktorid, mis võivad jooksu ajal RE-st mõjutada on näiteks keha temperatuur, südamelöögi sagedus, ventilatsioon ja laktaadi kontsentratsioon veres. Thomas *et al.* (1999) uurisid, kuidas mõjutavad nimetatud faktorid RE-st 5 km koormustesti puhul. Test viidi läbi jooksulindil kiirusega 80-85% sportlase $\dot{V}O_{2max}$ kiirusest. Leiti, et terve jooksu ajal RE kahanes ning VE, keha temperatuur, laktaadi kontsentratsioon ja südamelöögi sagedus tõusid. VE tõus oli ainukene faktor, mis korreleerus RE langusega.

1.5. Antropomeetria ja biomehaanika jooksu ökonoomsuse mõjutajatena

Jooksmine on iseseisev oskus, milles igal täpselt ajastatud liigutusel on oma eesmärk ja funktsioon (Anderson, 1996). Jooksutehnika muutmine suunas, mille tulemusel jooksja kasutab vähem energiat kindlal kiirusel, parandab tema sooritusvõimet (Cavanagh & Williams, 1982). On täheldatud, et Ida-Aafrika jooksjad on ökonoomsemad, mis võib tuleneda väiksemast keha suuruselt ja peenematest jalgadest (Foster & Lucia, 2007).

Lisaks erinevatele füsioloogilistele parameetritele, on mitmed antropomeetrilised ja keha kompositsiooni väärtused seotud jooksu sooritusega eliit kesk- ja pikamaa ning ultramaratonijooksjate seas (Mooses *et al.*, 2013). Antropomeetrilised näitajad nagu keha pikkus ja mass, jäsemete mõõtmed, keha rasva ja rasvavaba mass ning nahavoltide paksused, mõjutavad jooksu sooritust. Jala pikkus mõjutab otseselt metaboolset energia hulka, mida on vaja jalgade liigutamiseks jooksmisel (Anderson, 1996) ning seetõttu võib jalgade pikkus mäingida olulist rolli RE juures. Sellekohase uuringu viisid läbi Mooses *et al.* (2013), et uurida millised antropomeetrilised ja füsioloogilised parameetrid mõjutavad jooksu tulemuslikkust. Kesk- ja pikamaajooksjatel ei esinenud olulisi erinevusi nahavoltide paksuses, alajäsemete ümbermõõttudes ega pikkuste suhetes. Ainsaks erandiks oli sääre pikkus, mis oli oluliselt pikem keskmaa jooksjate hulgas. Kehamassi poolest grupid omavahel ei erinenud. Üllatuslikult, ei antropomeetrilised ega ka keha kompositsiooni näitajad, ei mõjutanud pikamaajooksjate sooritust. Uuringu tulemuste põhjal järeldati, et spetsiifilised

antropomeetrilised näitajad võivad olla olulised ennustamaks keskmaa-, kuid mitte pikamaajooksjate võistlustulemust (Mooses *et al.*, 2013).

Üks ilmsemaid tunnuseid pikamaajooksjate puhul on see, et nad on väikesed. See tuleb eriti hästi välja Ida-Aafrika jooksjate puhul, kes on isegi jooksja standardite kohaselt väikesed. Lisaks väikesele kehamassile on Ida-Aafrika jooksjatel ka erakordselt peenikesed ja pikad jalad, mis võib olla nende suurepärase ökonoomsuse eelduseks (Lucia *et al.*, 2006). Jooksjad, kellel on proportsionaalselt väiksem alajäsemete mass, teevad jooksmisel vähem tööd kehasegmentide liigutamiseks, tingimisel, et muud faktorid on muutumatud (Myers & Steudel, 1985). Sealjuures, jäseme mass ja massi jaotumine võivad olla olulised parameetrid, mis on seotud jooksu sooritusega (Mooses *et al.*, 2013; Kong & de Heer, 2008; Legaz & Eston, 2005).

Indiviidide vahel võivad RE-s esineda märkimisväärsed erinevused. Rahvusliku tasemega pikamaajooksjate RE erinevus võib olla 20-30% (Saunders *et al.*, 2004; Heise & Martin, 2001). Selleks, et selgitada jooksjate vahelist erinevust nende RE-s, on püstitatud hüpoteesid. Esiteks on püstitatud oletus, et mõned jooksjad on ökonoomsemad, kuna nad tarbivad jalgade liigutamiseks vähem energiat (Holden, 2004; Larsen, 2003). Ometi on ebatõenäoline, et jalgade liigutamine võib RE-st muuta 20-30% ulatuses, kuna kogu jooksu energiakulust läheb jalgade liigutamiseks kõigest umbes 20% (Marsh *et al.*, 2004). Teiseks, arvatakse, et lihasjõu generatsiooni kulu ning suurus määravad metaboolse energia hulga tarvitamise jooksul. See hüpotees on tuntud kui „energia tootmise kulu“ hüpotees (*energy cost hypothesis*) (Kram & Taylor, 1990). Kuigi see määrab suuresti metaboolse kulu erinevate loomaliikide jooksmise vahel, ei saa sellega seletada indiviidide vahelist erinevust (Heise & Martin, 2001). Kolmandaks, on aksepteeritud, et elastsusenergia talletamine ja taaskasutamine kõõlustes, vähendab oluliselt energia vajadust jooksmisel (Cavagna *et al.*, 1964). Erinevused eliitjooksjate RE näitajad võivadki oleneda elastsusenergia talletamisest ning selle taaskasutamisest (reutiliseerimisest). Kasutades lihtsat skeletilihase mudelit, prognoositi, et jooksmisel Achilleuse kõõluses talletatud energia sõltub enam Achilleuse kõõluse jõuõlast, kui selle mehaanilistest omadustest. Võttes arvesse seost elastsusenergia taaskasutuse ja üldise ainevahetuse kulu jooksmisel vahel, peaks väiksem jõuõlg olema seejuures seotud parema RE-ga (Scholz *et al.*, 2008).

Kõõlustes talletatava energiahulga kogus sõltub kõõluse mehaanilistest omadustest (elastsus ja puhkeoleku pikkus) ja jõust, mis venitab kõõlust. Scholz *et al.* (2008) viisid läbi uuringu, mille eesmärgiks oli testida, kas ja kuidas kõõluse mehaanilised omadused ja skeletilihaste

geomeetria võib mõjutada indiviidide vahelist RE varieeruvust. Kuna kõõluse mehaanilisi omadusi ei saa muuta eksperimentaalselt ilma osaleja ja/või liigutuse terviklikkust kahjustamata, läheneti esialgu skeletilihase mudelile ja esitati küsimused: mis on kõige efektiivsem viis täiustamiseks kõõluse energiat antud venitus-lühenemise tsükli jooksul. Selgus, et jõuõlg on tähtsaim tegur energia talletamiseks kõõluses. Samuti leiti tugev seos RE ja Achilleuse kõõluse jõuõla vahel, kus väike jõuõlg oli seotud kõrge energia salvestamise võimega kõõluses. Kõõluses salvestatav energia ei pea olema toodetud kontraktilse elemendi (*contractile element*) poolt. Vähendades kontraktilset elemendi kaudu energia tootmist, on võimalik hoida organismi metaboolne kulu madalamal, sest selle jaoks vajaliku energia tootmine on kõige kulukam protsess lihase kontraktsioonis (Scholz *et al.*, 2008).

Achilleuse kõõlus ja kõõlused jalavõlvil suudavad salvestada vastavalt 35% ja 17% kineetilise ja potentsiaalsest energiast, mis on saavutatud mõõdukal kiirusel jooksmisel (Ker *et al.*, 1987). Jooksmise ajal võib $\dot{V}O_2$ olla 30-40% kõrgem ilma elastsusenergia salvestamise ja taaskasutamiseteta. Suurematel kiirustel on elastsusenergia salvestumine võimalik suuresti tänu kontraktilsele aparaadile (Taylor, 1994).

Elastsuse mahutavus on mõjutatud venivuse ulatusest ja määrast, aktiveeritud kõõlusorganite hulgast ja jäikusest, lihaspikkusest ja ajavahest lihase venituse ja efektiivsete kontsentriiliste kontraktsioonide vahest. Peamine lihaste roll jooksmise ajal on moduleerida vetruvuse jäikust, et maksimaliseerida elastsusenergia kasutamist (Taylor, 1994). Kuigi teadlased ei ole veel teinud kindlaks viisi, kuidas mõõta elastsusenergia salvestamist ja vabastamist kannakõõluses, ollakse üksmeelel, et see on RE seisukohast oluline fenomen. Mida suurem on jooksukiirus, seda suuremaks muutub ka elastsusenergia osakaal. Siinkohal arvatakse, et elastsusenergia salvestumist mõjutavad järgmised tegurid: lihaskompositsioon, sugu ja vanus (Anderson, 1996). Sellegi poolest ei ole täpselt teada kui suurel määral ökonoomsemad jooksjad salvestavad ja taastavad kõõluste elastsusenergiat rohkem, võrreldes ebaökonomsemate jooksjatega. Sellisel juhul ei ole ka ühtegi lõplikku mehaanilist seletust indiviidide vahelise RE erinevuse põhjendamiseks.

Uuringud, mis on uurinud RE-st ja jooksu mehhanisme vahetult pärast väsitavad treeningut, on näidanud väikest muutust ka jooksu kinemaatilises, seletamaks RE vähenemist (Collins *et al.*, 2000; Kyrolainen *et al.*, 2000). Hausswirth *et al.* (1997) on näitnud, et RE halvenes jooksulindil maratoni viimase 45 minuti jooksul, mis olid peamiselt tingitud biomehaanilistest faktoritest, nagu nt suurenenud ettekalle ja sammupikkuse lühenemine. Sarnases uuringus, milles uuriti maratoni jooksmise mõju RE-le oli näha, et nii submaksimaalne $\dot{V}O_2$ kui ka

hingamiskoefitsent tõusid jooksu ajal ja ka 2 tundi pärast maratoni. RE halvenemist ei saa, aga täielikult seletada läbi mehaaniliste muutuste, sest see on seotud ka kõrgeenenud füsioloogilise stressiga (Kyrolainen *et al.*, 2000).

2. Töö eesmärk ja ülesanded

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli võrrelda Kenya ja Eesti jooksjate erinevaid füsioloogilisi parameetreid jooksulindil ja staadionil joostes.

Lähtuvalt eesmärgist püstitati järgmised uurimisülesanded:

- 1) Võrrelda RE näitajaid staadionil ning jooksulindil jooksmisel nii Kenya jooksjatel, kellel puudub varasem jooksulindil jooksmise kogemus kui Eesti jooksjatel, kes regulaarselt kasutavad enda treeningus jooksulinti.
- 2) Võrrelda $\dot{V}O_2\text{max}$ näitajaid staadionil ning jooksulindil jooksmisel nii Kenya jooksjatel, kellel puudub varasem jooksulindil jooksmise kogemus kui Eesti jooksjatel, kes regulaarselt kasutavad enda treeningus jooksulinti.
- 3) Kirjeldada rahvuslikul tasemel Kenya ja Eesti jooksjate füsioloogilisi ning antropomeetrilisi näitajaid.

3. Metoodika

3.1. Uuritavad

Uuringus osales 23 Kenya ja 13 Eesti meessoost pikamaajooksjat. Sportlaste parimate võistlustulemuste iseloomustamiseks kasutati Rahvusvahelise Kergejõustiku Liidu (IAAF) punkttabelit (Spiriev, 2011; Lucia *et al.*, 2008; Legaz & Eston, 2005), mis võimaldab hinnata sportlaste sooritust erinevatel jooksudistantsidel. Uuringu protseduurid ja protokollid olid heaks kiidetud Moi Ülikooli (Kenya), Glasgow Ülikooli (Šotimaa) ja Tartu Ülikooli (Eesti) Eetikakomiteede poolt ning olid vastavuses Helsingi deklaratsiooniga. Kõikidele uuringus osalejatele selgitati testi protseduure ja võimalikke riske ning nad andsid oma kirjaliku informeeritud nõusoleku uuringus osalemiseks.

3.2. Uuringu disain

Käesolev töö põhineb 23 Kenya (Eldoret 2200 m ü.m.p.) ja 13 Eesti (Tartu 30 m ü.m.p.) meesjooksja läbilõikeuuringul. Esimesel laboratoorsel külastusel registreeriti osalejate peamised antropomeetrilised näitajad. Kenya jooksjad läbisid $\dot{V}O_{2max}$ testi koos RE määramisega jooksulindil ja staadionil juhuslikus järjekorras. Eesti jooksjad läbisid kõigepealt testi staadionil ja seejärel jooksulindil. Staadioni ja jooskulindi testide vahe oli vähemalt 48 tundi. Kogu uuringuperioodi vältel soovitati sportlastel säilitada tavapärane toitumine ning vältida alkoholi tarbimist. Lisaks paluti hoiduda tugevatest treeningutest ning võistlemisest 24 tundi enne testimist, et tagada sportlaste optimaalne valmisolek tugevaks pingutuseks jooksutestil.

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. Lisaks mõõdeti jalgadelt 4 ümbermõõtu (*tight, mid-tight, calf, ankle*) ja 5 pikkust (*tibiale-laterale, trochanterion, iliospinale, tibiale mediale-sphyrion tibiale, foot length*) kasutades Centurion Kit mõõteriistade komplekti (Rosscraft, Surrey, BC, Canada). Lisaks arvutati reie ning kogu jala pikkus järgnevalt:

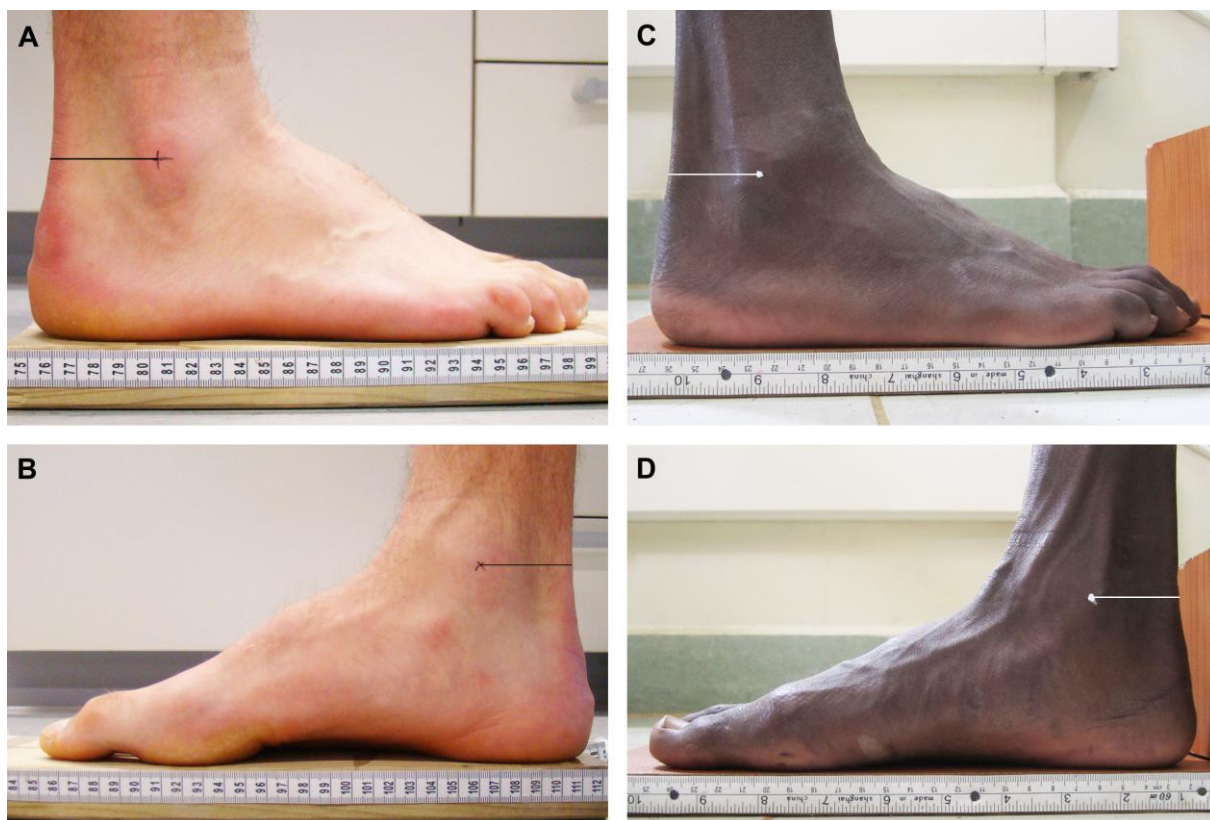
$$\text{reie pikkus} = \text{iliospinale} - \text{tibiale laterale}, \quad (1)$$

ja

$$\text{kogu jala pikkus} = \text{reie pikkus} +$$

$$\text{tibiale mediale sphyrion tibiale (sääre pikkus)}. \quad (2)$$

Achilleuse kõõluse jõuõlg mõõdeti vastavalt varasemas uuringus kirjeldatud metoodikale (Scholz *et al.*, 2008). Achilleuse kõõluse jõuõlg on antud kõõluse keskmine horisontaalne kaugus mediaalsest ja lateraalsest peksist, mõõdetuna istudes, põlve- ja hüppeliiges 90° nurga all (Scholz *et al.*, 2008). Mõõdetava jala lateraalne külj joondati mõõtealuse servaga. *Tibia* (sääreлуу) vertikaalne asend korrigeeriti loodiga. Lateraalne ja mediaalne peks märgiti kõige väljaulatuvamas osas vastavalt eestlastel musta ja kenyalastel valge korrektorvärviga (Joonis 2). Parem jalg pildistati (Canon Digital Camera, IXUS-130, Canon Ltd. Woodhatch, Reigate, Surrey, United Kingdom) lateraalselt ja mediaalselt küljelt ning jõuõlg määrati piltidelt, kasutades Cell A Soft Imaging System Software (Olympus Soft Imaging Solution GmbH, Münster, Germany) tarkvara. Antud meetodi kõrget usaldusväärsust ($r^2 > 0.95$, $p < 0.001$) on kinnitanud Scholz *et al.* (2008). Käesolevas uuringus oli sama uurija poolt kahe nädalase vahega tehtud mõõtmiste puhul korrelatsioon väga kõrge ($r = 0.967$; $p = 0.000$). Eelpool kirjeldatud digitaalselt fotolt mõõtmise meetodit on peetud valiidses ja usaldusväärseks kliiniliseks ning teaduslikuks vahendiks jala struktuuri uurimisel (Cobb *et al.*, 2011).



Joonis 2. Standardiseeritud pilt jalalaba lateraalsest ja mediaalsest küljest Eesti (A ja B) ja Kenya (C ja D) jooksjal.

3.4. Kasvavate koormustega test staadionil

Nii Kenya kui Eesti jooksjad läbisid 400 m staadionil kasvavate koormustega jooksutesti kuni suutlikkuseni. Sportlane järgnes jalgratturile (Joonis 3), kes sõitis tema kõrval-ees vastava kiirusega kasutades selleks spidomeetrit ja GPS seadmeid. Jalgratta spidomeeter (Cateye Velo 05, Osaka, Japan and Avenir, Kent, Washington, USA) kalibreeriti eelnevalt vastavalt tootja juhendile, jooksulindi kiirusele ja 12 kanaliga GPS-ile (Garmin, eTex, Garmin Ltd, Kansas, USA). Eesti jooksjate puhul oli lisaks jooksja külge kinnitatud kaks GPS seadmetega varustatud kella (Polar RS800CX G5, Polar Electro Oy, Kempele, Soome ja Garmin Forerunner 405 Ltd, Kansas, USA), antud GPS seadmete põhjal arvutati koormusastme keskmine kiirus. Enne koormustesti algust seisis kõik sportlased paigal 3 minutit, et registreerida puhkeoleku kardiorespiratoorsed andmed. Esialgne jooksukiirus oli $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ja see kasvas iga 3 minuti järel $2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ kuni saavutati kiirus $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Kiirustel 20 ja $22 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ joosti 2 minutit. Järgnevalt kasvas kiirus $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ iga 2 minuti järel kuni jooksja väsimuseni.



Joonis 3. Kasvavate koormustega test staadionil Kenyas (A) ja Eestis (B).

3.5. Kasvavate koormustega test liikuval jooksurajal

Teine jooksutest oli kasvavate koormustega test liikuval jooksurajal (Kenya jooksjad: Cardionics Type 3113, Sweden; Eesti jooksjad: HP Cosmos Quasar, Nussdorf-Traunstein, Germany) kuni suutlikkuseni (Joonis 4). Enne testi algust seisis kõik sportlased 3 minutit paigal, et koguda puhkeoleku kardiorespiatoorsed andmed. Kenya jooksjad alustasid testi kiirusega $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ tõusunurgaga 1% ning kiirus kasvas $2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ võrra iga 3 minuti järel kuni saavutati kiirus $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Järgmised 3 minutit joosti kiirusega $17 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ja seejärel jäi kiirus konstantseks, kuid iga järgneva minuti järel tõusis jooksulindi nurk 1% võrra kuni sportlase suutlikkuseni. Eesti jooksjate puhul asendati kiirus $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ keskmise kiirusega, mis oli staadionil kõige lähemal kiirusele $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (kahe GPS-i keskmine kiirus). Näiteks, kui jooksja keskmine kiirus oli staadionil $15.7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, asendati lindil kiirus $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ kiirusega $15.7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Kogu staadioni ja jooksulindi testi vältel salvestati sportlase gaasivahetuse näitajad ja südamelöögi sagedus nii Kenya kui Eesti jooksjate puhul kasutades Metamax 3B (Cortex Biophysic GmbH, Leipzig, Germany), mis kalibreeriti enne iga testi algust vastavalt tootja juhendile. $\dot{V}O_{2\text{max}}$ registreeriti kui maksimaalne $\dot{V}O_2$ 30 sekundi jooksul, ning koormuse kasvades $\dot{V}O_2$ näitajate platoo saavutamine (Wasserman *et al.*, 2005). Kui sportlane ei saavutanud $\dot{V}O_2$ näitajas platood, registreeriti see kui $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ mitte kui $\dot{V}O_{2\text{max}}$.



Joonis 4. Kasvavate koormustega test jooksulindil Eestis (A) ja Kenyas (B).

RE mõõdeti viimase 2 minuti jooksul kiirusel, mis oli kõige lähemal kiirusele $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. RE väljendatakse kui kasutatud hapniku hulka ($\text{O}_2 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$), mis arvutati järgmiselt:

$$RE = \frac{1000 \cdot \dot{V}O_2}{v}, \quad (3)$$

kus $\dot{V}O_2$ 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). Püsiseisund tähendab siinkohal seda, et koormusastme viimase 2 minuti vältel ei tõuse sportlase $\dot{V}O_2$ rohkem kui 100 ml (Fletcher *et al.*, 2009). Ümbritseva õhutemperatuuri määramisel kasutati Kenyas Comark Evolution N8006 hügromeetrit (Comark Ltd, Stevenage, United Kingdom) ning Eestis laboratoorset elavhõbeda termomeetrit.

3.6. Statistiline analüüs

Andmete vastavavust normaaljaotusele kontrolliti Shapiro-Wilks'i testiga. Staadioni ning jooksulindi RE, $\dot{V}O_{2\text{max}}$ -i, VE ja südamelöögi sagedust võrreldi paaris t-testi või Wilcoconi testiga. Eesti ja Kenya jooksjate erinevusi analüüsiti Student t-testi või Mann-Whitney U testiga. Korrelatsioonanalüüsis kasutati Pearsoni korrelatsioonikoefitsienti. Andmete analüüsil ja kogumisel kasutati tabelarvutusprogrammi Microsoft Excel 2007 ja statistikapaketti IBM SPSS v. 20 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA). Statistiliselt oluliseks loeti tulemused, mille olulisusenivoo on $p < 0.05$.

4. Töö tulemused

Kenya jooksjad olid IAAF punktitali alusel oluliselt kõrgemal sportlikul tasemel (Kenya: 991 ± 77 ; Eesti 786 ± 111 p, $p = 0.000$), kuid väiksema regulaarse treeningkogemusega (Kenya: 5.6 ± 3.2 ; Eesti 8.3 ± 5.3 a, $p = 0.048$).

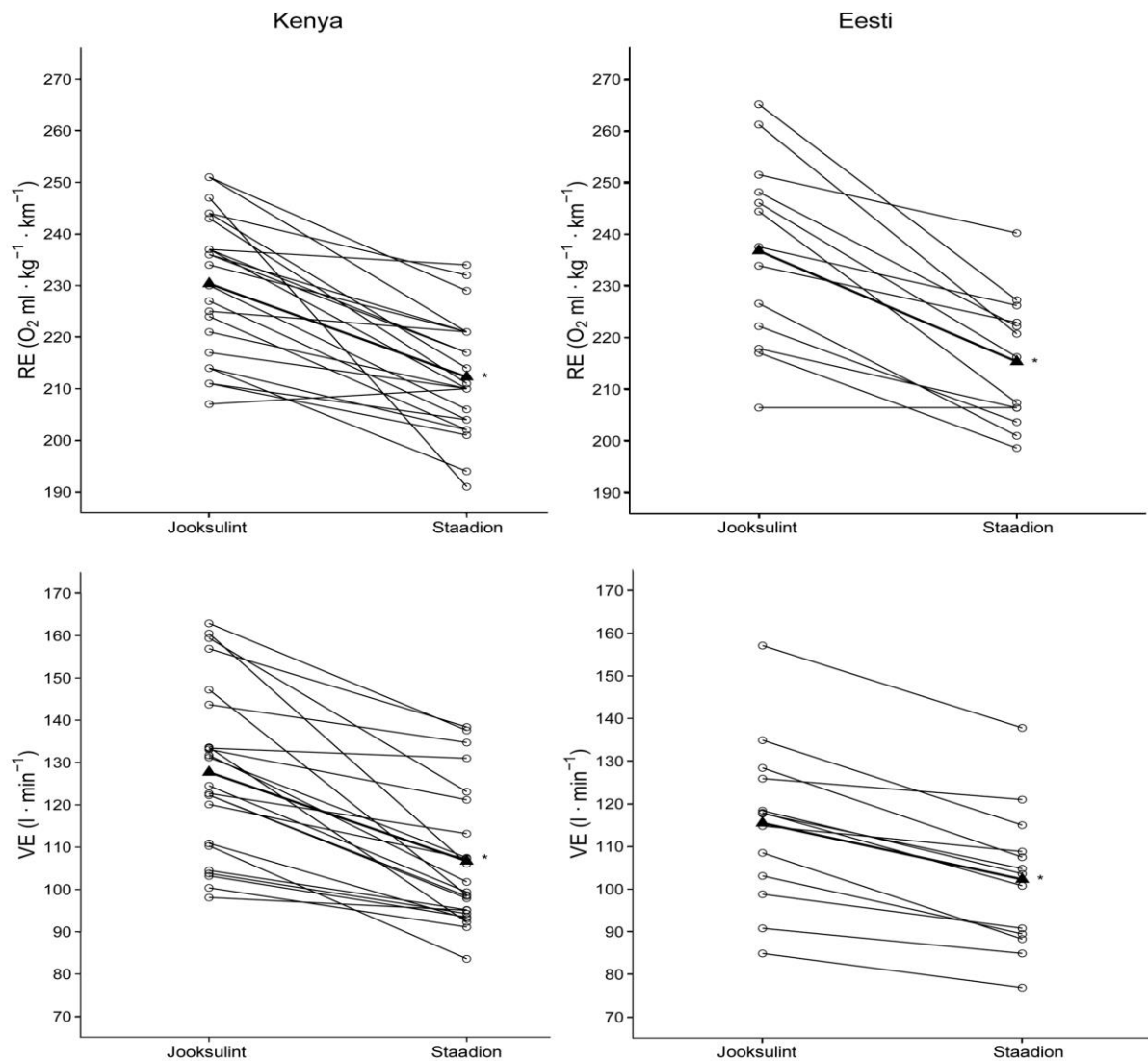
Tabel 1. Osalejate peamised tunused (keskmine \pm SD)

| | Kenya ($n = 23$) | Eesti ($n = 13$) |
|---|--------------------|--------------------|
| Vanus (a) | 25.5 ± 5.6 | 25.4 ± 4.4 |
| Kehamass (kg) | 57.9 ± 5.7 | 69.0 ± 5.9 * |
| Pikkus (m) | 1.74 ± 0.07 | 1.81 ± 0.05 * |
| KMI ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) | 19.2 ± 1.3 | 21.0 ± 1.2 * |
| IAAF (p) | 991 ± 77 | 786 ± 111 * |
| Eelnev regulaarse treeningu kogemus (a) | 5.6 ± 3.2 | 8.3 ± 5.3 * |
| Kodu ja kooli vahemaa (km) | 5.0 ± 2.2 | 3.0 ± 2.5 * |

Kehamassi indeks (KMI), Rahvusvahelise Kergejõustikuliidu punktid (IAAF).

* oluliselt erinev Kenya jooksjatest ($p < 0.05$).

Vaatamata sarnasele $\dot{V}O_{2\max}$ näitajatele (Kenya: 67.6 ± 5.3 vs. 68.9 ± 3.8 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, $p = 0.069$; Eesti: 68.5 ± 5.3 vs. 71.4 ± 6.4 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, $p = 0.105$, vastavalt staadionil ja jooksulindil), oli mõlema grupi puhul parem RE staadionil (Kenya: 211.8 ± 11.0 vs. 230.1 ± 13.4 O_2 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$, $p = 0.000$; Eesti: 215.4 ± 12.4 vs. 236.8 ± 18.0 O_2 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$, $p = 0.000$) võrreldes jooksulindil jooksmisega (Joonis 5). Kenyalased olid staadionil 7.7% ja eestlased 8.8% ökonoomsemad kui jooksulindil. Mõlema grupi puhul oli RE staadionil mõõdukalt korreleeritud RE-ga jooksulindil (Kenya: $r = 0.508$, $p = 0.013$; Eesti: $r = 0.719$, $p = 0.006$).



Joonis 5. Jooksu ökonoomsus (RE) ja ventilatsioon (VE) staadionil ning jooksulindil joostes kiirusel $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. * - oluliselt erinev jooksulindi tingimustest ($p < 0.05$).

Kenya jooksjad näitasid staadionil võrreldes jooksulindiga oluliselt madalamaid ventilatsiooni (VE) ja südamelöögi sageduse näitajaid kiirusel $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (104.9 ± 15.8 vs. $127.1 \pm 19.4 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$, $p = 0.000$; 166.7 ± 10.0 vs. $173.2 \pm 10.1 \text{ bpm}$, $p = 0.000$). Eestlaste puhul oli VE oluliselt madalam (102.3 ± 16.6 vs. $115.5 \pm 19.2 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$, $p = 0.000$), kuid südamelöögi sagedus mitte (169.2 ± 9.6 vs. $170.9 \pm 8.0 \text{ bpm}$, $p = 0.269$) kiirusel $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Erinevused Kenya jooksjate RE-s olid staadionil joostes oluliselt paremad võrreldes jooksulindil jooksmisega ka pärast südamelöögi sageduse suhtes kontrollimist ($r^2 = 0.304$; $p = 0.039$). Kenya jooksjate puhul oli VE jooksulindil 15.8% ja eestlastel 11.2% kõrgem. Suhteliselt parem RE ja madalam VE staadionil joostes ei olnud kahe grupi vahel oluliselt erinev (RE: $p = 0.511$ ja VE: $p = 0.053$).

Kenya ja Eesti jooksjate antropomeetrilised näitajad ning nende suhted on toodud tabelis 2. Kõik mõõdetud übermõõdnud olid Kenya jooksjatel võrreldes Eesti jooksjatega oluliselt väiksemad. Kenya jooksjatel oli kogu jala pikkuse suhe keha pikkusesse ning sääre pikkuse suhe reie pikkusesse suuremad võrreldes Eesti jooksjatega.

Antropomeetrilistest parameetritest oli Kenya jooksjate ökonoomsus liikuval jooksurajal ning staadionil positiivselt korreleeritud ainult reie übermõõduga ($r = 0.587$, $p = 0.003$; $r = 0.495$, $p = 0.016$). Eesti jooksjatel ei leitud ühtegi antropomeetrilist faktorit, mis oleks seotud ökonoomsusega samaaegselt nii liikuval jooksurajal kui ka staadionil.

Tabel 2. Eesti ja Kenya jooksjate peamised antropomeetrised näitajad (keskmine \pm SD)

| | Kenya (n = 23) | Eesti (n = 13) |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| Übermõõdud (cm) | | |
| Reis ülevalt | 49.8 \pm 2.1 | 53.3 \pm 2.8* |
| Reis keskelt | 47.6 \pm 1.9 | 51.0 \pm 2.3* |
| Säär | 33.9 \pm 2.8 | 36.5 \pm 3.2* |
| Hüppeliiges | 20.5 \pm 1.5 | 22.1 \pm 1.2* |
| Pikkused (cm) | | |
| Kogu jalg | 90.7 \pm 4.8 | 91.3 \pm 3.7 |
| Reis | 51.1 \pm 2.8 | 53.5 \pm 3.0* |
| Säär | 39.7 \pm 2.4 | 37.8 \pm 1.9* |
| Jalalaba | 26.4 \pm 1.4 | 27.0 \pm 1.3 |
| Achilleuse kõõluse jõuõlg | 4.05 \pm 0.43 | 4.17 \pm 0.43 |
| Pikkuste suhted (%) | | |
| Kogu jala pikkus keha pikkusesse | 52.3 \pm 1.7 | 50.4 \pm 1.4* |
| Reie pikkus keha pikkusesse | 29.4 \pm 1.2 | 29.5 \pm 1.4 |
| Sääre pikkus keha pikkusesse | 22.8 \pm 0.8 | 20.8 \pm 0.9* |
| Sääre pikkus reie pikkusesse | 77.7 \pm 3.4 | 70.7 \pm 5.1* |

* oluliselt erinev Kenya jooksjatest ($p < 0.05$).

5. Tulemuste arutelu

5.1. Ökonoomsus ning maksimaalne aeroobne võimekus jooksulindil ning staadionil joostes

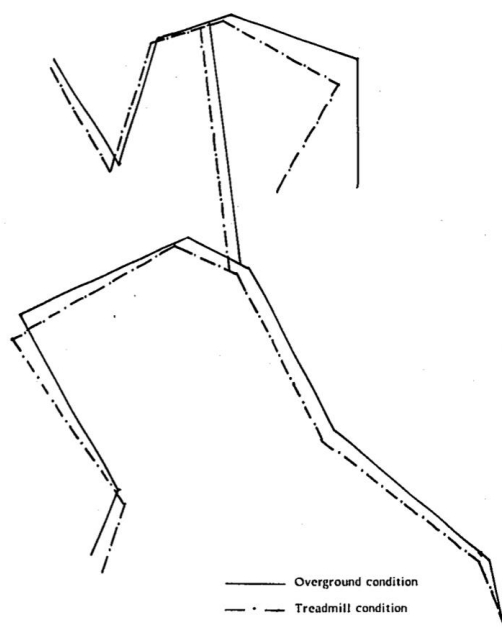
Käesoleva uuringu peamine tulemus oli, et sõltumata etnilisest taustast ning eelnevast jooksulindil jooksmise kogemusest, on kõrgel tasemel kesk- ja pikamaajooksjatel oluliselt parem RE staadionil joostes võrreldes 1% tõusunurgaga jooksulindil jooksmisega.

Jooksulint on tänapäeval väga levinud vahend terviseuuringute ning teiste töövõime testide tegemisel. Samuti on see hea vahend treenimiseks nii harrastus- kui tippspordi tasemel (Riley *et al.*, 2008; Frishberg, 1983). Töövõime testide läbiviimisel on siiski jõutud seisukohale, et mida loomulikemates tingimustes sportlast uurida saab, seda väärtuslikumad on testist saadavad andmed treenerile ja sportlasele. Siinkohal kerkib küsimus, kas muutused, mida leiame laboratoorses tingimustes läbi viidud testide $\dot{V}O_{2max}$ ja RE näitajates, on üle kantavad ka loomulikematesse tingimustesse ehk staadionil jooksmisele. Antud uurimustöö peamiseks eesmärgiks oli võrrelda kõrgel tasemel võistlevate Kenya ja Eesti kesk- ning pikamaajooksjate staadionil määratud $\dot{V}O_{2max}$ ja RE näitajaid jooksulindil mõõdetud väärtustega. Lisaks kirjeldada Eesti ja Kenya jooksjate füsioloogilisi ning antropomeetrilisi näitajaid.

On leitud, et peamine faktor, mis muudab jooksu jooksulindil ökonoomsemaks on õhutakistuse puudumine (Jones & Doust, 1996), kuid see ei välista erinevusi biomehhaanikas välistingimustes ja jooksulindil jooksmisel. Pugh (1970) poolt läbi viidud uuringus tekitati välistingimustes joostes olukord, kus puudus tuule vastumõju. Leiti, et jooksulindil jooksmine on ikkagi ökonoomsem kui väljas jooksmine. Antud uuringu põhjal võis järeldada, et lisaks tuule vastumõjule on muud tegurid, mis mõjutavad organismi energiakulu liikuval jooksurajal ja väljas joostes (Frishberg, 1983).

Jooksutehnika erineb jooksulindil ja välistingimustes joostes (Joonis 6), kus hamstring-grupi lihased teevad rohkem tööd edasisuunas liikumiseks. Frishberg (1983) näitas uuringus sprinteritega, et liikuv trenazööri lint vähendab jooksjate energiakulu, aidates toefaasis tugijalga keha alla tagasi tuua. Vahetult enne jala mahaasetamist on lindil joostes säär rohkem ettepoole kaldu (nurk sääre ja jooksuraja vahel on väiksem) kui väljas joostes. Selline asend põhjustaks väljas joostes suuremaid pidurdavaid jõude, mis viiks ökonoomsuse

halvenemiseni, kuid liikuv jooksurada toob toefaasis oleva jala tagasi keha alla. Samal ajal aitab eelnevat kompenseerida toejala reis, mis jala maha asetamisel on püstisemas asendis kui väljas joostes. Rohkem kaldu olev säär ning püstisem reie asend kokku tekitavad suurema nurga põlveliigeses, mis omakorda ennetab keha masskeskme maha jäämist liiga kaugele kontaktpunktist. Kõik eelpool kirjeldatud muutused kokku vähendavad puusa piirkonna lihaste koormust ning seeläbi vajab jooksja vähem energiat lindil joostes, kui samal kiirusel välistingimustes joostes. Järeldati, et need muutused tehnikas võivad olla tingitud tuule takistava mõju puudumisest jooksulindil joostes (Frishberg, 1983).



Joonis 6. Tehnika jooksulindil (katkendlik joon) ja väljas joostes (pidev joon). Joonisel on kujutatud vasaku jalaga toefaasis äratõuke lõppu (Frishberg, 1983 järgi).

Käesolev uuring näitas, et jooksmisel loomulikemas tingimustes (staadionil) on kõrgel tasemel kesk- ja pikamaajooksjad ökonoomsemad, kui samal kiirusel liikuvale jooksurajal joostes. Kenya jooksjad olid 7.7% ja Eesti jooksjad 8.8% ökonoomsemad staadionil võrrelduna jooksulindil jooksmisega. Lisaks näitasid mõlemad vaatlusaluste grupid ka oluliselt madalamaid VE näitajaid staadionil. Üks tõenäolisemaid mehhanisme antud tulemuse taga on see, et 7-8% kogu jooksmisel kulutatud energiast kasutatakse hingamise jaoks (ventilatsioon) (Milic-Emili *et al.*, 1962) ning seeläbi ventilatsiooni suurenemine suurendab ka hapnikutarbimist (kehvem ökonoomsus), mis omakorda võib suurendada südamelöögi sagedust (Pate *et al.*, 1992). Varasemalt on näidatud (Thomas *et al.*, 1999), et suurenenud ventilatsioon on ainuke parameeter, mis korreleerus kehvemaks läinud

ökonoomsusega 5 km distantisi jooksmisel liikuvale jooksurajal intensiivsusega 80-85% $\dot{V}O_{2max}$ -ist. Käesoleva töö tulemused on kooskõlas Meyer *et al.* (2003) uuringuga, kus autor leidis, et jooksmine liikuvale jooksurajal (0.5% tõusunurgaga) nõuab oluliselt rohkem energiat submaksimaalsetel kiirustel võrreldes jooksmisega staadionil. Varasemad uuringud (Basset *et al.*, 1985; McMiken & Daniels, 1976) aga ei ole leidnud olulist erinevust ökonoomsuses jooksulindil ja staadionil joostes erinevates kiiruste vahemikus (10.8-15.6 km·h⁻¹). Vastupidi, Pugh (1970) leidis, et suurte kiirustel (21.5 km·h⁻¹) on jooksjad staadionil joostes 8% ebaökonoomsemad võrreldes jooksulindiga ning Jones & Doust (1996) näitasid, et ökonoomsus tasasel pinnal välistingimustes joostes oli kehvem kui 0% tõusunurgaga jooksulindil, ning et 1% tõusunurk jooksulindil iseloomustab kõige täpsemalt hapnikutarbimist submaksimaalsetel kiirustel tasasel pinnasel välistingimustes joostes. Võrreldes varasemate uuringute (Jones & Doust, 1996; Basset *et al.*, 1985; McMiken & Daniels, 1976; Pugh, 1970) tulemusi käesoleva tööga, tuleb tähelepanu pöörata asjaolule, et valdav osa varasemaid uuringuid on ökonoomsuse hapnikutarbimise mõõtmiseks kasutanud Douglase koti meetodit ka väljas jooksmisel. Antud meetodil mõõtmine võib olulisel määral jooksjate liigutusi häirida ning seeläbi tõsta submaksimaalsetel kiirustel $\dot{V}O_2$ väärtuseid ehk viia ökonoomsuse halvenemisele (Lisa 2, Lisa 3 ja Lisa 4).

Hoolimata vastuolulistest andmetest jooksu ökonoomsuse kohta, on sarnaselt meie tulemustele ka varasemad uuringud (Meyer *et al.*, 2003; McMiken & Daniels, 1976) leidnud, et puuduvad erinevused jooksulindil ja väljas joostes näidatud $\dot{V}O_{2max}$ väärtuste vahel. See näitab seda, et $\dot{V}O_{2max}$ väärtused jooksmisel ei sõltu sellest, kas test on tehtud jooksulindil või välistingimustes, eeldusel et pingutus on mõlemal puhul olnud sama suur (Meyer *et al.*, 2003). Seega on alust järeldada, et jooksulint on sobilik vahend määramaks kõrgel tasemel jooksjate $\dot{V}O_{2max}$ näitajaid.

5.2. Kenya ja Eesti jooksjate antropomeetrilised näitajaid

Käesolev töö on üks esimesi, mis võimaldab võrrelda Eesti ning Kenya kõrgel tasemel jooksjate antropomeetrilisi näitajaid. Varasemalt on leitud, et Achilleuse kõõluse jõuõlg kirjeldab 58-64% RE erinevustest (Raichlen *et al.*, 2011; Scholz *et al.*, 2008) madalama tasemega ning heterogeensema jooksjate grupi puhul kui käesolevas uuringus osalenud sportlased. Antud seos toetab hüpoteesi, mille kohaselt elastsusenergia salvestamine ja vabastamine nimetatud kõõlusorganismängib olulist rolli energia kulu vähendamisel jooksu

ajal. Lühema Achilleuse kõõluse jõuõlaga sportlased venitavad kõõlust iga jooksusammuga suuremas ulatuses kui need, kellel on pikem jõuõlg. Järgneval jala mahaasetamisel muudavad nad seega suurema hulga kineetilist energiat elastsusenergiaks, mis edasisel äratõukel muudetakse tagasi kineetiliseks energiaks ning kokkuvõttes viib ökonoomsuse paranemiseni (Raichlen *et al.*, 2011). Hoolimata varasemate uuringute tulemustest, et lühem Achilleuse kõõluse jõuõlg on seotud parema ökonoomsusega (Raichlen *et al.*, 2011; Scholz *et al.*, 2008), käsolev uuring seda ei kinnita ning samuti ei erinenud Kenya jooksjate Achilleuse kõõlsuse jõuõla pikkus Eesti jooksjate omast. Oluline erinevus tuli aga esile erinevates alajäsemete übermõõdudes (Tabel 1 ja 2), mis näitab, et Kenya jooksjatel on oluliselt madalam kehamassiindeks, keha pikkus, mass ning väiksemad reie, sääre ja hüppeliigese übermõõdud. Eelpool nimetatud parameetritest leidis antud uuring, et Kenya, kuid mitte Eesti jooksjate ökonoomsus oli positiivselt seotud reie übermõõduga ehk ökonoomsematel Kenya jooksjatel on väiksem reie übermõõt. Väiksemad jalgade übermõõdud võivad olla seotud parema ökonoomsusega. Eeldusel, et kõik teised faktorid on samad, peavad vähem tööd tegema jooksjad, kelle kehamassist suhteliselt väiksem osa on kontsentreeritud alajäsemetele (Myers & Steudel, 1985). Eelnevat toetab ka seisukoht, et iga üleliigse ühe kilogrammi kandmine ülakeha piirkonnas suurendab energiakulu jooksmisel 1% võrra, mis võrdub 100g lisaraskusega jooksujalanõudes (Myers & Steudel, 1985).

Vaatamata arvukatele uuringutele, mis kirjeldavad kehamassi, pikkust ning kehamassiindeksit (Prommer *et al.*, 2010; Fudge *et al.*, 2006; Lucia *et al.*, 2006; Marino *et al.*, 2004; Billat *et al.*, 2003) on vähe uuritud alajäsemete pikkuseid ning nende proportsioone jooksjatel. Käsolev uuring näitas, et Eesti jooksjatel on Kenya jooksjatega võrreldes oluliselt pikem reis ja lühem sääre ning seetõttu puudub erinevus kogu jala pikkuses. Kui arvesse on võetud ka kogu keha pikkus, siis jalgade pikkuste suhted näitasid, et Kenya jooksjatel on suhteliselt pikemad jalad võrreldes Eesti jooksjatega (Tabel 2). Reie pikkuse suhe keha pikkusesse ei erinenud kahe grupi vahel oluliselt, kuid oluline erinevus oli sääre pikkuses. On arvatud, et suhteliselt pikemad jalad on jooksjatele eeliseks, kuid täpset mehhanismi selle taga pole täielikult selgitatud (Lucia *et al.*, 2006). On leitud, et lühem kontaktaeg on seotud parema RE-ga, kuna siis on vähem aega pidurdavate jõudude rakendamiseks, mis aeglustab keha edasi liikumist (Santos-Concejero *et al.*, 2013; Kong & de Heer, 2008; Nummela *et al.*, 2007). Sammupikkuse suurendamine on efektiivsem kui sammusageduse suurendamine, kuna nii kulub vähem energiat jalgade kiirendamiseks igal sammul. Pikemad jalad soosivad pikemat sammupikkust ning seeläbi paremat RE-st (Rahmani *et al.*, 2004; Anderson, 1996; Sleivert & Rowlands, 1996). Oluline on siiski märkida, et antud mehhanism selgitab olukorda kiiruseni,

mis on 90% individuaalselt maksimumist. Sellest edasi suureneb kiirus peamiselt vaid sammusageduse suurenemise arvelt (Nummela *et al.*, 2007).

Võib järeldada, et kõrgel tasemel jooksjate RE ei ole seotud ühe kindla parameetriga, vaid on pigem kompleksne faktor (Lisa 1), mida võivad mõjutada mitmed erinevad antropomeetrilised karakteristikud.

5.3. Uuringu piirangud

Antud uuringus välja toodud Kenya jooksjate $\dot{V}O_{2max}$ näitajad on madalamad võrreldes varem avaldatud andmetega, sest Kenya sportlasi mõõdeti kõrgmäestikus (2200 m ü.m.p.): Kenya sportlaste $\dot{V}O_{2max}$ väärtused, mõõdetuna merepinnal on osutunud 6-16.6% kõrgemaks, kui kõrgmäestikus (Tam *et al.*, 2012; Saltin *et al.*, 1995). Antud uurimustöö puhul saadud submaksimaalsed $\dot{V}O_2$ näitajad kiirusel 16 km·h⁻¹ on kõrgemad kui varasemalt publitseeritud andmed (Tam *et al.*, 2012; Lucia *et al.*, 2006; Billat *et al.*, 2003; Weston *et al.*, 2000). Selle peamiseks põhjuseks on käesolevas uuringus kasutatud portatiivne seade $\dot{V}O_2$ väärtuste registreerimiseks. Varasemalt on näidatud, et käesolevas uuringus kasutatud seade MetaMax 3B hindab $\dot{V}O_2$ näitajaid 10% ulatuses kõrgemaks, kui seda on "kuldne standard" ehk Douglase koti meetod (Macfarlane & Wong, 2012; Vogler *et al.*, 2010;) ning teine usaldusväärne seade Jaeger Oxycon Pro (Macfarlane & Wong, 2012). Vaatamata eelpool kirjeldatud ülehindamisele on MetaMax 3B väga hea usaldusväärsusega ning selle tüüpiline viga on 2-3% $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$ ja VE määramisel (Vogler *et al.*, 2010).

Kenya jooksjatel oli staadionil kiirusel 16 km·h⁻¹ joostes madalamad VE näitajad ning südamelöögi sagedused. Eesti jooksjatel oli küll madalam VE, kuid mitte südamelöögi sagedus. Selle põhjuseks on asjaolu, et Kenya jooksjatel ei kasutatud staadionil kiiruse registreerimiseks GPS-i. Liikuvad jooksurajal oli kõikide Kenya jooksjate kiiruseks 16 km·h⁻¹, kuid staadionil võis olla nende tegelik kiirus natukene madalam kui 16 km·h⁻¹. Eesti jooksjate kiirused seadistati lindil vastavalt staadionil joostud kiirusele (näiteks kui staadionil oli sportlase keskmine kiirus 15.7 km·h⁻¹ siis jooksis sama sportlane ka lindil kiirusega 15.7 km·h⁻¹, mitte kiirusega 16 km·h⁻¹). Eesti jooksjate puhul, kui kiirus oli kontrollitud, ilmnisid RE ja VE näitajates samasugused muutused nagu Kenya jooksjate puhul.

6. Järeldused

- 1) Kõrgel tasemel kesk- ja pikamaajooksjatel on oluliselt parem ökonoomsus staadionil joostes võrreldes 1% tõusunurgaga liikuval jooksurajal jooksmisega, hoolimata sportlaste etnilisest taustast ja varasemast jooksulindi kasutamise kogemusest.
- 2) Kõrgel tasemel kesk- ja pikamaajooksjate $\dot{V}O_{2max}$ väärtused ei sõltu sellest, kas test on tehtud liikuval jooksurajal või staadionil, eeldusel et mõlemates tingimustes on pingutuse aste olnud võrdne.
- 3) Kenya kõrgel tasemel jooksjad on oluliselt kergemad, lühemad, väiksema reie ja sääre ümberõõduga ning nende jalgade pikkus moodustab suurema osa keha pikkusest ehk neil on suhteliselt pikemad jalad, kui Eesti jooksjatel. Suhteliselt pikemad jalad on tingitud pikematest säärtest.

7. Praktilised soovitused

- 1) Käesoleva uuringu tulemused annavad treeneritele kindlust, et laboratoorsetes tingimustes liikuvale jooksurajal läbi viidud testimistel näidatud muutused RE ja/või $\dot{V}O_{2max}$ näitajates on üle kantavad staadionil jooksmisele.
- 2) Varasem jooksulindi kasutamise kogemus ei mõjuta RE ning $\dot{V}O_{2max}$ väärtuseid laboratoorsetes tingimustes testil, kui enne testi algust on antud piisavalt aega jooksulindiga kohanemiseks.
- 3) Jooksulindi tõusunurk 1% on tõenäoliselt liiga suur võrdsustamaks lindil jooksmist staadionil jooksmisega.

Kasutatud kirjandus

1. Abe D, Yanagawa K, Yamanobe K, Tamura K. Assessment of middle-distance running performance in sub-elite young runners using energy cost of running. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 1998; 77(4): 320-25.
2. Anderson T. Biomechanics and running economy. *Sports Medicine* 1996; 22(2): 76-89.
3. Basset DR, Giese MD, Nagle FJ, Ward A, Raab D, Balke B. Aerobic requirements of overground versus treadmill running. *Medicine and Science in Sport and Exercise* 1985; 17(4): 477-81.
4. Billat V, Lepretre PM, Heugas AM, Laurence MH, Salim D, Koralsztejn JP. Training and Bioenergetic Characteristics in Elite Male and Female Kenyan Runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2003; 35(2): 297-304.
5. Bosch AN, Goslin BR, Noakes TD, Dennis SC. Physiological differences between black and white runners during a treadmill marathon. *European Journal of Applied Physiology* 1990; 61(1-2): 68-72.
6. Bragada JA, Santos PJ, Maia JA, Colaco PJ, Lopes VP, Barbosa TM. Longitudinal study in 3000 m male runners: relationship between performance and selected physiological parameters. *Journal of Sports Science and Medicine* 2010; 9(3): 439-44.
7. Cavagna GA, Saibene FP, Margaria R. Mechanical work in running. *Journal of Applied Physiology* 1964; 19: 249-56.
8. Cavanagh PR, Williams KR. The effect of stride length variations on oxygen uptake during distance running. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1982; 14(1): 30-5.
9. Ceci R, Hassmen P. Self-monitored exercise at three different RPE intensities in treadmill vs field running. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1991; 23(6): 732-8.
10. Cobb SC, James CR, Hjertstedt M, Kruk J. A digital photographic measurement method for quantifying foot posture: validity, reliability, and descriptive data. *Journal of Athletic Training* 2011; 1(1): 20-30.
11. Coetzer P, Noakes TD, Sanders B, Lambert MI, Bosch AN, Wiggins T, Dennis SC. Superior fatigue resistance of elite black South African distance runners. *Journal of Applied Physiology* 1993; 75(4): 1822-7.

12. Collins MH, Pearsall DJ, Zavorsky GS, Bateni H, Turcotte RA, Montgomery DL. Acute effects of intense interval training on running mechanics. *Journal of Sports Sciences* 2000; 82(4): 297-304.
13. Conley DL, Krahenbuhl GS. Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1980; 12(5): 357-60.
14. Costill DL and Winrow E. Maximal oxygen intake among marathon runners. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 1970; 51(6): 317-20.
15. Di Prampero PE, Capelli C, Pagliaro P, Antonutto G, Girardis M, Zamparo P and Soule RG. Energetics of best performances in middle-distance running. *Journal of Applied Physiology* 1993; 74(5): 2318-24.
16. Fletcher JR, Esau SP, MacIntosh BR. Economy of running: beyond the measurement of oxygen uptake. *Journal of Applied Physiology* 2009; 107(6): 1918-22.
17. Foster C, Lucia A. Running economy: the forgotten factor in elite performance. *Journal of Sports Medicine* 2007; 37(4-5): 316-9.
18. Frishberg BA. An analysis of overground and treadmill sprinting. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1983; 15(6): 478-85.
19. Fudge BW, Klaas RW, Kiplamai FK, Onywera VO, Boit MK, Kayser B, Pitsiladis YP. Evidence of negative energy balance using doubly labelled water in elite Kenyan endurance runners prior to competition. *The British Journal of Nutrition* 2006; 95(1): 59-66.
20. Hausswirth C, Bigard AX, Guezennec CY. Relationships between running mechanics and energy cost of running at the end of a triathlon and a marathon. *International Journal of Sports Medicine* 1997; 18(5): 330-9.
21. Heise GD, Martin PE. Are variations in running economy in humans associated with ground reaction force characteristics? *European Journal of Applied Physiology* 2001; 84(5): 438-42.
22. Holden C. Peering under the hood of Africa's runners. *Science* 2004; 305(5684): 637-9.
23. <http://www.denstoredanske.dk/@api/deki/files/16561/=375683.501.jpg?size=webview>, 03.05.2014.
24. <http://www.fact-canada.com/discus/messages/1045/2358.html?1234497399>, 03.05.2014.
25. Jones AM, Carter H. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Medicine* 2000; 29(6): 373-86.

26. Jones AM, Doust JH. A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. *Journal of Sports Sciences* 1996; 14(4): 321-7.
27. Joyner MJ. Modeling: optimal marathon performance on the basis of physiological factors. *Journal of Applied Physiology* 1991; 70(2): 683-7.
28. Ker RF, Bennett MB, Bibby SR, Kester RC, Alexander RM. The spring in the arch of the human foot. *Nature* 1987; 325 (700): 147-9.
29. Kong PW, de Heer H. Anthropometric, gait and strength characteristics of Kenya distance runners. *Journal of Sports Science and Medicine* 2008; 7(4): 499-504.
30. Kram R, Taylor CR. Energetics of running: a new perspective. *Nature* 1990; 346(6281): 265-7.
31. Kyrolainen H, Belli A, Komi PV. Biomechanical factors affecting running economy. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2001; 33(8): 1330-7.
32. Larsen HB. Kenyan dominance in distance running. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A* 2003; 136(1): 161-70.
33. Legaz A, Eston, R. Changes in performance, skin fold thicknesses and fat patterning after three years of intense athletic conditioning in high level runners. *British Journal of Sports Medicine* 2005; 39(11): 851-6.
34. Lucia A, Esteve-Lanao J, Oliva'n J, Gomez-Gallego F, San Juan AF, Santiago C, Perez M, Chamorro-Vina C, Foster C. Physiological characteristics of the best Eritrean runners-exceptional running economy. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 2006; 31(5): 530-40.
35. Lucia A, Oliván J, Bravo J, Gonzalez-Freire M, Foster C. The key to top-level endurance running performance: a unique example. *British Journal of Sports Medicine* 2008; 42(3): 172-4.
36. Macfarlane DJ, Wong P. Validity, reliability and stability of the portable Cortex Metamax 3B gas analysis system. *European Journal of Applied Physiology* 2012; 112(7): 2539-47.
37. Marino FE, Lambert MI, Noakes TD. Superior performance of African runners in warm humid but not in cool environmental conditions. *Journal of Applied Physiology* 2004; 96(1): 124-30.
38. Marsh RL, Ellerby DJ, Carr JA, Henry HT, Buchanan CI. Partitioning the energetics of walking and running: swinging the limbs is expensive. *Science* 2004; 303(5654): 80-3.
39. McMiken DF, Daniels JT. Aerobic requirements and maximum aerobic power in treadmill and track running. *Medicine and Science in Sports* 1976; 8(1): 14-7.

40. Meyer T, Welter JP, Scharhag J, Kindermann W. Maximal oxygen uptake during field running does not exceed that measured during treadmill exercise. *European Journal of Applied Physiology* 2003; 88(4-5): 387-9.
41. Milic-Emili G, Petit JM, Deroanne R. Mechanical work of breathing during exercise in trained and untrained subjects. *Journal of Applied Physiology* 1962; 17: 43-6.
42. Mooses M, Jürimäe J, Mäestu J, Purge P, Mooses K, Jürimäe T. Anthropometric and physiological determinants of running performance in middle- and long-distance runners. *Kinesiology* 2013; 45(2): 130-8.
43. Morgan DW, Daniels JT. Relationship between VO₂max and the aerobic demand of running in elite distance runners. *International Journal of Sports Medicine* 1994; 15(7): 426-9.
44. Morgan DW, Martin PE, Krahenbuhl GS, Baldini FD. Variability in running economy and mechanics among trained male runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1991; 23(3): 378-83
45. Myers MJ, Steudel K. Effect of limb mass and its distribution on the energetic cost of running. *The Journal of Experimental Biology* 1985; 116: 363-73.
46. Nummela A, Keränen T, Mikkelsen LO. Factors related to top running speed and economy. *International Journal of Sports Medicine* 2007; 28(8): 655-61.
47. Pate RR, Macera CA, Bailey SP, Bartoli WP, Powell KE. Physiological, anthropometric, and training correlates of running economy. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1992; 24(10): 1128-33.
48. Prommer N, Thoma S, Quecke L, Gutekunst T, Völzke C, Wachsmuth N, Niess AM, Schmidt W. Total hemoglobin mass and blood volume of elite Kenyan runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2010; 42(4): 791-7.
49. Pugh LG. Oxygen intake in track and treadmill running with observations on the effect of air resistance. *Journal of Physiology* 1970; 207(3): 823-35.
50. Rahmani A, Locatelli E, Lacour JR. Differences in morphology and force/velocity relationship between Senegalese and Italian sprinters. *European Journal of Applied Physiology* 2004; 91(4): 399-405.
51. Raichlen DA, Hunter A, Lieberman DE. Calcaneus length determines running economy: Implications for endurance running performance in modern humans and Neandertals. *Journal of Human Evolution* 2011; 60(3): 299-308.
52. Riley PO, Dicharry J, Franz J, Croce UD, Wilder RP, Kerrigan DC. A Kinematics and Kinetic Comparison of Overground and Treadmill Running. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2008; 40(6): 1093-100.

53. Saltin B, Larsen H, Terrados N, Banqsbo J, Kim CK, Svedenhag J, Rolf CJ. Aerobic exercise capacity at sea level and at altitude in Kenyan boys, junior and senior runners compared with Scandinavian runners. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 1995; 5(4): 209-21.
54. Santos-Concejero J, Granados C, Irazusta J, Bidaurrazaga-Letona I, Zabala-Lili J, Tam N, Gil SM. Differences in ground contact time explain the less efficient running economy in north African runners. *Biology of Sport* 2013; 30(3): 181-7.
55. Saunders PU, Pyne DB, Telford RD, Hawley JA. Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Medicine* 2004; 34(7): 465-85.
56. Scholz MN, Bobbert MF, Soest AJ, Clark JR, Heerden J. Running biomechanics: shorter heels, better economy. *The Journal of Experimental Biology* 2008; 211(20): 3266-71.
57. Sleivert GG, Rowlands DS. Physical and physiological factors associated with success in the triathlon. *Sports Medicine* 1996; 22(1): 8-18.
58. Spiriev B. IAAF Scoring Tables of Athletics (Revised ed.). Monaco: Multiprint; 2011.
59. Svedahl K and MacIntosh BR. Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement. *Canadian Journal of Applied Physiology* 2003; 28(2): 299-323.
60. Tam E, Rossi H, Moia C, Berardelli C, Rosa G, Capelli C, Ferretti G. Energetics of running in top-level marathon runners from Kenya. *European Journal of Applied Physiology* 2012; 112(11), 3797-806.
61. Taylor CR. Relating mechanics and energetics during exercise. *Advances in Veterinary Science and Comparative Medicine* 1994; 38A: 181-215.
62. Thomas DQ, Fernhall B, Grant H. Changes in running economy during a 5km run in trained men and women runners. *Journal of Strength & Conditioning Research* 1999; 13(2): 162-7.
63. Turner AM, Owings M, Schwane JA. Improvement in Running Economy After 6 Weeks of Plyometric Training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2003; 17(1): 60-7.
64. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Stringer WE, Whipp BJ. Measurements during integrative cardiopulmonary exercise testing. Lippincott Williams & Wilkins. *Principles of exercise testing and interpretation. Including pathophysiology and clinical applications.* 4th ed. Philadelphia; 2005, 100-5.
65. Weston AR, Mbambo Z, Myburgh KH. Running economy of African and Caucasian distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2000; 32(6): 1130-4.

66. Weston AR, Karamizrak O, Smith A, Noakes TD, Myburgh KH. African distance runners exhibit greater fatigue resistance, lower lactate accumulation and higher oxidative enzyme activity. *Journal of Applied Physiology* 1999; 86(3): 915-23.
67. Vogler AJ, Rice AJ, Gore CJ. Validity and reliability of the Cortex MetaMax3B portable metabolic system. *Journal of Sports Sciences* 2010; 28(7): 733-42.

Running Economy During Field Running than on Treadmill Running: Kenyans and Estonians

Summary

Treadmill running is widely used to assess maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2max}$) and running economy (RE) during stepwise incremental test in distance runners. Given on-going interest in ways to improve the specificity of physiological testing for elite athletes in their "natural" environment, portable metabolic systems provide a means of assessing the metabolic demand of exercise in sport-specific settings.

The aim of the present study was to compare RE and $\dot{V}O_{2max}$ values between running on treadmill and on track in Kenyan runners with no previous experience with treadmill running as well as Estonian runners who were habitual treadmill runners.

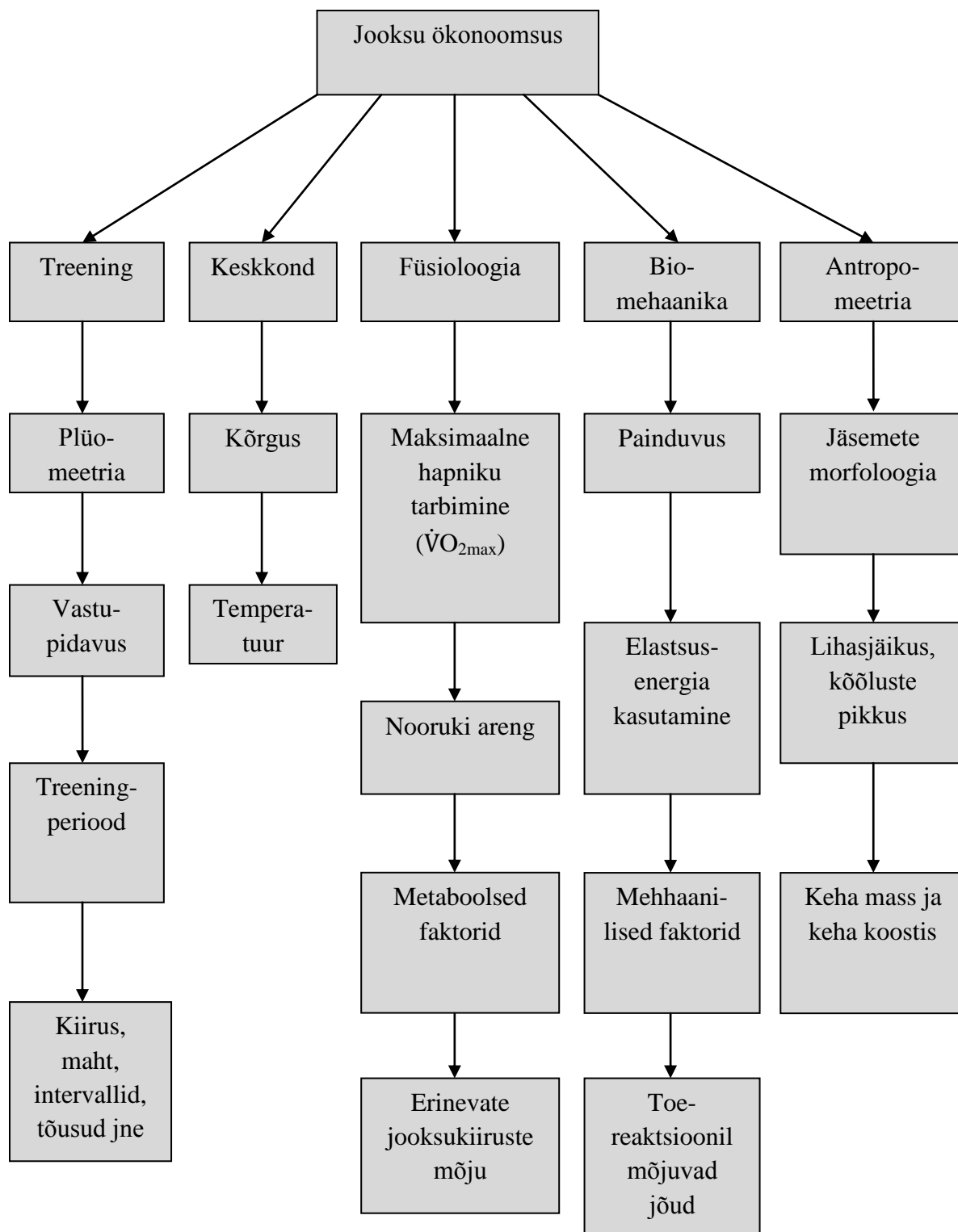
A total of 23 competitive male Kenyan (25.5 ± 5.6 yrs; 57.9 ± 5.7 kg) and 13 Estonian (25.4 ± 4.4 yrs; 69.0 ± 5.9 kg) distance runners were recruited to this study. Kenyan runners performed $\dot{V}O_{2max}$ test together with RE measurements on treadmill and outdoor track in randomized order. Estonian runners performed first test on outdoor track and second one on treadmill. Despite similar $\dot{V}O_{2max}$ (KEN: 67.6 ± 5.3 vs. 68.9 ± 3.8 ml·kg⁻¹·min⁻¹, $p = 0.069$; EST: 68.5 ± 5.3 vs. 71.4 ± 6.4 ml·kg⁻¹·min⁻¹, $p = 0.105$, track and treadmill respectively), superior RE was found on the track compared to the treadmill in both groups (KEN: 211.8 ± 11.0 vs. 230.1 ± 13.4 O₂ ml·kg⁻¹·km⁻¹, $p = 0.000$; EST: 215.4 ± 12.4 vs. 236.8 ± 18.0 O₂ ml·kg⁻¹·km⁻¹, $p = 0.000$).

Present findings indicated that high level Kenyan distance runners who were familiarized with treadmill running before the test, have significantly better RE on track than on treadmill. This finding was confirmed by habitual treadmill runners. It can be concluded that despite running on track involves several aspects that are different to those of an treadmill, RE and $\dot{V}O_{2max}$ measured on treadmill and on track are highly correlated and it is reasonable to assume that interventions affecting RE on treadmill will have similar effect to RE on track.

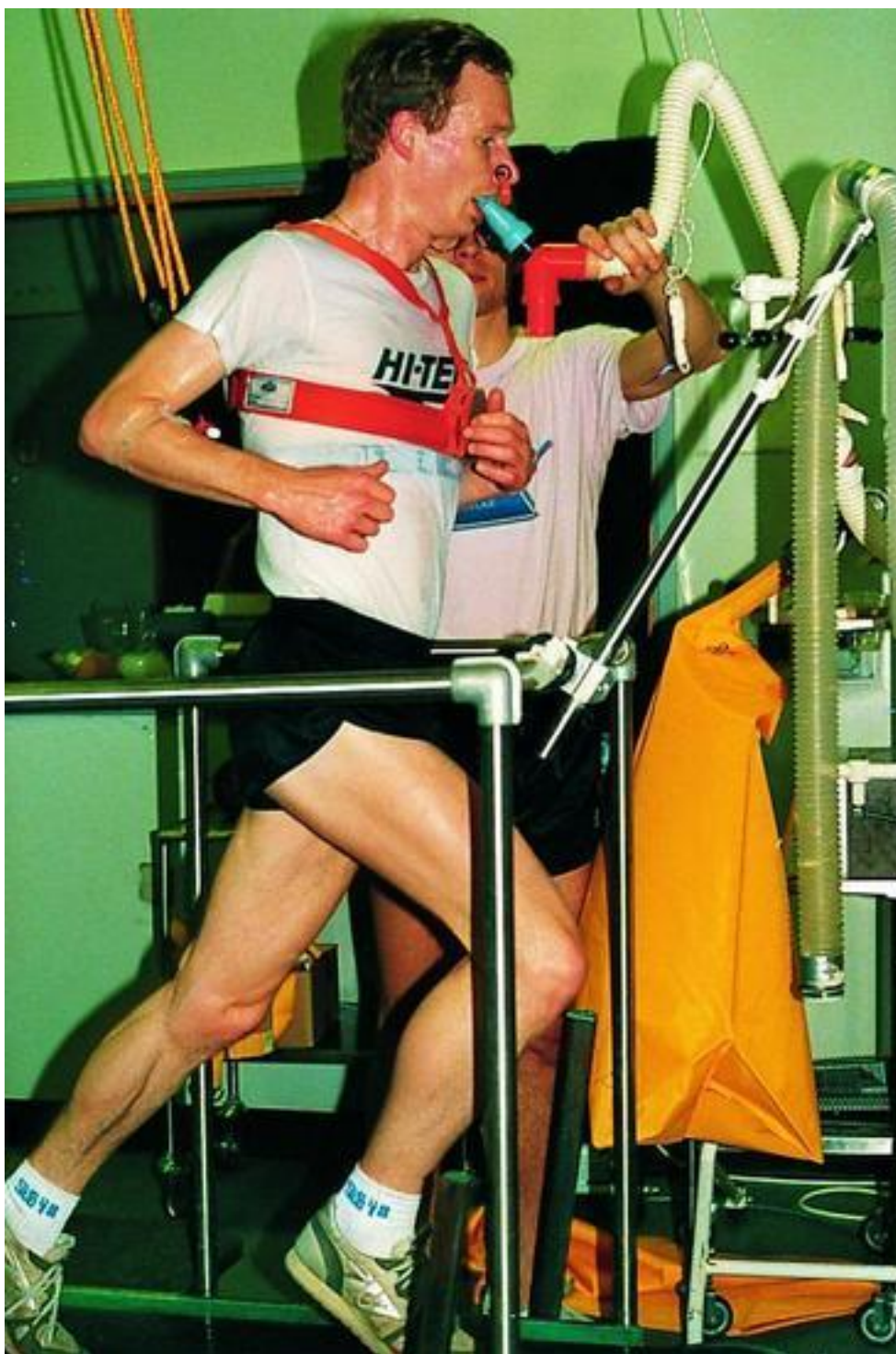
Finally, the practical implications of the findings of the present study give confidence for running coaches that training methods resulting in an improvement in RE and $\dot{V}O_{2max}$ on treadmill tests would lead to a similar improvement in running on track in high level distance runners. However, the 1% inclination on the treadmill is likely to be too high to reproduce similar efforts to those on track running.

Lisad

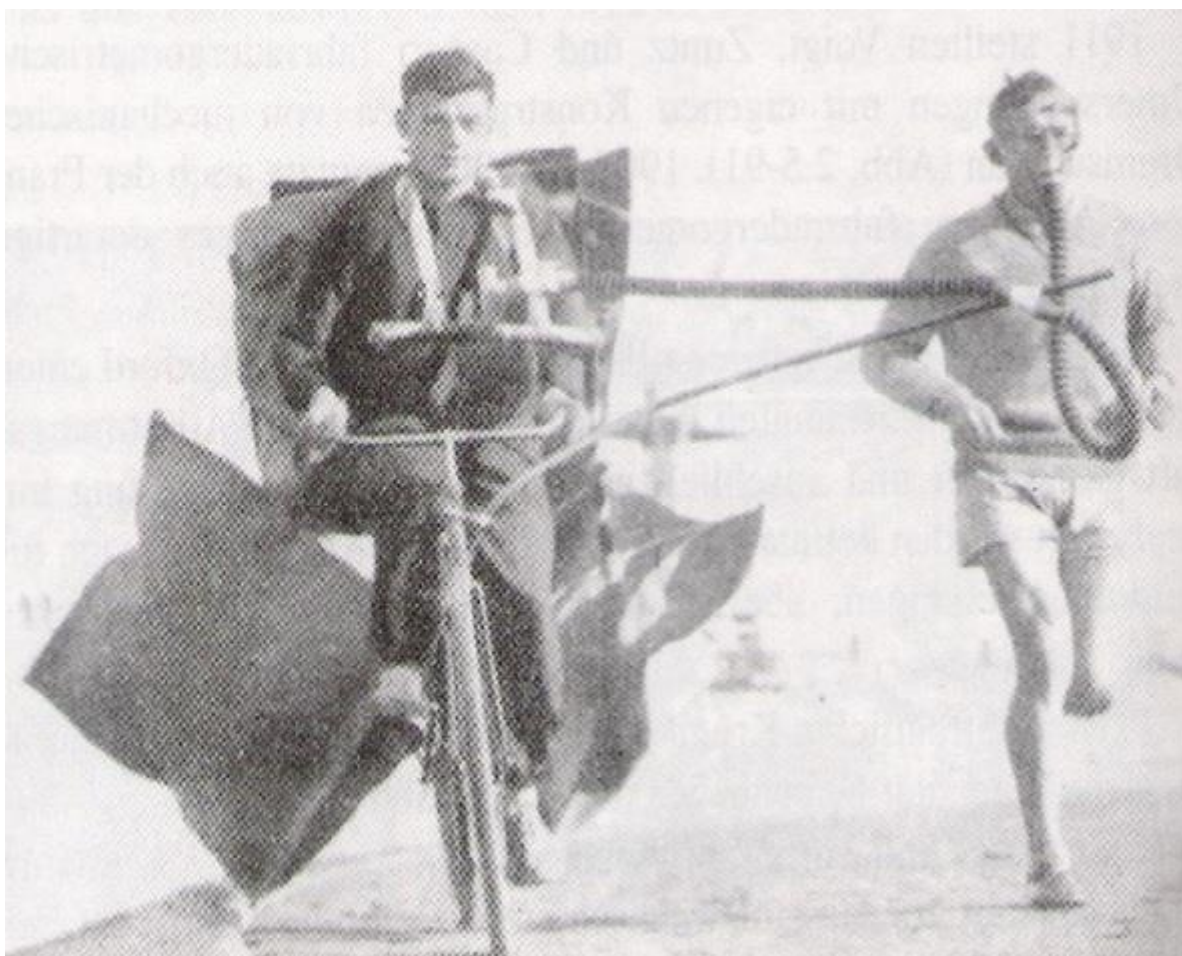
Lisa 1. Jooksuökonoomsust mõjutavad faktorid (Saunders *et al.*, 2004 järgi).



Lisa 2. Gaasivahetuse mõõtmine jooksulindil joostes Douglase koti meetodiga (<http://www.denstoredanske.dk>).



Lisa 3. Gaasivahetuse mõõtmine välistingimustes joostes Douglase koti meetodiga (<http://www.fact-canada.com>).



Lisa 4. Gaasivahetuse mõõtmine välistingimustes joostes Douglase koti meetodiga (Basset *et al.*, 1985).



Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina: _____ Bert Tippi _____,

(sünnikuupäev: _____ 27.07.1990 _____)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Eesti ja Kenya jooksjate ökonoomsus ning maksimaalne aeroobne võimekus: jooksulint vs staadion _____,

mille juhendaja on _____ Martin Mooses _____,

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, 20.05.2014