

TARTU ÜLIKOOL  
Sporditeaduste ja füsioteraapia instituut

**Viljar Vallimäe**

**MUUTUSED FUNKTSIONAALSETES, SUBJEKTIIVSETES JA GAASIVAHETUSE  
PARAMEETRIDES 45 MINUTILISE TUGEVA PINGUTUSEGA JOOKSU  
TAGAJÄRJEL MEESJOOKSJATEL**  
**Changes in functional, subjective and gas exchange parameters following a 45-minute high-  
intensity run in male runners**

**Magistritöö**

kehalise kasvatuse ja spordi õppekava

Juhendaja:  
liikumise ja spordibioloogia professor, Jarek Mäestu, PhD

Tartu 2026

## SISUKORD

<i>KASUTATUD LÜHENDID</i> .....	3
<i>Töö lühiülevaade:</i> .....	4
<i>Abstract:</i> .....	5
<i>1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE</i> .....	6
<i>2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED</i> .....	11
<i>3. METOODIKA</i> .....	12
3.1. Uuritavad.....	12
3.2. Uuringu disain.....	12
3.3. Kasvavate koormustega test jooksulindil .....	13
3.4. Ühtlase intensiivsusega 45-minutiline test + kasvavate koormustega test.....	14
3.5. Andmete statistiline analüüs.....	15
<i>4. TÖÖ TULEMUSED</i> .....	16
4.1 Kasvavate koormustega test jooksulindil .....	16
4.2 Ühtlase intensiivsusega 45-minutiline test .....	18
<i>5. ARUTELU</i> .....	23
<i>6. JÄRELDUSED</i> .....	27
<i>KASUTATUD KIRJANDUS</i> .....	28

## KASUTATUD LÜHENDID

La – vere laktaadi kontsentratsioon – *blood lactate concentration* ( $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ )

RPE – pingutuse tajutav raskusaste – *rating of perceived exertion*

SLS – südame löögisagedus – *heart rate* ( $\text{lööki}\cdot\text{min}^{-1}$ )

VCO<sub>2</sub> – süsihappegaasi produktsioon – *carbon dioxide production* ( $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ )

VE – minutiventilatsioon – *minute ventilation* ( $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ )

VO<sub>2</sub> – hapnikutarbimine – *oxygen uptake* ( $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ )

VO<sub>2</sub>max – maksimaalne hapnikutarbimine – *maximal oxygen uptake* ( $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ )

VT1 – esimene ventilatsioonilävi – *first ventilatory threshold*

VT2 – teine ventilatsioonilävi – *second ventilatory threshold*

Wmax – maksimaalne aeroobne võimsus – *maximal power output* (W)

## Töö lühiülevaade:

**(Muutused funktsionaalsetes, subjektiivsetes ja gaasivahetuse parameetrites 45 minutilise tugeva pingutusega jooksu tagajärjel meesjooksjatel)**

**Eesmärk:** Analüüsida 45-minutilise ühtlase submaksimaalse koormuse mõju aktiivselt vastupidavusalaga tegelevate meeste füsioloogilistele, subjektiivsetele ja gaasivahetuse parameetritele ning tajutud väsimusele, võrreldes enne ja peale koormust teostatud kasvavate koormustega testide tulemusi.

**Metoodika:** Uuringus osales 9 pikamaajooksuga tegelevat meest vanuses  $35,2 \pm 6,7$  aastat. Vaatlusalused sooritasid kasvavate koormustega testi, kus fikseeriti iga minuti järel südame löögisagedus (SLS), pingutuse tajutav raskusaste (RPE) ja gaasivahetuse parameetrid. Teisel testimisel sooritati ühtlase intensiivsusega 45-minutiline test intensiivsusel, mida uuritav oli võimeline taluma ligikaudu 60 minutit. Testil registreeriti iga 5 minuti järel SLS ja RPE ning iga 10 minuti järel määrati vere laktaadi kontsentratsioon (La). Lisaks mõõdeti vaatlusaluste kehakaalu ja väsimust enne ja pärast testi. 10 minutit peale 45-minutilist testi sooritati uuesti kasvavate koormustega test.

**Tulemused:** 45-minutilise ühtlase intensiivsusega testil suurenesid statistiliselt oluliselt SLS, minutiventilatsioon (VE), La ja RPE (kõigil  $p < 0,05$ ). Hapnikutarbimises ( $VO_2$ ) statistiliselt olulisi muutusi testi käigus ei ilmnenu ( $p > 0,05$ ). Testi järgselt vähenes statistiliselt oluliselt kehakaal ning suurenes tajutav väsimus ( $p < 0,05$ ). 45-minutilise testi järel sooritatud kasvavate koormustega testil vähenesid statistiliselt oluliselt testi kestus,  $VO_{2max}$ ,  $SLS_{max}$ , kiirus  $VO_{2max}$  tasemel ning maksimaalne võimsus ( $p < 0,05$ ). Samuti vähenesid ventilatsioonilävede (VT1 ja VT2) SLS, absoluutne võimsus ja jooksukiirus ( $p < 0,05$ ). VE, VT1 RPE-s ning VT2 suhtelises võimsuses statistiliselt olulisi muutusi ei ilmnenu ( $p > 0,05$ ).

**Kokkuvõte:** 45-minutiline ühtlane submaksimaalne koormus põhjustas füsioloogiliste näitajate ja tajutud väsimuse olulisi muutusi. Kuigi  $VO_2$  püsis testi vältel suhteliselt stabiilsena, suurenesid oluliselt SLS, VE, La ja RPE. Koormusjärgselt olid oluliselt alanenud nii funktsionaalsed, kui gaasivahetuse parameetrid, samas kui tajutav koormuse hinnang ei muutunud.

**Märksõnad:** submaksimaalne koormus, esimene ventilatsioonilävi, teine ventilatsioonilävi, maksimaalne hapnikutarbimine, südame löögisagedus, vere laktaadi kontsentratsioon, RPE

## **Abstract:**

### **(Changes in functional, subjective and gas exchange parameters following a 45-minute high-intensity run in male runners)**

**Aim:** To analyse the effects of a 45-minute constant-load submaximal exercise test on physiological, subjective and gas exchange parameters to perceived and objective fatigue in endurance-trained men.

**Methods:** Nine male long-distance runners (age  $35.2 \pm 6.7$  years) participated in the study. Participants first performed an incremental treadmill test during which heart rate (HR), rating of perceived exertion (RPE), and gas exchange parameters were recorded every minute. During the second session, participants completed a 45-minute constant-load exercise test at an intensity that was estimated to be sustainable for approximately 60 minutes. HR and RPE were recorded every 5 minutes, and blood lactate concentration (La) every 10 minutes. Body mass and perceived fatigue were measured before and after the test. Participants repeated the incremental exercise test was repeated 10 minutes after the 45-minute test.

**Results:** During the 45-minute test, HR, minute ventilation (VE), La and RPE increased significantly (all  $p < 0.05$ ). No statistically significant changes were observed in oxygen uptake ( $\text{VO}_2$ ) during the test ( $p > 0.05$ ). Following the test, body mass decreased whereas perceived fatigue increased significantly (both  $p < 0.05$ ). In the post-exercise incremental test, significant decreases were observed in test duration,  $\text{VO}_{2\text{max}}$ ,  $\text{HR}_{\text{max}}$ , running speed at  $\text{VO}_{2\text{max}}$  and maximal power output ( $p < 0.05$ ). Significant decreases were also observed in HR, absolute power output, and running speed at the ventilatory thresholds VT1 and VT2 ( $p < 0.05$ ). No significant changes were observed in VE, VT1 RPE, or relative power output at VT2 ( $p > 0.05$ ).

**Conclusions:** A 45-minute constant-load submaximal exercise test caused significant changes in physiological parameters and increased perceived fatigue in endurance-trained men. Although  $\text{VO}_2$  remained stable, HR, VE, La, and RPE increased significantly. Following the exercise bout, both functional and gas exchange parameters were significantly reduced, whereas perceived exertion remained unchanged.

**Keywords:** submaximal exercise, VT1, VT2,  $\text{VO}_{2\text{max}}$ , heart rate, RPE, blood lactate

## 1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

Treeningkoormust käsitletakse sporditeaduses kui sisendit, mille eesmärk on kutsuda organismis esile soovitud kohanemisreaktsioone ning parandada sportlikku sooritusvõimet (Impellizzeri et al., 2019). Treeningkoormus hõlmab endas treeningu intensiivsust, kestvust ja sagedust ning nende koosmõju (Impellizzeri et al., 2019). Vastupidavusaladel kasutatakse treeningkoormuse kirjeldamiseks sageli FITT põhimõtet (frequency, intensity, time, type), mis hõlmab treeningute sagedust, intensiivsust, kestvust ja tüüpi (Burnet et al., 2019). Treeningkoormus jaguneb sisemiseks ja väliseks treeningkoormuseks. Väline treeningkoormus kirjeldab sportlase poolt sooritatud tööd, näiteks läbitud distantsi, kiirust, võimsust või treeningu kestust. Sisemine treeningkoormus kirjeldab organismi füsioloogilist ja psühholoogilist vastust välisele koormusele (Impellizzeri et al., 2023). Sisemist treeningkoormust hinnatakse näiteks südame löögisageduse (SLS), hapnikutarbimise ( $VO_2$ ), vere laktaadi kontsentratsiooni ( $La$ ) või tajutud pingutuse kaudu (Pind, 2022).

Kuigi vastupidavustreeningute planeerimisel kasutatakse sageli välise koormuse näitajaid, sõltuvad treeningust tulenevad kohanemised peamiselt organismi sisemisest vastusest ehk sisemisest treeningkoormusest (Halson, 2014). Selle tõttu peetakse treeningute monitooringul oluliseks hinnata nii välist kui ka sisemist treeningkoormust (Impellizzeri et al., 2020; Impellizzeri et al., 2023). Sisemise koormuse hindamisel kasutatakse laialdaselt südame löögisagedust, kuid pika kestusega koormuse korral võib südame löögisagedus ajas järk-järgult suureneda ega pruugi peegeldada täpselt tegelikku metaboolset koormust või organismi füsioloogilist seisundit (Gilman, 1996; Maunder et al., 2021). Südame löögisageduse järkjärgulise suurenemise põhjustena pikaajalise ühtlase koormuse ajal on välja toodud kehatemperatuuri tõus, vedelikukadu, plasmamahu vähenemine ja sümpaatilise närvisüsteemi aktiivsuse suurenemine (Coyle & González-Alonso, 2001; Gilman, 1996). Lisaks võivad pikaajalise koormuse jooksul toimuda muutused füsioloogilistes näitajates ka siis, kui väline koormus püsib muutumatuna (Maunder et al., 2021; Birnbaumer et al., 2022).

Vastupidavusaladel kasutatakse treeningu intensiivsuse määramiseks sageli kolme tsooni mudelit, mis põhineb aeroobsel ja anaeroobsel lävel või ventilatsioonilävedel VT1 ja VT2 (Seiler & Kjerland, 2006; Hofmann & Tschakert, 2010). Esimene ventilatsioonilävi (VT1) tähistab intensiivsust, mille juures suureneb ventilatsioon võrreldes hapnikutarbimisega ning seda peetakse aeroobset läve iseloomustavaks markeriks (Pallarés et al., 2016). Teine ventilatsioonilävi (VT2) tähistab intensiivsust, mille juures ventilatsioon suureneb eproportsionaalselt ning suureneb süsihappegaasi hulk väljahingatavas õhus (Seiler & Kjerland, 2006). Selline jaotus võimaldab kirjeldada treeningu intensiivsust füsioloogiliste markerite alusel ning kasutada seda treeningute planeerimisel, monitooringul ja võistlusintensiivsuste määramisel vastupidavusaladel (Meyer et al., 2005; Seiler & Kjerland, 2006). VT1 peetakse sageli intensiivsuseks, mille juures on võimalik säilitada suhteliselt stabiilne ainevahetuslik seisund pikaajalise koormuse jooksul, samas kui VT2 ületamisel suureneb ainevahetuslik stress ning väsimuse teke kiireneb (Hofmann & Tschakert, 2010). VT1-st kõrgemal intensiivsusel võivad pikaajalise koormuse jooksul hapnikutarbimine ja ventilatoorsed näitajad aja jooksul suureneka ka muutumatu välise koormuse korral (Hofmann & Tschakert, 2010; Mezzani et al., 2010). Varasemad uuringud on näidanud, et kõrgetasemelised vastupidavussportlased sooritavad suure osa oma treeningmahust madalatel intensiivsustel, sooritades treeningintensiivsuseid valdavalt alla laktaadi- või ventilatsioonilävede (Seiler & Tønnessen, 2009). Seiler ja Tønnessen (2009) järgi toimub suur osa vastupidavussportlaste treeningmahust madala intensiivsusega tsoonis ning ligikaudu 80% treeningutest sooritatakse alla esimese ventilatsiooniläve. Sellist treeningute intensiivsuse jaotust peetakse oluliseks aeroobse võimekuse arendamisel ning vastupidavusalade treeningprotsessis üldiselt (Seiler & Tønnessen, 2009).

Astmelist koormustesti kasutatakse sportlaste füsioloogilise profiili hindamisel ning treeningu intensiivsuse määramisel (Meyer et al., 2005). Astmelise koormustesti käigus hinnatakse füsioloogiliste näitajate muutusi koormuse suurenemisel ning selle põhjal on võimalik määrata näiteks ventilatsioonilävesid, maksimaalset hapnikutarbimist ja maksimaalset võimsust või kiirust (Meyer et al., 2005; Maunder et al., 2021). Siiski on varasemad uuringud viidanud sellele, et traditsioonilised astmelised testid ei pruugi täielikult kirjeldada sportlase võimekust pikaajalise koormuse tingimustes, kuna need ei arvesta füsioloogiliste näitajate muutusi ajas (Hofmann & Tschakert, 2017; Tschakert et al., 2022). Praktikast võib sama suhteline intensiivsus muutuda treeningu kestuse pikenedes organismile märkimisväärselt raskemaks, isegi kui väline koormus

ei muutu (Hofmann & Tschakert, 2017; Tschakert et al., 2022). Pika kestusega koormuse ajal võivad füsioloogilised näitajad progresseeruvalt muutuda, mistõttu lühiajalise astmelise koormustesti põhjal määratud intensiivsused ei pruugi pikaajalise treeningu jooksul enam peegeldada sama füsioloogilist seisundit (Hofmann & Tschakert, 2017; Maunder et al., 2021). Selle tõttu on viimastel aastatel hakatud rohkem uurima füsioloogiliste näitajate muutusi just pika kestusega ühtlase koormusega treeningutel.

La kasutatakse sageli treeningu intensiivsuse määramisel ning aeroobse ja anaeroobse ainevahetuse suhte hindamisel (Hofmann & Tschakert, 2010; Dantas et al., 2015). Vere laktaadi kontsentratsioon suureneb üldjuhul koos treeningu intensiivsuse tõusuga ning seda kasutatakse sageli treeningsoonide määramisel (Dantas et al., 2015). Samas ei pruugi La väärtused pikaajalise koormuse jooksul püsida stabiilsetena isegi ühtlase välise koormuse korral. Green et al. (2005) uuringus suurenes tajutud pingutus ka olukorras, kus La väärtused testi lõpuosas vähenesid.

Lisaks objektiivsetele näitajatele kasutatakse treeningkoormuse hindamiseks subjektiivseid meetodeid (Foster et al., 2001). Üheks enim kasutatavaks meetodiks on tajutud pingutuse skaala ehk rating of perceived exertion (RPE) (Borg, 1970). Foster et al. (2001) kohandasid klassikalist Borgi skaalat ning töötasid välja treeningujärgse tajutud koormuse meetodi ehk sessioon-RPE (sRPE), kus treeningu kestus korrutatakse sportlase subjektiivse hinnanguga treeningu raskusele. sRPE meetod võimaldab hinnata sisemist treeningkoormust lihtsalt ja praktiliselt ning sellel on leitud tugevad seosed südame löögisageduse ja laktaadipõhiste meetoditega (Foster et al., 2001; Seiler & Kjerland, 2006).

Varasemad uuringud on näidanud, et RPE ja sRPE väärtusi mõjutavad lisaks treeningu intensiivsusele ka treeningu kestus (Foster et al., 2001; Green et al., 2009; Monteiro et al., 2019; Jesus et al., 2021). Green et al. (2009) uurisid jooksulindil sooritatud ühtlase koormusega treeninguid ning leidsid, et treeningu jooksul suurenes RPE väärtus ka muutumatu välise koormuse tingimustes. Monteiro et al. (2019) näitasid samuti, et RPE suurenes treeningu kestel ning kõrgema intensiivsusega koormustel oli tõus suurem. Jesus et al. (2021) leidsid, et treeningu kestuse pikenedamine suurendas sRPE väärtusi intensiivsusest sõltuvalt ning suurema intensiivsusega koormustel oli sRPE tõus suurem. Fusco et al. (2020) uurisid ujujaid ning leidsid, et hoolimata suhteliselt stabiilsetest füsioloogilistest näitajatest suurenes RPE treeningu vältel pidevalt. Fusco et al. (2020) uuringus suurenes RPE treeningu vältel ka olukorras, kus füsioloogilised näitajad muutusid vähesel määral.

Ka madala intensiivsusega suure mahuga treeningute puhul on leitud, et subjektiivne koormuse hinnang võib suureneva vaatamata sarnasele välisele koormusele (Pind et al., 2021). Pind et al. (2021) leidsid kõrgetasemeliste sõudjate uuringus, et neljanädalase suure mahuga madala intensiivsusega treeningperioodi jooksul suurenes sportlaste RPE hinnang ning see oli seotud väsimuse kuhjumisega, kuigi südame löögisageduse tsoonijaotus ei muutunud.

Hofmann ja Tschakert (2017) pakkusid välja kontseptsiooni, mille kohaselt tuleks vastupidavustreeningute reguleerimisel arvestada lisaks intensiivsusele ka koormuse kestust individuaalse maksimaalse kestuse suhtes ( $t_{max}$ ). Hofmann ja Tschakert (2017) kirjeldasid, et sama suhteline intensiivsus võib sõltuvalt koormuse kestusest põhjustada erineva ulatusega füsioloogilisi reaktsioone ja taastumisvajadust. Nad kirjeldasid nelja kestvuse tsooni: regeneratiivne ( $< 20\% t_{max}$ ), mõõdukas ( $20-60\% t_{max}$ ), submaksimaalne väsimus ( $60-75\% t_{max}$ ) ja maksimaalne väsimus ( $75-100\% t_{max}$ ), millel on erinev mõju taastumisele ja treeningadaptatsioonidele (Hofmann & Tschakert, 2017). Seda kontseptsiooni toetasid ka Birnbaumer et al. (2022), kes uurisid erineva kestusega ühtlase intensiivsusega koormuste mõju sisemisele treeningkoormusele ja taastumisele. Autorid leidsid, et pikaajalise koormuse jooksul suurenesid SLS, VE, La ja RPE progresseeruvalt koormuse kestuse suurenedes, kuigi väline koormus püsis muutumatuks (Birnbaumer et al., 2022).

Viimastel aastatel on vastupidavusalade teaduskirjanduses üha enam tähelepanu pööratud koormuse taluvuse (*ik-durability*) mõistele. *Durability* all mõistetakse sportlase suutlikkust säilitada füsioloogilist võimekust ja sooritusvõimet pikaajalise koormuse vältel ning vähendada väsimusest tingitud soorituslangust (Maunder et al., 2021). Koormuse taluvuse kontseptsioon lähtub arusaamast, et sportlase võimekus ei sõltu ainult maksimaalsetest füsioloogilistest näitajatest, vaid ka suutlikkusest säilitada neid näitajaid pikaajalise koormuse jooksul (Maunder et al., 2021; Valenzuela et al., 2023). Valenzuela et al. (2023) uurisid professionaalseid jalgrattureid ning leidsid, et pärast ligikaudu neljatunnist submaksimaalset koormust vähenes 20 minuti maksimaalse pingutuse keskmine võimsus keskmiselt 2,9%, kuigi südame löögisagedus oluliselt ei muutunud. Valenzuela et al. (2023) uuringus vähenes pikaajalise submaksimaalse koormuse järel maksimaalne töövõime, kuigi SLS oluliselt ei muutunud.

Vastupidavustreeningu mõju organismile sõltub suurel määral treeningu intensiivsuse ja kestuse omavahelisest seosest (Hofmann & Tschakert, 2017; Birnbaumer et al., 2022). Hofmann ja Tschakert (2017) on kirjeldanud, et kestvuskoormuse talutus sõltub suurel määral koormuse

kestusest ning intensiivsusest võrreldes ventilatsioonilävede ja maksimaalse võimekusega. Mida kõrgem on koormuse suhteline intensiivsus, seda lühemat aega on võimalik seda säilitada. Sellest tulenevalt võimaldavad aja-kiiruse ja aja-võimsuse suhted hinnata sportlase suutlikkust hoida kindlat tööintensiivsust teatud kestuse jooksul (Hofmann & Tschakert, 2017). Pikaajalise submaksimaalse töö jooksul võivad sisemist koormust kirjeldavad näitajad, nagu SLS, VE, La ja RPE, aja jooksul suurenda ka siis, kui töö intensiivsus püsib stabiilsena (Maunder et al., 2021; Valenzuela et al., 2023). Lisaks võib pikaajaline kestva koormus mõjutada järgnevat maksimaalset ja submaksimaalset töövõimet (Birnbaumer et al., 2022).

Kokkuvõtvalt võib öelda, et kuigi treeningkoormuse monitooringul kasutatakse laialdaselt südame löögisagedust ja erinevaid füsioloogilisi markereid, viitavad uuemad uuringud sellele, et pikaajalise koormuse jooksul võivad olulist informatsiooni anda ka subjektiivsed hinnangud ning koormuse taluvuse kontseptsiooniga seotud muutused (Maunder et al., 2021; Valenzuela et al., 2023). Senistes uuringutes on palju tähelepanu pööratud kõrge intensiivsusega koormustele või suhteliselt lühikese kestusega treeningutele, samas kui pika kestusega submaksimaalsete jooksukoormuste mõju füsioloogilistele ja subjektiivsetele näitajatele ning järgnevale sooritusvõimele on uuritud vähem (Hofmann & Tschakert, 2017; Maunder et al., 2021). Sellest tulenevalt on käesoleva magistr töö eesmärk analüüsida 45-minutilise ühtlase submaksimaalse jooksukoormuse mõju füsioloogilistele ja gaasivahetuse parameetritele ning subjektiivsetele näitajatele ning hinnata selle mõju järgneva kasvavate koormustega testi tulemustele.

## 2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED

Käesoleva magistritöö eesmärk on analüüsida 45-minutilise ühtlase submaksimaalse intensiivsusega koormuse mõju aktiivselt vastupidavusalaga tegelevate meeste füsioloogilistele, subjektiivsetele ja gaasivahetuse parameetritele ning tajutud ja objektiivsele väsimusele.

Vastavalt töö eesmärgile püstitati järgmised ülesanded:

1. Määrata sportlase kasvavate koormustega testi ja võistlustulemuste põhjal vaatlusaluste aja-kiiruse suhtekõver ning selle põhjal leida individuaalne tempo, mida vaatlusalune suudab hoida 64 minutit.
2. Analüüsida füsioloogiliste ja gaasivahetuse parameetrite, tajutud koormuse ning väsimuse muutusi 45-minutilise (70% 64 min) ühtlase intensiivsusega testi käigus.
3. Selgitada välja muutused vaatlusaluste maksimaalses ja submaksimaalses töövõimes ning gaasivahetuse näitajates enne ja vahetult pärast 45-minutilist submaksimaalset koormust sooritatud kasvavate koormustega testidel.

### **3. METOODIKA**

#### **3.1. Uuritavad**

Käesoleva magistritöö uuringus osalemiseks andis nõusoleku 9 meessoost vaatlusalust, kes tegelevad aktiivselt pikamaajooksuga ning osalevad võistlustel. Osalejad olid vanuses  $35,2 \pm 6,7$  aastat. Vaatlusaluste kehamass oli  $72 \pm 9,4$  kg, kehamassiindeks  $22,2 \pm 1,8$  kg/m<sup>2</sup> ja pikkus  $179,7 \pm 6,6$  cm. Üheks uuringus osalemise tingimuseks oli uuritava osalemine viimase aasta jooksul kolmel erineval võistlusdistsantsil, milleks olid – 10 km, 21,1 km ja 42,195 km. Lisaks pidid uuritavad olema regulaarselt külastanud spordiarsti ja saanud loa piiranguteta treenimiseks. Uuringu perioodil pidid uuritavad olema terved ja mitte kasutama ravimeid. Kõiki uuritavaid informeeriti uuringu protseduuridega ja võimalike riskidega, enne kui nad andsid kirjaliku nõusoleku uuringus osalemiseks. Uuringu protseduurid ja protokollid olid heaks kiidetud Tartu Ülikooli Eetikakomitee poolt (luba nr. 407/T-8, väljastatud 15.12.2025).

#### **3.2. Uuringu disain**

Peale uuringu tutvustamist ning informeeritud nõusoleku allkirjastamist viidi testimised läbi kahel erineval päeval. Kahe testimise vahe oli vähemalt 2 päeva (48 tundi), kuid mitte rohkem kui 7 päeva. Testimine viidi läbi Tartu Ülikooli Sporditeaduste ja füsioteraapia instituudi laboris perioodil veebruar-aprill 2026.

Esimesel testimisel mõõdeti uuritava pikkus kasutades stadiomeetrit (Seca heigh rod 225, Seca GmbH & Co, Hamburg, Saksamaa) ja keha mass (Tanita MC-780MA-NP, Tokyo, Jaapan). Seejärel sooritas uuritav kasvavate koormustega testi jooksulindil kasutades hapnikumaski ning pärast koormustesti mõõdeti sõrmeotsa kapillaarverest vereplasma laktaadi kontsentratsioon kolmandal, viiendal ja viieteistkümnendal taastumisminutil. Teisel testimisel mõõdeti uuritava keha mass nii enne kui ka peale 45-minutilist ühtlase kiirusega testi. Sõrmeotsa kapillaarverest vereplasma laktaadi kontsentratsiooni mõõdeti enne testi, testil iga kümne minuti järel ja peale testi kolmandal ja viiendal taastumisminutil. Pärast 45-minutilist ühtlase kiirusega testi sooritati 10 minuti möödudes uuesti kasvavate koormustega test. Koormustesti järgselt mõõdeti jällegi sõrmeotsa kapillaarverest vereplasma laktaadi kontsentratsioon kolmandal, viiendal ja

viisteistkümnendal taastumisminutil. Kõikidel testidel küsiti ka uuritava subjektiivset hinnangut koormuse raskusele (RPE) Borgi 10 punkti skaalat kasutades (Pind *et al.*, 2021).

### **3.3. Kasvavate koormustega test jooksulindil**

Esimesel testimispäeval sooritasid uuritavad kasvavate koormustega testi jooksulindil, mille tõusunurgaks oli määratud  $1^\circ$ . Koormustesti esimesel minutil oli kiirus 4 km/h, peale esimest minutit tõusis kiirus 10 km/h ja sealt edasi kasvas kiirus 1 km/h iga minuti täitumisel, kuni oli saavutatud kiirus 15 km/h. Pärast seda kasvas kiirus 0,5 km/h minuti täitumisel ning test sooritati suutlikkuseni. Iga minuti täitumisel küsiti uuritavalt modifitseeritud RPE10 skaala põhjal, kui raskena hetkeline koormus tundub (Foster *et al.*, 2001). Uuritavad pidid vastama küsimusele: “Kui raske koormus hetkel on?” (Tabel 1). Koormustestil mõõdeti uuritavate SLS Polar pulsivööga (Polar Electro, Kempele, Soome), gaasivahetuse parameetrid ( $VE$ ,  $O_2$ ,  $RER$ ,  $VCO_2$ ,  $VO_2$ ), kasutades mõõteseadet Metalyzer (Cortex GmbH, Leipzig, Saksamaa). Lisaks määrati uuritavate aeroobne (VT1) ja anaeroobne (VT2) lävi, kasutades esimese ja teise ventilatsiooni murdepunkti meetodit (Seiler & Kjerland, 2006). Koormustesti järgselt mõõdeti sõrmeotsa kapillaarverest vereplasma La kolmandal, viiendal ja viietestkümnendal taastumisminutil. La määramine toimus aparaadiga (EKF-Diagnostic, Barleben, Saksamaa). Selleks võeti uuritava sõrme otsast 10  $\mu$ l verd vastava pipeti (Servoprax, Saksamaa) abil. Sõrme otsa augu tegemiseks kasutati ühekordseid Haemolance nõelasiid (HTL-Strefa SA, Poola).

**Tabel 1.** Modifitseeritud RPE10 skaala treeningu talutava koormuse määramisel (Foster et al., 2001)

RPE	Koormuse kirjeldus
0	Puhkus
1	Väga kerge
2	Kerge
3	
4	Keskmine
5	Raske
6	
7	Väga raske
8	Väga-väga raske
9	Peaaegu maksimaalne
10	Maksimaalne

### **3.4. Ühtlase intensiivsusega 45-minutiline test + kasvavate koormustega test**

Teisel testimispäeval sooritasid vaatlusalused ühtlase intensiivsusega 45-minutilise testi. Jooksu intensiivsus leiti Hoffman & Tschakert (2017) meetodit kasutades, rakendades uuritavate isiklike rekordeid erinevatel distantsidel ning nende põhjal arvutatavat kriitilist kiirust. Jooksu intensiivsus valiti selline, et selle kestvus (45 min) vastaks 70% maksimaalsest kestvusest, mida uuritav suudab antud intensiivsusel hoida (Birnbauer et al., 2022). Kogu testi vältel hingasid uuritavad läbi hapnikumaski. Testil mõõdeti uuritavate SLS ja selle muutused, gaasivahetuse parameetrid (RER, VCO<sub>2</sub>, VO<sub>2</sub>). Iga viie minuti järel küsiti vaatlusaluselt küsimus: “Kui raske koormus hetkel on?” (Tabel 1). Lisaks määrati laktaadi kontsentratsioon (La) iga kümne minuti järel. Vere La määrati sõrmeotsa kapillaarverest ensümaatilisel teel sarnaselt nagu esimesel testimispäeval. 45-minutilisele testile eelnes soojendus jooksulindil: kaks minutit VT1 tasemest 2 km/h madalama intensiivsusega, viis minutit VT1 intensiivsusega, 2x30 sek 45-minutilise testi intensiivsusega, mille vahel ja järel oli 30 sek VT1 intensiivsusega ning lõpetuseks kaks minutit VT1 tasemest 2 km/h madalama intensiivsusega. Jooksulindi tõusunurk 45-minutilisel jooksutestil oli 0° ja esimesed viis minutit joosti 45-minutilise testi kiirusest 1 km/h aeglasema kiirusega, tagamaks väiksema võimaliku anaeroobse ainevahetuse mõju erinevatele füsioloogilistele parameetritele. Enne ja pärast 45-minuti testi mõõdeti uuritava keha mass.

Uuritava väsimuse taset 45-minutilise testi eel ja järel määrati 10 punktilist visuaal-analoog skaala (VAS) tüüpi skaala põhjal (Micklewright et al., 2017; Tabel 2). 45-minutilise testi järel mõõdeti uuritava La kolmandal ja viiendal minutil. Pärast 45-minuti testi sooritati kümne minuti möödudes uuesti kasvavate koormustega test, mis oli analoogse ülesehitusega esimese testimispäeva koormustestiga.

**Tabel 2.** Uuringus kasutatud 0-10 VAS tüüpi skaala (Micklewright et al., 2017)

HINNANG	KIRJELDUS
10	Maksimaalne väsimus
9	
8	Väga väsinud
7	
6	
5	Keskmiselt väsinud
4	
3	
2	Natukene väsinud
1	
0	Ei ole üldse väsinud

### 3.5. Andmete statistiline analüüs

Uurimustöö statistiliseks analüüsiks kasutati programmi JASP (Version 0.96, JASP Team, University of Amsterdam, Holland). Statistilise analüüsi käigus arvutati aritmeetilised keskmised ( $\bar{X}$ ) ja standardhälbed ( $\pm$  SD). Andmete normaaljaotust kontrolliti Shapiro–Wilks testiga ning normaaljaotusega andmete korral kasutati sõltuvate valimite t-testi (paired-samples t-test). Sõltuvate valimite t-testi kasutati kahe kasvavate koormustega testi võrdlemiseks ning 45-minutilise ühtlase intensiivsusega testil toimunud muutuste hindamiseks, võrreldes mõõtmispunkte 10. minuti väärtusega. Lisaks kasutati 45-minutilise ühtlase intensiivsusega testi käigus ajafaktori mõju hindamiseks kordumõõtmiste dispersioonanalüüsi (repeated measures ANOVA). Oluliste efektide korral teostati post hoc paarisvõrdlused, kasutades Holmi korrektsiooni mitmekordsete võrdluste jaoks. Tunnuste vaheliste seoste hindamiseks kasutati Pearsoni korrelatsioonanalüüsi. Statistiliselt oluliseks loeti erinevused, mille korral  $p < 0,05$ .

## 4. TÖÖ TULEMUSED

### 4.1 Kasvavate koormustega test jooksulindil

Vaatlusalused sooritasid 45 min testi kiirusel  $16,18 \pm 1,52$  km/h, mis vastas kiirusele, mida nad oleksid suutelised hoidma 64 min tulenevalt nende aja-kiiruse suhtekõverast. Uuritavad sooritasid kasvavate koormustega testi jooksulindil kahel erineval mõõtmiskorral, millest teine viidi läbi peale 45-minutilist ühtlase intensiivsusega koormust. Maksimaalsed tulemused ( $X \pm SD$ ) ja nende erinevused ( $\Delta$ ) on esitatud tabelis 3 ning submaksimaalsed tulemused ( $X \pm SD$ ) ja nende erinevused ( $\Delta$ ) tabelis 4.

**Tabel 3.** Kasvavate koormustega jooksulinditesti peamised näitajad kahel mõõtmiskorral ( $X \pm SD$ ) ning nende erinevused ( $\Delta$ ).

Parameeter	Test 1	Test 2	$\Delta$	p
Testi kestus (sek)	$946,00 \pm 176,10$	$812,80 \pm 177,70$	$-133,20 \pm 50,04$	$p < 0,05$
$VO_2$ ( $L \cdot \text{min}^{-1}$ )	$4,36 \pm 0,47$	$4,12 \pm 0,40$	$-0,24 \pm 0,26$	$p < 0,05$
$VO_{2\text{max}}$ ( $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )	$60,56 \pm 6,19$	$57,56 \pm 4,75$	$-3,00 \pm 3,74$	$p < 0,05$
VE ( $L \cdot \text{min}^{-1}$ )	$163,90 \pm 16,70$	$157,30 \pm 15,17$	$-6,59 \pm 11,24$	$p > 0,05$
SLSmax (lööki $\cdot \text{min}^{-1}$ )	$186,80 \pm 10,64$	$183,70 \pm 10,90$	$-3,11 \pm 3,18$	$p < 0,05$
$VO_{2\text{max}}$ kiirus (km/h)	$18,98 \pm 1,19$	$18,04 \pm 1,15$	$-0,93 \pm 0,66$	$p < 0,05$
Wmax (W)	$407,90 \pm 32,56$	$372,30 \pm 41,69$	$-23,88 \pm 12,51$	$p < 0,05$
Wmax (W/kg)	$5,50 \pm 0,61$	$5,17 \pm 0,49$	$-0,31 \pm 0,15$	$p < 0,05$
La 3 ( $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$10,43 \pm 2,46$	$6,63 \pm 2,67$	$-3,80 \pm 1,23$	$p < 0,05$
La 5 ( $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$9,99 \pm 2,12$	$5,71 \pm 2,42$	$-4,28 \pm 1,50$	$p < 0,05$
La 15 ( $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$6,94 \pm 2,04$	$3,51 \pm 1,20$	$-3,43 \pm 2,10$	$p < 0,05$

X - aritmeetiline keskmine; SD - standardhälve;  $\Delta$  - mõõtmiskordade vaheline erinevus; p - statistiline olulisus;  $VO_2$  - hapnikutarbimine;  $VO_{2\text{max}}$  - maksimaalne hapnikutarbimine; VE - minutiventilatsioon; SLSmax - maksimaalne südame löögisagedus; Wmax - maksimaalne võimsus; La - vere laktaadi kontsentratsioon

Kasvavate koormustega jooksulinditesti maksimaalsete näitajate võrdlus kahe mõõtmiskorra vahel näitas statistiliselt olulisi vähenemisi testi kestuses,  $VO_{2\text{max}}$ -is, SLSmax-is, Wmax-is ning

kiiruses VO<sub>2</sub>max tasemel. Samuti vähenesid statistiliselt oluliselt vere laktaaditasemed kõigil mõõdetud taastumisminutitel. VE muutus ei olnud statistiliselt oluline.

**Tabel 4.** Kasvavate koormustega jooksulinditesti submaksimaalsed näitajad kahel mõõtmiskorral (X ± SD) ning nende erinevused (Δ)

Parameeter	Test 1	Test 2	Δ	p
VT1 SLS (lööki·min <sup>-1</sup> )	159,10 ± 10,01	155,30 ± 10,34	-3,78 ± 4,90	p < 0,05
VT1 (W)	293,60 ± 19,23	267,80 ± 30,75	-17,75 ± 4,74	p < 0,05
VT1 (W/kg)	3,97 ± 0,37	3,74 ± 0,31	-0,22 ± 0,10	p < 0,05
VT1 (km/h)	14,28 ± 1,26	13,36 ± 1,10	-0,92 ± 0,50	p < 0,05
VT1 RPE	4,56 ± 0,73	4,11 ± 0,60	-0,44 ± 0,53	p > 0,05
VT2 SLS (lööki·min <sup>-1</sup> )	177,30 ± 9,01	173,10 ± 10,37	-4,22 ± 3,87	p < 0,05
VT2 (W)	358,60 ± 24,37	330,80 ± 28,82	-20,38 ± 14,29	p < 0,05
VT2 (W/kg)	4,84 ± 0,32	4,74 ± 0,60	-0,11 ± 0,44	p > 0,05
VT2 (km/h)	17,32 ± 1,10	16,34 ± 0,99	-0,98 ± 0,52	p < 0,05
VT2 RPE	7,22 ± 0,97	7,33 ± 1,12	-0,11 ± 0,60	p > 0,05

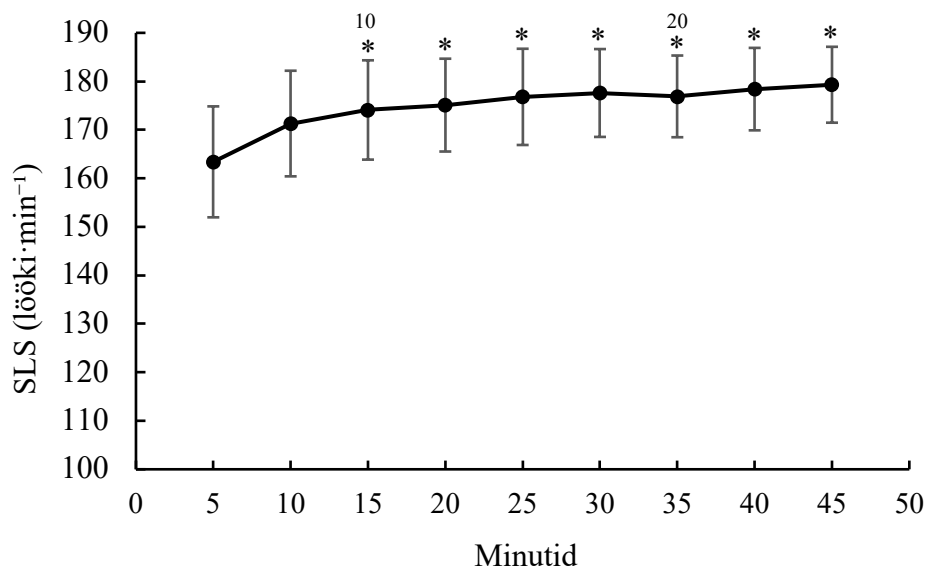
X - aritmeetiline keskmine; SD - standardhälve; Δ - mõõtmiskordade vaheline erinevus; p - statistiline olulisus; VT1 - esimene ventilatsioonilävi; VT2 - teine ventilatsioonilävi; SLS - südame löögisagedus; RPE - pingutuse tajutav raskusaste

Submaksimaalsete näitajate võrdlus kahe mõõtmiskorra vahel näitas, et VT1 tasemel esines statistiliselt olulisi vähenemisi südame löögisageduses, absoluutses- ja suhtelises võimsuses ning kiiruses (kõik p < 0,05). VT1 tajutud koormuse muutus ei olnud statistiliselt oluline. VT2 tasemel ilmnedid statistiliselt olulised vähenemised südame löögisageduses, absoluutses võimsuses ja kiiruses, samas kui suhteline võimsus ja tajutud koormus statistiliselt oluliselt ei muutunud.

## 4.2 Ühtlase intensiivsusega 45-minutiline test

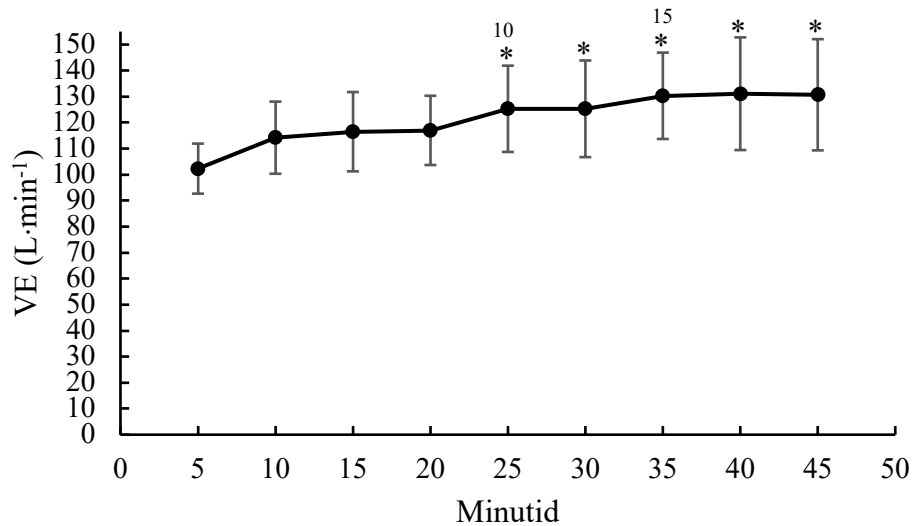
Testi esimesed 5 minutit sooritati madalamal intensiivsusel eesmärgiga võimaldada organismil koormusega kohaneda enne ühtlase tööfaasi algust. Sellest tulenevalt kasutati järgnevas analüüsis võrdluspunktina 10. minuti väärtusi.

Uuritavate keskmine SLS suurenes 45-minutilisel ühtlase intensiivsusega testil statistiliselt oluliselt (Joonis 1). SLS tõus võrreldes 10. minutiga oli statistiliselt oluline kõigil järgnevatel mõõtmispunktidel ( $p < 0,05$ ). Seejuures suurenes SLS testi lõpuks keskmiselt  $8,0 \text{ lööki} \cdot \text{min}^{-1}$  võrreldes 10. minuti väärtusega. Holmi korrektsiooniga post hoc analüüs näitas statistiliselt olulist erinevust 20. ja 35. minuti vahel ( $p < 0,05$ ), samas kui ülejäänud ajapunktide vahel statistiliselt olulist erinevust ei esinenud.



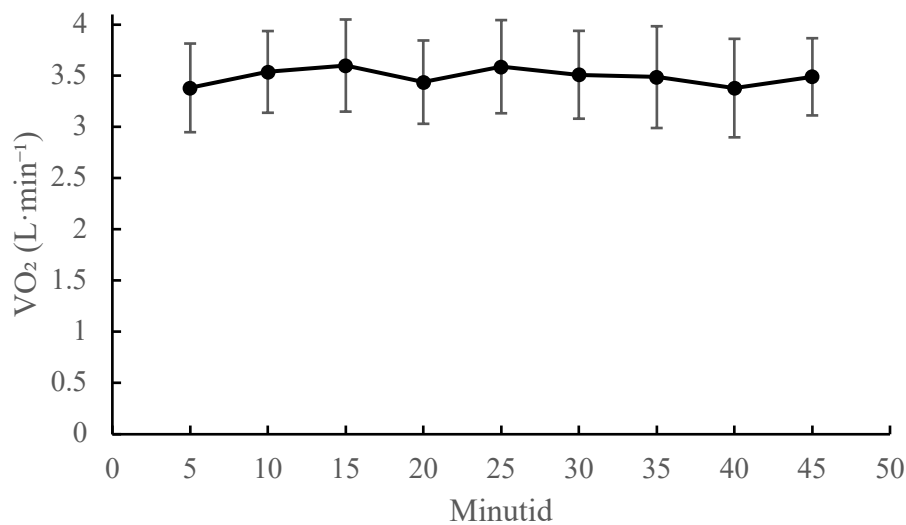
**Joonis 1.** Südame löögisageduse (SLS) muutused 45-minutilise ühtlase intensiivsusega testil (keskmine  $\pm$  SD). \* - statistiliselt oluline erinevus võrreldes 10. minutiga ( $p < 0,05$ ); number näitab statistiliselt olulist erinevust vastavast ajapunktist ( $p < 0,05$ )

Uuritavate keskmine VE suurenes 45-minutilisel ühtlase intensiivsusega testil statistiliselt oluliselt (Joonis 2). VE tõus võrreldes 10. minutiga oli statistiliselt oluline alates 25. minutist ( $p < 0,05$ ). Seejuures suurenes VE testi lõpuks keskmiselt  $16,5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$  võrreldes 10. minuti väärtusega. Holmi korrektsiooniga post hoc analüüs näitas statistiliselt olulist erinevust 15. ja 35. minuti vahel ( $p < 0,05$ ), samas kui ülejäänud ajapunktide vahel statistiliselt olulisi erinevusi ei esinenud.



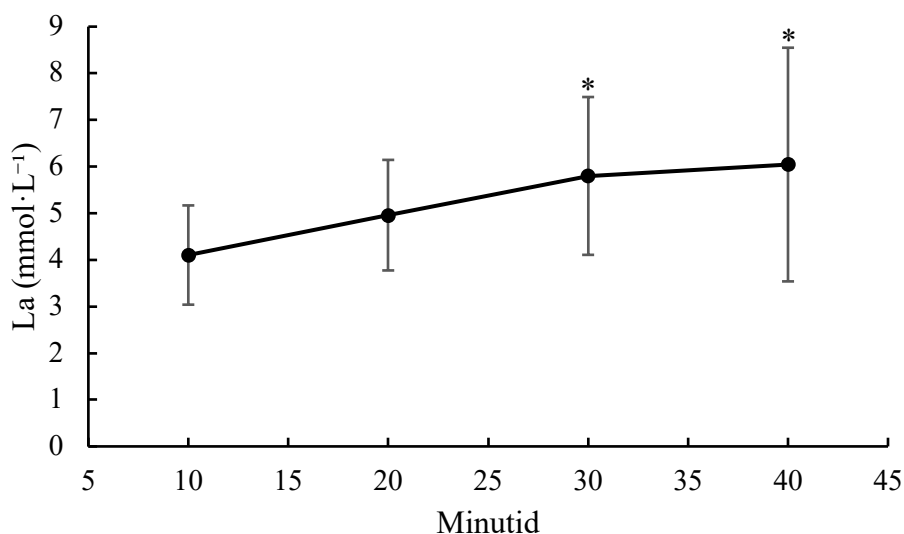
**Joonis 2.** Minutiventilatsiooni (VE) muutused 45-minutilise ühtlase intensiivsusega testil (keskmine  $\pm$  SD). \* - statistiliselt oluline erinevus võrreldes 10. minutiga ( $p < 0,05$ ); number näitab statistiliselt olulist erinevust vastavast ajapunktist ( $p < 0,05$ )

Uuritavate keskmine  $VO_2$  45-minutilise ühtlase intensiivsusega testil statistiliselt oluliselt ei muutunud (Joonis 3). Võrreldes 10. minuti väärtusega ei ilmnenu järgnevatel mõõtmispunktidel statistiliselt olulisi erinevusi ( $p > 0,05$ ).



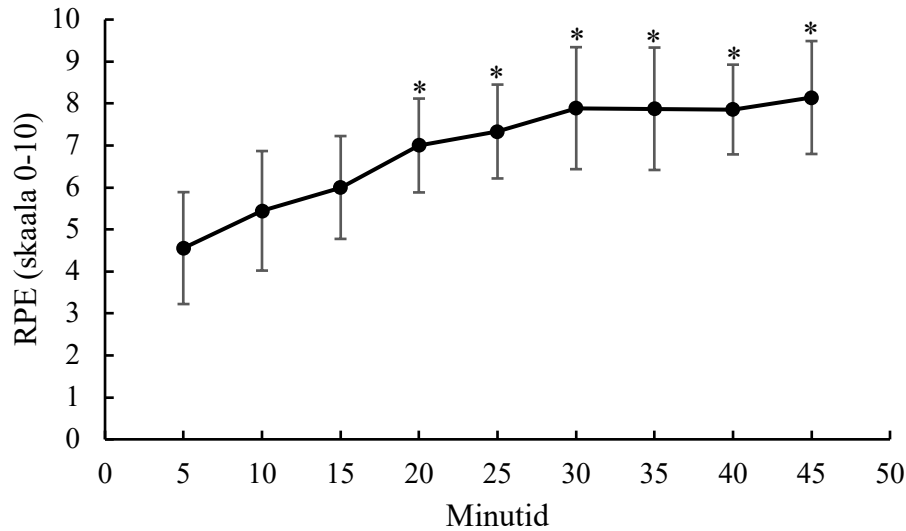
**Joonis 3.** Hapnikutarbimise ( $VO_2$ ) muutused 45-minutilise ühtlase intensiivsusega testil (keskmine  $\pm$  SD).

Uuritavate keskmine La suurenes 45-minutilise ühtlase intensiivsusega testil statistiliselt oluliselt (Joonis 4). Võrreldes 10. minuti väärtusega oli La statistiliselt oluliselt kõrgem 30. ja 40. minutil ( $p < 0,05$ ). Seejuures suurenes La testi lõpuks keskmiselt  $1,9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  võrreldes 10. minuti väärtusega.



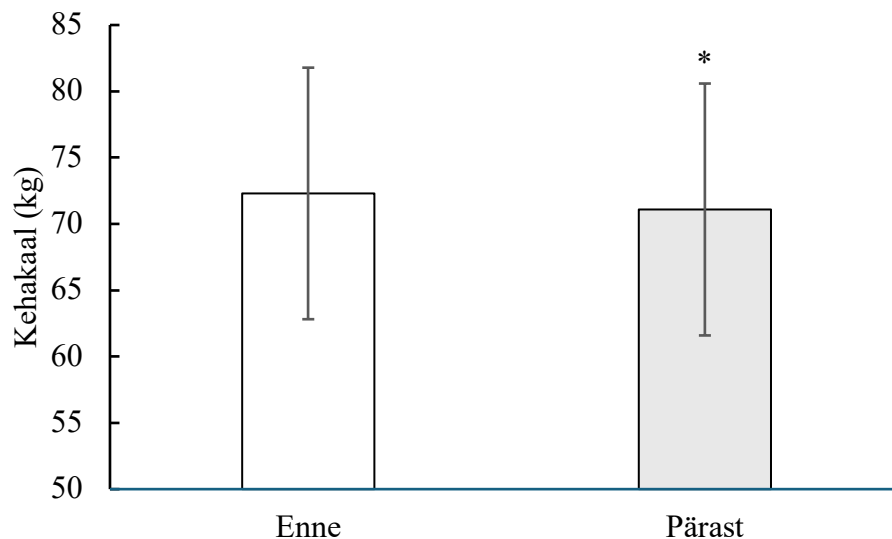
**Joonis 4.** Vere laktaadi kontsentratsiooni (La) muutused 45-minutilise ühtlase intensiivsusega testil (keskmine  $\pm$  SD). \* - statistiliselt oluline erinevus võrreldes 10. minutiga ( $p < 0,05$ ).

Uuritavate keskmine RPE suurenes 45-minutilisel ühtlase intensiivsusega testil statistiliselt oluliselt (Joonis 5). RPE tõus võrreldes 10. minutiga oli statistiliselt oluline alates 20 minutist ( $p < 0,05$ ). Seejuures suurenes RPE testi lõpuks keskmiselt 2,7 ühikut võrreldes 10. minuti väärtusega.



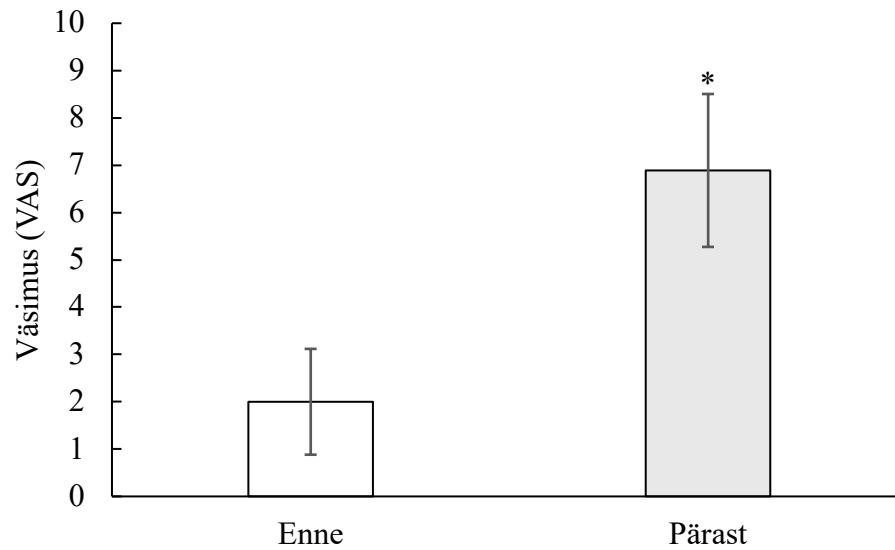
**Joonis 5.** Pingutuse tajutava raskusastme (RPE) muutused 45-minutilise ühtlase intensiivsusega testil (keskmine  $\pm$  SD). \* - statistiliselt oluline erinevus võrreldes 10. minutiga ( $p < 0,05$ ).

Uuritavate kehakaal vähenes keskmiselt 45-minutilise ühtlase intensiivsusega testil statistiliselt oluliselt (Joonis 6). Kehakaal langes testil keskmiselt  $1,2 \pm 0,3$  kg.



**Joonis 6.** Kehakaalu (kg) muutused enne ja pärast 45-minutilist ühtlase intensiivsusega testi (keskmine  $\pm$  SD). \* - statistiliselt oluline erinevus ( $p < 0,05$ )

Uuritavate VAS suurenes 45-minutilise ühtlase intensiivsusega testil statistiliselt oluliselt (Joonis 7). Keskmine väärtus suurenes  $2,0 \pm 1,1$ .



**Joonis 7.** VAS-skaalal hinnatud väsimuse muutused enne ja pärast 45-minutilist ühtlase intensiivsusega testi (keskmine  $\pm$  SD). \* - statistiliselt oluline erinevus võrreldes testieelse väärtusega ( $p < 0,05$ )

## 5. ARUTELU

Käesoleva magistr töö eesmärk oli analüüsida 45-minutilise ühtlase submaksimaalse intensiivsusega jooksukoormuse mõju sportlase füsioloogilistele ja gaasivahetuse näitajatele ning hinnata koormuse mõju submaksimaalsele ja maksimaalsele töövõimele Uuringu üheks peamiseks tulemuseks oli, et 45-minutiline ühtlase intensiivsusega testi käigus toimusid muutused minutiventilatsioonis ja südamelöögisageduses sarnases ajavahemikus, samas kui RPE väärtused peale esmast tõusu, testi edasise kestvuse korral enam oluliselt ei muutunud. Lisaks leidsime, et rakendatav koormus põhjustas olulised muutused vaatlusaluste submaksimaalse ja maksimaalse töövõime näitajates.

Vastupidavusspordis on treeningu intensiivsuse ja kestvuse optimaalne määramine üks keskseid küsimusi nii sportlaste arendamisel kui ka ülekoormuse vältimisel. Traditsiooniliselt kasutatakse treeningu intensiivsuse määramisel füsioloogilisi markereid nagu ventilatsiooniläved, laktaadikontsentratsioon ja südame löögisagedus (Seiler & Kjerland, 2006; McLaughlin et al., 2010). Viimastel aastatel on aga järjest enam tähelepanu pööratud sellele, et sportlase reaktsioon pikaajalisele koormusele ei pruugi olla täielikult prognoositav ainult laboratoorsete lävede põhjal. Eriti oluline on see pikaajaliste submaksimaalsete treeningute korral, kus organismi sisemine koormus võib ajas märkimisväärselt suurenda ka siis, kui väline koormus püsib muutumatuna.

Käesoleva magistr töö üheks eesmärgiks oli hinnata muutusi sportlase füsioloogilistes parameetrites kasutades Hofmanni ja Tschakerti (2017) soovitatud meetodikat, milleks on aja-jooksukiiruse suhtekõvera kasutamine, hinnates 10 000 m, poolmaratoni ning maratoni võistluste tulemusi. Eesmärgiks seati 45 min töö sooritamine, mille lõpuks peaks vaatlusalune jõudma kompenseeriva väsimuse faasi, mis saabub umbes 70-75% juures maksimaalsest kestvusest ning tulenevalt Birnbaumeri et al. (2022) uuringust, vastas see 64 min jooksukiirusele, milleks oli  $16,18 \pm 1,52$  km/h. Oluline metodoloogiline erinevus käesoleva uuringu ja Birnbaumer et al. (2022) uuringu vahel seisneb selles, kuidas määrati submaksimaalne koormus. Birnbaumer et al. (2022) määrasid esmalt individuaalse tööintensiivsuse VT2 suhtes ning alles seejärel hinnati, kui kaua sportlane suudab sellist koormust taluda, sooritades testi kuni suutlikkuseni. Käesolevas uuringus liiguti vastupidises suunas – varasemate võistlustulemuste ja kriitilise kiiruse mudeli põhjal prognoositi intensiivsus, mis peaks võimaldama töötada ligikaudu 64 minutit ning mille puhul

45-minutiline test vastaks umbes 70% maksimaalsest kestvusest ning püüti testida hüpoteesi praktikas.

Magistritöö tulemustest selgus, et hapnikutarbimine kogu 45 minutilist testi jooksul oluliselt ei muutunud, samas kui muutused toimusid nii südamelöögisageduses, kuid ka minutiventilatsioonis ( $p < 0,05$ ). Siiski, võis mõlemas parameetris täheldada olulisi muutusi esmalt 15-25 min kestvuse juures ning seejärel 35 minutil, mis viitavad esitatud kestvuslavede kontseptsioonile (Hoffmann & Tschaker, 2017). Sarnaseid tulemusi on kirjeldatud Birnbaumer et al. (2022) uuringus, kus pikaajalise ühtlase submaksimaalse koormuse jooksul suurenes VE vaatamata suhteliselt stabiilsele hapnikutarbimisele. Seega võib väita, et minutiventilatsiooni võib olla gaasivahetusparameetritest tundlikum parameeter, kui hapnikutarbimine kestvuslavede määramisel. Oluline on siiski ka märkida, et Birnbaumeri uuringus kasutatav suhteline intensiivsus oli madalam, kui käesolevas magistritöös.

Uurijad viidanud, et lisaks objektiivsetele parameetritele on hingamisparameetrite kontekstis oluline seostada neid rohkem praktilisemate parameetritega, mis oleksid igapäevaselt treeningtöös kasutatavad, näiteks SLS, RPE ja laktaadi kontsentratsioon (Birnbaumer et al. 2022; Maunder et al. 2021). Kõige selõgemalt väljendus see meie uuringu SLS-i muutustes (Joonis 1), mille muutused ilmsid sarnase testi kestvuse juures võrreldes minutiventilatsiooni muutustega.. Sarnast SLS-i suurenemist pikaajalise koormuse jooksul on kirjeldatud ka varasemates uuringutes (Gilman, 1996; Coyle & González-Alonso, 2001). Varasemates uuringutes on SLS-i suurenemist seostatud vedelikukaoga, plasmamahu vähenemisega ning pikaajalise koormusega seotud kardiovaskulaarse stressi suurenemisega (Coyle & González-Alonso, 2001). Käesolevas uuringus vähenes vaatlusaluste kehakaal peale 45-minutilist testi keskmiselt 1,2 kg, mis võib viidata vedelikukaole testi jooksul, kuid uuringu ülesehitus ei võimalda hinnata selle otsest mõju SLS-i muutustele. Samas, on ka need parameetrid seostatavad kehale mõjuva stressiga, mille muutusi võib kajastada ka minutiventilatsiooni muutused. Seega, viitavad magistritöö tulemused samuti sellele, et treeningu kestvusel on oluline mõju erinevate füsioloogiliste parameetrite muutustele ning selle mõju hindamine võib anda paremat informatsiooni treeningute välise koormuse kirjeldamisel.

Analüüsidest aga RPE hinnanguid näitasid meie tulemused siiski, et tegelik sisemine koormus 45 minutilisel testil kujunes paljude vaatlusaluste jaoks märgatavalt kõrgemaks kui esialgu planeeritud ning mida võis metodoloogiliselt eeldada. Seda kinnitasid nii füsioloogilised

näitajad kui ka subjektiivsed hinnangud. RPE suurenes testi algul oluliselt, kuid testi lõpus, alates 20 minutist enam olulisel määral ei muutunud (Joonis 5). Samuti suurenes oluliselt sportlaste subjektiivne väsimushinnang testi lõpul. Vere laktaadikontsentratsiooni muutused näitasid samuti, et rakendatud koormus ei olnud paljude sportlaste jaoks täielikult püsiseisundi tsoonis. Kui uuringu planeerimisel eeldati, et koormus jääb valdavalt alla VT2. Eeldasime, et kuna lähteintensiivsust peaks iga vaatlusalune suutma hoida 64 min ning, et tegemist oli valdavalt harrastussportlastega, kes ühtlast kiirust ei suuda säilitada tund aega (Seiler & Kjerland, 2006), vaid see on omane tipp maratoonaritele. Seetõttu eeldasime ka laktaadi kontsentratsioonis püsiseisundi tekkimist, mis tegelikkuses suurenes testi jooksul progresseeruvalt (Joonis 4). See viitab sellele, et mitmetel sportlastel võis energiavahetus liikuda järjest suurema anaeroobse komponendi suunas ning tegelik intensiivsus osutus kõrgemaks kui VT2. Samuti võisid testiga kaasnevad kõrvalmõjud (hapnikumask, jooksulindil jooks) negatiivselt mõjuda. Lisaks viitasid paljud vaatlusalused ka mentaalsele väsimusele ja rutiinile nii pika testi jooksul. Need faktorid kombineerides võisid ka mõjuda, et paljude jaoks võis määratud intensiivsus osutuda ka anaeroobse läve intensiivsuseks. Samas, analüüsides vaatlusaluste kiirust 45 minutilisel testil, siis jäi see siiski alla (keskmiselt 1,3 km/h) kasvavate koormustega testil määratud VT2 kiirusele, mis omakorda viitab, et sportlaste töövõime ennustamine pikemaajalisel tööl on väga keeruline klassikalise kasvavate koormustega testil. Sarnasele probleemile on viidanud ka Maunder et al. (2021), kelle hinnangul ei arvesta traditsioonilised füsioloogilise profiili määramise meetodid piisavalt koormuse jooksul tekkivaid muutusi ega sportlaste individuaalset kestva-likku taluvust. Seega, kokkuvõtvalt osutus tõenäoliselt kasutatud meetoodika hüpotees kombineerudes kõrvalmõjudega eeldatust kõrgemaks. Siiski, me leidsime, et ka väsimuse kuhjumise tsoonis on mõnedes mõõdetud parameetrites siiski kestva-likustsoonid tuvastatavad ning nende sobivust treeningu välise koormuse määramisel on oluline edasi uurida. Samas, RPE võib kõrgematel intensiivsustel osutuda vähe informatiivseks.

Uuringu üheks eesmärgiks oli ka hinnata objektiivset väsimuse lokaliseerumist erinevates parameetrites kasutades meetoodikat määrata koormus, mis arvestab vaatlusaluse individuaalset koormustaluvust. Tulenevalt aga asjaolust, et selliselt määratud koormus osutus käesolevas uuringus sportlastele oluliselt raskemaks, oli väsimuse teke ilmne. Siiski, kuna valdavalt testitakse sportlasi puhanuna, et tagada tulemuste usaldusväärsus, siis reaalses pingutussituatsioonis võib reaalne koormus suurene- da tulenevalt sportlaste koormustaluvuse vähenemisest. Uuringu tulemused näitasid, et ühtlane intensiivsus anaeroobse läve piirkonnas peaaegu maksimaalse

pingutuseni kutsub esile olulised muutused nii aeroobse ja anaeroobse läve, kui ka maksimaalse võimsuse parameetrites. Oluline on siinjuures märkida, et väsimuse (muutused vastavas töövõimes) aeroobsel ja anaeroobsel lävel on samas suurusjärgus. Seda võib olla praktikas oluline arvestada, kui planeerida näiteks ekstensiivseid või intensiivseid intervalltreeninguid ning sooritades neid maksimaalse väsimuseni. Sellisel juhul, väsimuse kuhjudes võib ka töö iseloom kanduda kõrgemasse intensiivsustsooni kui esialgselt planeeritud ning koormus seetõttu olla ka oluliselt kõrgem. Huvitav oli märkida, et sõltumata lävede intensiivsute muutustest (Tabel 4) ei muutunud subjektiivne RPE hinnang töö raskusele.

Käesoleva uuringu üheks tugevuseks võib pidada uuringudisaini, mis võimaldas hinnata 45-minutilise submaksimaalse jooksukoormuse mõju nii koormuse ajal toimunud füsioloogilistele muutustele ning võimalike praktiliste markerite kasutamisele pikemaajalise koormuse mõju hindamisel sportlase akuutsele väsimusele. Kuigi vastupidavusalade treeningute intensiivsuse määramisel kasutatakse laialdaselt ventilatsioonilävesid, laktaati ja südame löögisagedust, on pikaajalise submaksimaalse koormuse taluvuse kohta teaduskirjanduses endiselt suhteliselt vähe andmeid. Eriti vähe on uuritud olukordi, kus koormuse intensiivsus määratakse varasemate võistlustulemuste ja kriitilise kiiruse mudeli põhjal.

Uuringu üheks tugevuseks võib pidada ka enne-pärast koormustestide kasutamist, mis võimaldas hinnata koormusjärgseid muutusi funktsionaalses töövõimes, kuid kuna määratud koormus 45 min testi puhul osutus vaatlusalusele liialt raskeks, siis ei õnnestunud.

Käesoleval uuringul oli ka mitmeid piiranguid. Uuringu valim oli küllaltki väike ja vaatlusalused olid meessoost jooksjad, mistõttu tuleb tulemuste üldistamisel olla ettevaatlik. Lisaks hinnati uuringus koormuse akuutset mõju ning ei analüüsitud taastumisprotsessi pikema aja jooksul, näiteks 24 tundi hiljem, et hinnata Hofmanni & Tschakerti meetoodika teist hüpoteesi akuutse koormuse ja väsimuse kestvuse osas. Samuti ei võimaldanud uuringu ülesehitus hinnata täpsemalt tegureid, mis võisid põhjustada pärast 45-minutilist koormust täheldatud muutusi maksimaalses ja submaksimaalses töövõimes.

Edasistes uuringutes võiks analüüsida erineva treenitusega sportlasi ning hinnata pikema kestusega koormuste mõju taastumisele ja töövõime muutustele pikema ajaperioodi jooksul. Samuti võiks tulevikus täpsemalt uurida, millised füsioloogilised tegurid on seotud pikaajalise submaksimaalse kestvuskooormuse järgselt ilmneva töövõime langusega.

## 6. JÄRELDUSED

Käesoleva magistritöö põhjal võib teha järgnevad järeldused:

1. Kasvavate koormustega testi ja võistlustulemuste põhjal koostatud aja-võimsuse suhtekõvera kasutamine võib ülehinnata vaatlusaluse võimet sooritada 70 % kestvusega koormustaluvust intensiivsusel, mida suudetakse säilitada umbes 1 tund.
2. Südamelöögisageduse ja minuti ventilatsiooni parameetrite puhul olid tuvastatavad kaks murdepunkti, mis võivad viidata nende parameetrite kasutamisele akuutsel kohanemisel treeningu kestvuse pikenemisel suhteliselt kõrge intensiivsusega ühtlasel koormusel.
3. Subjekttiivne koormushinnang ei ole heaks praktiliseks markeriks akuutsel kohanemisel treeningu kestvuse pikenemisel suhteliselt kõrge intensiivsusega ühtlasel koormusel.
4. 45-minutiline submaksimaalne koormus anaeroobse läve piirkonnas suutlikkuseni kutsus esile olulise väsimuse nii submaksimaalsetes, kui maksimaalsetes töövõime näitajates, samas kui hinnang koormuse raskusele aeroobsel ja anaeroobsel lävel ei muutu.

## KASUTATUD KIRJANDUS

1. Birnbaumer, P., Weiner, L., Handl, T., Tschakert, G., & Hofmann, P. (2022). Effects of Different Durations at Fixed Intensity Exercise on Internal Load and Recovery—A Feasibility Pilot Study on Duration as an Independent Variable for Exercise Prescription. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 7(3), 54. <https://doi.org/10.3390/jfmk7030054>
2. Borg, G. (1970). Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 2(2), 92–98. <https://doi.org/10.2340/1650197719702239298>
3. Burnet, K., Kelsch, E., Zieff, G., Moore, J. B., & Stoner, L. (2019). How fitting is FITT?: A perspective on a transition from the sole use of frequency, intensity, time, and type in exercise prescription. *Physiology & behavior*, 199, 33-34. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.11.007>
4. Coyle, E. F., & Gonzalez-Alonso, J. (2001). Cardiovascular drift during prolonged exercise: new perspectives. *Exercise and sport sciences reviews*, 29(2), 88-92.
5. Dantas, J. L., Doria, C., Rossi, H., Rosa, G., Pietrangelo, T., Fanò-Illic, G., & Nakamura, F. Y. (2015). Determination of blood lactate training zone boundaries with rating of perceived exertion in runners. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(2), 315-320. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000639>
6. Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., Doleshal, P., & Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(1), 109–115.
7. Fusco, A., Sustercich, W., Edgerton, K., Cortis, C., Jaime, S. J., Mikat, R. P., Porcari, J. P., & Foster, C. (2020). Effect of progressive fatigue on session RPE. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 5(1), 15. <https://doi.org/10.3390/jfmk5010015>
8. Gilman, M. B. (1996). The use of heart rate to monitor the intensity of endurance training. *Sports Medicine*, 21(2), 73–79. <https://doi.org/10.2165/00007256-199621020-00001>
9. Green, J. M., McLester, J. R., Crews, T. R., Wickwire, P. J., Pritchett, R. C., & Redden, A. (2005). RPE–lactate dissociation during extended cycling. *European Journal of Applied Physiology*, 94(1–2), 145–150. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1311-2>

10. Green, J. M., McLester, J. R., Crews, T. R., Wickwire, P. J., Pritchett, R. C., & Redden, A. (2005). RPE–lactate dissociation during extended cycling. *European Journal of Applied Physiology*, 94(1–2), 145–150. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1311-2>
11. Halson, S.L. Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports Med* 44(Suppl 2), 139–147 (2014). <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0253-z>
12. Hofmann, Peter, Tschakert, Gerhard, Special Needs to Prescribe Exercise Intensity for Scientific Studies, *Cardiology Research and Practice*, 2011, 209302, 10 pages, 2011. <https://doi.org/10.4061/2011/209302>
13. Hofmann P and Tschakert G (2017) Intensity- and Duration-Based Options to Regulate Endurance Training. *Front. Physiol.* 8:337. [doi: 10.3389/fphys.2017.00337](https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00337)
14. Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., & Coutts, A. J. (2019). Internal and external training load: 15 years on. *Int J Sports Physiol Perform*, 14(2), 270–273. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0935>
15. Impellizzeri, F. M., Menaspà, P., Coutts, A. J., Kalkhoven, J., & Menaspà, M. J. (2020). Training load and its role in injury prevention, part I: Back to the future. *Journal of Athletic Training*, 55(9), 885–892. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-500-19>
16. Impellizzeri, F. M., Shrier, I., McLaren, S. J., Coutts, A. J., McCall, A., Slattery, K., Jeffries, A. C., & Kalkhoven, J. T. (2023). Understanding training load as exposure and dose. *Sports Medicine*, 53(9), 1667–1679. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01833-0>
17. Jesus, R. S., Batista, R. É. S., Santos, V. M. E., Ohara, D., Alves, E. D. S., & Ribeiro, L. F. P. (2021). Exercise duration affects session ratings of perceived exertion as a function of exercise intensity. *Perceptual and Motor Skills*, 128(4), 1730–1746. <https://doi.org/10.1177/00315125211018445>
18. Maunder, E., Seiler, S., Mildenhall, M. J., Kilding, A. E., & Plews, D. J. (2021). The importance of “durability” in the physiological profiling of endurance athletes. *Sports Medicine*, 51(8), 1619–1628. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01459-0>
19. McLaughlin, J. E., Howley, E. T., Bassett, D. R., Jr, Thompson, D. L., & Fitzhugh, E. C. (2010). Test of the classic model for predicting endurance running performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 42(5), 991–997. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181c0669d>.

20. Meyer, T., Lucía, A., Earnest, C. P., & Kindermann, W. (2005). A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters—Theory and application. *International Journal of Sports Medicine*, 26(Suppl 1), S38–S48. <https://doi.org/10.1055/s-2004-830514>
21. Mezzani, A., Hamm, L. F., Jones, A. M., McBride, P. E., Moholdt, T., Stone, J. A., Urhausen, A., & Williams, M. A. (2010). Aerobic exercise intensity assessment and prescription in cardiac rehabilitation: A joint position statement. *European Journal of Preventive Cardiology*, 20(3), 442–467. <https://doi.org/10.1177/2047487312460484>
22. Micklewright, D., St Clair Gibson, A., Gladwell, V., & Al Salman, A. (2017). Development and Validity of the Rating-of-Fatigue Scale. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(11), 2375–2393. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0711-5>
23. Monteiro, W. D., Cunha, F. A., Brasil, I. A., Joi, S., & Farinatti, P. T. (2019). Ratings of perceived exertion obtained from cardiopulmonary exercise testing are not reproduced during prolonged aerobic bouts. *Journal of Exercise Physiology Online*, 22(2), 1–11.
24. Pallarés, J. G., Morán-Navarro, R., Ortega, J. F., Fernández-Elías, V. E., & Mora-Rodriguez, R. (2016). Validity and reliability of ventilatory and blood lactate thresholds in well-trained cyclists. *PLoS ONE*, 11(9), e0163389. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163389>
25. Pind, R. (2022). *Monitoring endurance runners training load and physiological profile throughout the season* (Doctoral dissertation, University of Tartu).
26. Pind, R., Hofmann, P., Mäestu, E., Vahtra, E., Purge, P., & Mäestu, J. (2021). Increases in RPE rating predict fatigue accumulation without changes in heart rate zone distribution after 4-week low-intensity high-volume training period in high-level rowers. *Frontiers in Physiology*, 12, 735565. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.735565>
27. Seiler, S., & Kjerland, G. Ø. (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: Is there evidence for an “optimal” distribution? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 16(1), 49–56. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2004.00418.x>
28. Seiler, S., & Tønnessen, E. (2009). Intervals, thresholds, and long slow distance: The role of intensity and duration in endurance training. *Sportscience*, 13, 32–53.

29. Tschakert, G., Handl, T., Weiner, L., & Hofmann, P. (2022). Exercise duration: Independent effects on acute physiologic responses and the need for an individualized prescription. *Physiological Reports*, *10*(3), e15168. <https://doi.org/10.14814/phy2.15168>
30. Valenzuela PL, Alejo LB, Ozcoidi LM, Lucia A, Santalla A, Barranco-Gil D. Durability in Professional Cyclists: A Field Study. *Int J Sports Physiol Perform*. 2022 Dec 15;18(1):99-103. doi: [10.1123/ijsp.2022-0202](https://doi.org/10.1123/ijsp.2022-0202)

## Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Viljar Vallimäe,

1. Annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose “Muutused funktsionaalsetes, subjektiivsetes ja gaasivahetuse parameetrites 45 minutilise tugeva pingutusega jooksu tagajärjel meesjooksjatel”, mille juhendaja on (Jarek Mäestu), reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Viljar Vallimäe  
Kuupäev: 18.05.2026