

TARTU ÜLIKOOL  
Spordibioloogia ja füsioteraapia instituut

**Daria Latina**

**Südame löögisageduse variaablus ja vastupidavuslik töövõime  
kõrge temperatuuriga keskkonnas**

**Heart rate variability and endurance performance in the heat**

**Magistritöö**

Füsioteraapia õppekava

Juhendajad:

prof, biol knd V. Ööpik

teadur MSc, S. Timpmann

Konsultant:

prof, dr. Hasan Birol Çotuk

Tartu 2015

# SISUKORD

KASUTATUD LÜHENDID .....	4
LÜHIÜLEVAADE .....	5
ABSTRACT .....	6
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	7
1.1. Kehatemperatuur ja töövõime kõrge temperatuuriga keskkonnas.....	7
1.2. Füsioloogiline soojusregulatsioon .....	8
1.2.1. Hüpotalamus.....	8
1.2.2. Autonoomne (vegetatiivne) närvisüsteem.....	8
1.3. Südame löögisageduse variaablus .....	9
1.3.1. HRV ajapõhised parameetrid.....	9
1.3.2. HRV sageduspõhised parameetrid .....	10
1.3.3. HRV ja ANS funktsiooni seosed.....	10
1.4. Südame löögisageduse variaablust mõjutavad tegurid: akuutne kehaline koormus, treenitus, kõrge temperatuuriga keskkond.....	10
1.4.1. Akuutse koormuse mõju HRV-le .....	10
1.4.2. Treenituse mõju HRV-le .....	11
1.4.3. Keskkonna kõrge temperatuuri mõju HRV-le.....	11
1.5. Südame löögisageduse variaablus ja kehaline töövõime kõrge temperatuuriga keskkonnas .....	12
2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED .....	13
3. METOODIKA .....	14
3.1. Vaatlusalused.....	14
3.2. Uuringu üldine korraldus .....	14
3.3. Maksimaalse hapnikutarbimise võime määramine.....	15
3.4. Südame löögisageduse registreerimine.....	17
3.5. Vastupidavusliku töövõime test.....	17
3.6. Kehatemperatuuri mõõtmine ja termofüsioloogiliste parameetrite arvutamine ....	17
3.7. Südame löögisageduse variaabluse analüüs .....	18
3.8. Andmete statistiline töötlus .....	18
4. TÖÖ TULEMUSED.....	19
4.1. HRV parameetrid selililamangus erinevates keskkonnatingimustes .....	19
4.2. HRV parameetrid erinevates kehaasendites kõrge temperatuuriga keskkonnas ....	19

4.3.1.	Keha süvatemperatuur .....	20
4.3.2.	Nahapinna kaalutud keskmine temperatuur .....	21
4.3.3.	Keha temperatuurigradient .....	21
4.3.4.	Südame löögisagedus .....	21
4.4.	HRV näitajate ning SLS-e, termofüsioloogiliste näitajate ja töövõime vahelised seosed .....	22
5.	ARUTELU .....	24
6.	JÄRELDUSED .....	28
	KASUTATUD KIRJANDUS .....	29
	LISA 1. ....	33
	AUTORI LIHTLITSENTS .....	34

## KASUTATUD LÜHENDID

ANS – autonoomne närvisüsteem

HF – kõrgsageduslik HRV võimsuskomponent (ingl. k. *high frequency*)

HFnu – kõrgsagedusliku HRV võimsuskomponendi normaliseeritud näitaja (ingl. k. *normalized units*)

HRV – südame löögisageduse variaablus (ingl. k. *heart rate variability*)

KNS – kesknärvisüsteem

LF – madalsageduslik HRV võimsuskomponent (ingl. k. *low frequency*)

LFnu – madalsagedusliku HRV võimsuskomponendi normaliseeritud näitaja (ingl. k. *normalized units*)

PNS – parasümpaatiline närvisüsteem

R-R intervall – järjestikuste vastakeste kokkutõmmete vaheline ajavahemik

SLS – südame löögisagedus

SNS – sümpaatiline närvisüsteem

Tc – süvatemperatuur (ingl. k. *core temperature*)

Tgr – keha temperatuurigradient

TP – totaalne võimsus (ingl. k. *total power*)

Tsk – nahapinna keskmine kaalutud temperatuur (ingl. k. *skin temperature*)

VLF – väga madala sagedusega HRV võimsuskomponent (ingl. k. *very low frequency*)

VO<sub>2</sub>max – maksimaalne hapnikutarbimise võime

## LÜHIÜLEVAADE

**Eesmärk:** välja selgitada võimalik seos puhkeseisundis registreeritud HRV parameetrite ja vastupidavusliku töövõime vahel kõrge temperatuuriga keskkonnas treenitud meestel.

**Metoodika:** uuringus osales 10 treenitud meest vanuses  $28,3 \pm 4,37$  aastat, kellel registreeriti südame löögisagedus selililamangus termoneutraalses keskkonnas ( $21-22^{\circ}\text{C}$ , õhu suhteline niiskus 50-55%), ja kõrge temperatuuriga keskkonnas ( $32^{\circ}\text{C}$ , õhu suhteline niiskus 46%) nii selililamangus kui ka seistes. Seejärel sooritasid vaatlusalused vastupidavusliku töövõime testi (40km „läbimine“ veloergomeetril lühima jõukohase ajaga) kõrge temperatuuriga keskkonnas. Südame löögisageduste salvestiste põhjal teostatud HRV analüüsil määrati aja- ja sageduspõhised parameetrid (SDNN, RMSSD, LF/HF, LF%, HF%, LFnu, HFnu).

**Tulemused:** puhkeseisundis registreeritud HRV parameetrite ja vastupidavusliku töövõime vahel kõrge temperatuuriga keskkonnas statistiliselt olulisi seoseid ei esinenud. Nii keskkonnatingimuste muutuse kui ka kõrge temperatuuriga keskkonnas kehaasendi muutuse mõjul ilmnesisid statistiliselt olulised nihked mitmes HRV aja- ja sageduspõhises parameetris.

**Kokkuvõte:** puhkeseisundis registreeritud HRV parameetrite ja vastupidavusliku töövõime vahel kõrge temperatuuriga keskkonnas puudub seos.

**Märksõnad:** HRV, vastupidavuslik töövõime, kõrge temperatuuriga keskkond, jalgratturid, triatleedid

## ABSTRACT

**Aim:** The aim of the present study was to identify possible correlation between registered at rest HRV parameters and endurance performance in high temperature environment in trained males.

**Methods:** 10 trained male athletes,  $28,3 \pm 4,37$  years, were recruited for the experiment. All participants underwent the procedure of heart rate registration supine in termoneutral condition (21-22°C, air relative humidity 50-55%) and in high temperature environment (32°C, air relative humidity 46%) both supine and standing. Then all athletes performed endurance time trial test (40km on the veloergometer) in the same heat stress conditions. HRV time and frequency domains (SDNN, RMSSD, LF/HF, LF%, HF%, LFnu, HFnu) were analyzed.

**Results:** there has not been found statistically significant relationship between recorded at rest HRV parameters and endurance performance in high temperature environment. The impact of changes in environmental conditions and body postures showed statistically significant differences in several HRV time and frequency domain parameters.

**Conclusions:** there is no correlation between recorded at rest HRV parameters and endurance performance in high temperature environment.

**Keywords:** HRV, endurance performance, high temperature environment, cyclists, triathletes

# 1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

## 1.1. Kehatemperatuur ja töövõime kõrge temperatuuriga keskkonnas

Inimene, sarnaselt teiste imetajate ja lindudega, on võimeline kehatemperatuuri säilitama suhteliselt konstantsena sõltumatult väliskeskkonna temperatuuri muutustest. Eristatakse keha süvatemperatuuri ( $T_c$ ) ning nahatemperatuuri ( $T_{sk}$ ) (Sircar, 2008). Suhteliselt stabiilne ja väliskeskkonna temperatuurist sõltumatu on  $T_c$ , mis siiski näiteks kehalisel tööl võib märgatavalt tõusta vastavalt töö intensiivsusele. Seevastu  $T_{sk}$  on keskkonna temperatuurist ja niiskusest palju enam mõjutatav ja muutub vastavalt keskkonnatingimustele märksa suuremates piirides (Sawka et al., 2012).

Skeletilihaste mõõdukalt kõrge temperatuur parandab sooritusvõimet ühekordsel pingutusel, kuid töövõime langeb märkimisväärselt kõrge temperatuuriga keskkonnas, mille puhul tekib kogu keha hüpertermia (Nybo, 2008). Kõrge temperatuuriga keskkonna negatiivne mõju töövõimele ilmneb ka treenitud sportlastel, kusjuures eriti selgesti tuleb see esile vastupidavustöö puhul (Ganio et al., 2011; Tucker et al., 2004; Tyler & Sunderland, 2008; Watson et al., 2005). Hüpertermiast tingitud väsimus on seotud mitmete füsioloogiliste mehhanismidega. Primaarset rolli võivad seejuures omada muutused kesknärvisüsteemi (KNS) talitluses, mis viivad nn tsentraalse väsimuseni ning kardiovaskulaarse süsteemi funktsiooni langus, mis põhjustab töötavates lihastes perifeerset väsimust (Cheuvront et al., 2010; Nybo, 2008; Sawka et al., 2012). Nybo (2008) seisukoht on, et tsentraalne väsimus omab peamist tähtsust väga pikaajalisel tööl, mille ajal  $T_c$  (sealhulgas ka aju temperatuur) võib tõusta tasemele üle 40 °C, kuid kõrge intensiivsusega tööl võivad peamiseks sooritusvõimet limiteerivaks faktoriks kujuneda ainevahetuslikud muutused lihastes seoses nende ebaadekvaatse hapnikuvarustusega.

Varem domineeris pikka aega seisukoht, et kõrge  $T_c$ , mis mõjutab KNS-i ja põhjustab skeletilihaste tsentraalse stimulatsiooni languse, on tähtsaimaks töövõimet limiteerivaks faktoriks pikaajalisel submaksimaalsel aeroobsel tööl kuumas keskkonnas (González-Alonso et al., 1999; Nielsen et al., 1990). Viimase aja uuringud on aga näidanud, et aeroobset töövõimet kahjustab kas üksnes kõrge  $T_{sk}$  (>35 °C) (Sawka et al., 2012) või kõrge  $T_{sk}$  kombineeritult kõrge  $T_c$ -ga (Cheuvront et al., 2010). Ainuüksi kõrge  $T_c$  (ca 40 °C) ei pärsi aeroobset töövõimet (Ely et al., 2009; Lee et al., 2010). Samuti ilmneb, et hüpoheüdratsioon (>2% kehamassist), millega kaasneb tsentraalse veremahu vähenemine, mõjutab aeroobset töövõimet negatiivselt, isegi kui  $T_{sk}$  on vaid ligikaudu 27 °C, ning kõrgem  $T_{sk}$  süvendab hüpoheüdratsiooni negatiivset mõju veelgi (Sawka et al., 2012).

## **1.2. Füsioloogiline soojusregulatsioon**

Kehalisel tööl organismis vabanev soojus ning sellega kaasnev Tc tõus kutsuvad esile akuutseid kohanemisreaktsioone, mis on suunatud liigsest soojusest vabanemisele (Wendt et al., 2007).

### **1.2.1. Hüpotalamus**

Kehatemperatuuri kontrollib hüpotalamus, mis toimib termostaadi põhimõttel. Hüpotalamusse suunatakse informatsioon, mis lähtub tsentraalsetelt ja perifeersetelt termoretseptoritelt. Hüpotalamus kui "termostaat" on normaalselt "seadistatud" säilitama keha süvatemperatuuri tasemel 37 °C. Olukorras, kus termoretseptoritelt saabuval signaalid viitavad võimalusele, et keha süvatemperatuur võib tõusta või langeda, algatab hüpotalamus kohanemisreaktsioone, mis on suunatud kehatemperatuuri stabiilsuse säilitamisele (Sircar, 2008; Wendt et al., 2007). Üldistatult võib need kohanemisreaktsioonid jagada kolme kategooriasse: sümpaatilise närvisüsteemi (SNS) vahendusel toimivad mehhanismid (vasokonstriksioon ja -dilatatsioon, higieritus, keemiline termogenees), somaatilise närvisüsteemi poolt reguleeritavad mehhanismid (külmavärinad) ning käitumuslikud mehhanismid (hüperaktiivsus või letargia, hüperfaagia või hüpofaagia) (Sircar, 2008).

### **1.2.2. Autonoomne (vegetatiivne) närvisüsteem**

Autonoomne närvisüsteem (ANS) kontrollib (aktiveerib või inhibeerib) südame ja silelihaste talitlust, aga ka sekretoorseid ning metaboolseid protsesse (Sircar, 2008). ANS kontrollib kehalisel tööl vasomotoorseid reflekse, mis tagavad verevoolu ümberjaotamise inaktiivsetest kudedest suurenenud metaboolsete vajadustega töötavatesse skeletilihastesse (Wendt et al., 2007). Kehalisel tööl suureneb soojusteke ja vajadus liigsest soojusest vabaneda. Mida kõrgem on õhutemperatuur, seda vähemal määral toimub soojuskadu soojuskiirguse ja konvektsiooni teel ning seda tähtsamat rolli omab higi aurustumine nahalt (Wendt et al., 2007). Soojusest vabanemiseks peab selle esmalt transportima keha süvapiirkonnast nahapinnale, kust see juhitakse väliskeskkonda (Wendt et al., 2007). Vasodilatatsioon nahas stimuleerib soojuse juhtimist kehapiinnale, higinäärmete talitluse intensiivistamine aga selle hajutamist väliskeskkonda. Nii vasodilatatsiooni nahas kui ka higinäärmete talitlust kontrollib ANS (Sircar, 2008; Sawka et al., 2012; Wendt et al., 2007). Seega tekib kehalisel tööl, eriti kui see toimub kõrge temperatuuriga keskkonnas, organismis vajadus üheaegselt ja oluliselt suurendada nii töötavate lihaste kui ka naha verevarustust. Kui

Tc saavutab taseme 38 °C, siis naha verevarustuse kasv pidurdub ning veri suunatakse eelistatult lihastesse ning tõenäoliselt aju (Cheuvront et al., 2010; Wendt et al., 2007).

### **1.3. Südame löögisageduse variaablus**

Terve inimese südame löögisagedusele (SLS) on omane muutlikkus. Seevastu haigel inimesel on SLS palju stabiilsem (Lin & Hughson, 2002). Seda intrigeerivat inimese füsioloogia fenomeni kirjeldab südame löögisageduse variaablus (ingl. k. *heart rate variability*, HRV), mis seisneb järjestikuste vatsakeste kokkutõmmete vaheliste ajavahemike (elektrokardiogrammil tuvastatavate R-R intervallide) varieeruvuses (Camm et al., 1996; Lin & Hughson, 2002). HRV-d iseloomustab SNS-i ja parasümpaatilise närvisüsteemi (PNS) kompleksse dünaamika interaktsioon sinuatriaalsõlmega (Lin & Hughson, 2002). HRV-d peetakse paljulubavaks kvantitatiivseks mitteinvasiivseks instrumendiks ANS tasakaalu (SNS ja PNS aktiivsuse vahekorra) hindamisel (Camm et al., 1996; Chen et al., 2011).

#### **1.3.1. HRV ajapõhised parameetrid**

HRV-d võib analüüsida mitme meetodiga. Neist kõige lihtsamaks peetakse ajapõhistel parameetritel põhinevat analüüsi, mis hindab järjestikuste R-R intervallide vaheliste erinevuste variaablust statistiliste meetoditega väljatöötatud indeksite alusel (Camm et al., 1996; Chen et al., 2011). Kuna palju ajapõhiseid parameetreid on üksteisega tihedas korelatsioonis, soovitatakse kirjanduses kasutada HRV analüüsiks peamiselt järgmist nelja parameetrit: (1) SDNN (ms) – järjestikuste R-R intervallide standarthälve; hindab üldist variaablust; (2) HRV *triangular index* – hindab üldist HRV-d üle 24-tunnisel salvestisel; (3) SDANN (ms) – keskmiste järjestikuste R-R intervallide standarthälve; hindab HRV võimsuskomponente pikaajalisel salvestisel; (4) RMSSD – järjestikuste R-R intervallide standardhälbe ruut-keskmine; hindab HRV võimsuskomponente lühiajalisel salvestisel (Camm et al., 1996). Praktikas ei ole kohane võrrelda omavahel erineva pikkusega salvestistest saadud SDNN näitajaid (Camm et al., 1996). Nii SDNN näitaja puhul kui ka teiste HRV parameetrite analüüsimisel on õigem kasutada standartpikkusega salvestisi. Lühiajalise salvestise analüüsiks on aktsepteeritav viieminutiline ning pikaajalise puhul 24-tunnine SLS registreerimine. Eelistatavalt tuleb kasutada salvestisi, mis ei sisalda eektoopilisi lööke, arütmia nähtusi, müra tõttu tekkitavaid reaktsioone ega registreerimisel tekkinud lünkasid andmetes (Camm et al., 1996).

### **1.3.2. HRV sageduspõhised parameetrid**

Sageduspõhiste parameetrite analüüs hindab sageduse võimsust läbi spektraalse analüüsi (Chen et al., 2011), kus üldine variaablus lahutatakse sageduselementideks ning erinevust intervallide vahel vaadeldakse esinemissageduse spektrina (Aubert et al., 2003; Camm et al., 1996). HRV võimsuse spektris eristatakse 3 põhilist sageduspõhist parameetrit: (1) kõrgsageduslik ala vahemikus 0.15–0.40 Hz (ingl. k. *high-frequency* – HF); (2) madalsageduslik ala vahemikus 0.04–0.15 Hz (ingl. k. *low-frequency* – LF); (3) väga madala sageduse ala vahemikus 0.03–0.04 Hz (ingl. k. *very low-frequency* – VLF) (Liu et al., 2008).

### **1.3.3. HRV ja ANS funktsiooni seosed**

Statsionaarsete lühiajaliste SLS salvestiste analüüs võimaldab suurema kindlusega tõlgendada sageduspõhiste parameetrite põhjal saadud informatsiooni füsioloogilisse konteksti võrreldes ajapõhiste näitajatega. Seevastu üle 24-tunniste salvestiste puhul on palju sagedus- ja ajapõhiseid näitajaid üksteisega tugevas seoses (Camm et al., 1996).

PNS-i aktiivsust seostatakse HF võimsuskomponendi esinemisega (Camm et al., 1996; Chen et al., 2011; Liu et al., 2008). PNS-i toime HRV-le ilmneb palju kiiremini (<1 sek), kui SNS-i mõju (>5 sek) (Bigger et al., 1989; Kleiger et al., 2005). Seetõttu võib iga löögi puhuselt tekkivaid muutusi R-R intervallide pikkuses (RMSSD) pidada vägaalse regulatsiooni indikaatoriks (Bigger et al., 1989; Kleiger et al., 2005). Vastuoluliselt aga tõlgendatakse LF komponendi esinemist, mis on mõnede autorite järgi tingitud üksnes SNS-i modulatsiooni toimest (Kamath & Fallen, 1993; Malliani et al., 1991; Montano et al., 1994), kuid teiste järgi peegeldab mõlema, nii SNS-i kui ka PNS-i mõju (Akselrod et al., 1981; Appel et al., 1989). Eelnevast tulenevalt esineb ka LF/HF parameetri suhtes kaks seisukohta, millest ühe kohaselt see väljendab tasakaalu SNS ja PNS vahel (Malliani et al., 1991; Montano et al., 1994), kuid vastavalt teisele on tegemist peamiselt SNS-i aktiivsuse peegeldusega (Akselrod et al., 1981; Appel et al., 1989). LF/HF muutus võib väljendada soojusregulatsiooni protsesse, kuna nii vasomotoorne reaktsioon kui ka higinäärmete funktsioon on SNS-i kontrolli all (Liu et al., 2008).

## **1.4. Südame löögisageduse variaablust mõjutavad tegurid: akuutne kehaline koormus, treenitus, kõrge temperatuuriga keskkond**

### **1.4.1. Akuutse koormuse mõju HRV-le**

Aubert et al. (2003) ülevaadeartikkel analüüsib vastuolulisi andmeid HRV võimsuse komponentide muutuste kohta kehalise koormuse ajal, mis on saadud erinevaid meetodikaid



al., 2008). Muutused LF/HF suhtes peegeldavad inimese soojusregulatsiooni süsteemi reaktsiooni muutustele keskkonna temperatuuris. Kõrge temperatuuriga keskkonnas aktiveeritud SNS tagab nii naha verevarustuse kui ka higinäärmete talitluse intensiivsuse suurenemise, mis kokkuvõttes suurendab soojuskadu higi aurustumise teel nahalt. Seega LF/HF suhet võib kasutada inimese temperatuurikomfordi indikaatorina (Liu et al., 2008). Bruce-Low et al. (2006) uurisid kümmet tervet meest, kes viibisid 15 minutit keskkonnas õhutemperatuuriga 74 °C. PNS aktiivsuse märkimisväärne langus väljendus ajapõhiste parameetrite (pNN50 ja RMSSD) ning HF võimsuskomponendi languses, seevastu suurenenud LF ja LF/HF parameetrite väärtused viitasid SNS aktiivsuse tõusule. Sama seaduspärasus leidis kinnitust ka Yamamoto et al. (2007) poolt, kes demonstreerisid olulist langust HF võimsuskomponendis ning tõusu LF/HF suhte väärtuses kuuel meessoost üliõpilasel, kes istusid 30 min ruumis temperatuuriga 35 °C.

### **1.5. Südame löögisageduse variaablus ja kehaline töövõime kõrge temperatuuriga keskkonnas**

ANS, mõjutades silelihaste toonust veresoonte seintes, omab olulist funktsiooni erinevate kudede ja elundite verevarustuse regulatsioonis (Sircar, 2008). Kehalisel tööl võrreldes puhkeseisundiga südame minutimaht mitte üksnes et suureneb, vaid muutub ka selle jaotus erinevate elundite vahel, mis väljendub kõige selgemini töötavate lihaste osakaalu suurenemises ning maksa, neerude ja seedetrakti osakaalu vähenemises (Powers & Howley, 2007). Kehalisel tööl kõrge temperatuuriga keskkonnas ilmneb aga vajadus üheaegselt suurendada nii töötavate lihaste kui ka naha verevarustust, mis osutub problemaatiliseks, kuna võimalused nii südame minutimahu suurendamiseks kui ka selle ümberjaotamiseks elundite vahel on siiski piiratud (Powers & Howley, 2007). Seega võib eeldada, et indiviidi koormustaluvus ja töövõime kõrge temperatuuriga keskkonnas sõltub muude tegurite kõrval ka sellest, kuidas ANS suudab optimeerida skeletilihaste ja naha verevarustust. Kuna ANS talitus peegeldub HRV parameetrites, siis võib samuti eeldada, et HRV analüüs aitab prognoosida indiviidi koormustaluvust ja töövõimet kõrge temperatuuri mõjuväljas. Rumvolti (2013) andmed näitavad, et koormustaluvuse osas võib see eeldus paika pidada. Ta tuvastas, et noortel meestel seondub suhteliselt ulatuslikum LF/HF näitaja tõus siirdumisel termoneutraalsest keskkonnast kõrge temperatuuriga keskkonda võimega säilitada suhteliselt madalamat nahapinna temperatuuri mõõduka intensiivsusega 1-tunnisel tööl kõrge temperatuuri mõjuväljas (Rumvolt, 2013). Küsimust, kas teatud HRV parameetrid võimaldavad prognoosida vastupidavuslikku töövõimet kuumas keskkonnas, ei ole meile teadaolevalt seni uuritud.

## 2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED

Käesoleva töö eesmärgiks oli välja selgitada võimalik seos puhkeseisundis registreerivate HRV parameetrite ja vastupidavusliku töövõime vahel kõrge temperatuuriga keskkonnas treenitud meestel.

Eesmärgi saavutamiseks seati uurimistööle järgmised ülesanded:

1. Hinnata keskkonnatingimuste ja kehaasendi muutuse mõju erinevat liiki HRV parameetritele puhkeseisundis.
2. Hinnata vastupidavuslikku töövõimet kõrge temperatuuriga keskkonnas veloergomeetril 40 km „läbimise“ aja alusel.
3. Registreerida nahapinna ja keha süvatemperatuuri muutused ning südame löögisagedus töövõime testi ajal.
4. Analüüsida võimalikke seoseid puhkeolekus registreeritud HRV parameetrite ja termofüsioloogiliste näitajate vahel.

### 3. METOODIKA

#### 3.1. Vaatlusalused

Uurimistöösse kaasati vabatahtlikkuse alusel 10 meessoost treenitud jalgratturit ja triatleeti. Sissearvamise kriteeriumiteks olid vanus 18-40 aastat, meessugu, sportlaste soov ja võimalus uuringus osaleda, akuutsete ja krooniliste terviseprobleemide puudumine ning maksimaalne hapnikutarbimise võime ( $VO_2\max$ )  $>45\text{ml/kg/min}$ . Ükski uuritav ei olnud viibinud vähemalt viimase kahe kuu jooksul enne uuringus osalemist sooja kliimaga riikides. Vaatlusaluseid iseloomustavad andmed on toodud **tabelis 1**.

**Tabel 1.** Vaatlusaluseid (n=10) iseloomustavad andmed uuringu toimumise ajal

Tunnus	Keskmine $\pm$ SD	Vahemik
Vanus (a)	28,3 $\pm$ 4,37	24-37
Kehamass (kg)	77,58 $\pm$ 9,01	68,3-93
Pikkus (cm)	181,45 $\pm$ 3,83	176-187
Kehamassi indeks	23,54 $\pm$ 2,30	20,7-26,6
$VO_2\max$ (ml/kg/min)	57,17 $\pm$ 5,60	49,2-67,5
Treeningukoormus nädalas (h)	9,8 $\pm$ 6,26	0-28
Treeningustaaž (a)	11,1 $\pm$ 8,40	2,5-25

Vaatlusalustele selgitati uuringu eesmärki, selle teostamiseks kasutatavaid meetodeid, eeldatavate tulemuste tähtsust ja muid olulisi uuringusse puutuvaid asjaolusid, mille järel nad allkirjastasid nõusolekuvormi. Käesolev uurimistöö viidi läbi suurema projekti raames, milleks on olemas Tartu Ülikooli inimuuringute eetika komitee luba (244/T-16, väljastatud 19.01. 2015).

#### 3.2. Uuringu üldine korraldus

Uurimistööga seonduvad protseduurid viidi läbi Tartu Ülikooli spordibioloogia ja füsioteraapia instituudi spordifüsioloogia laboratooriumis ning Tartu Ülikooli spordihoones asuvas Tartu Ülikooli kliinikumi spordiarsti kabinetis.

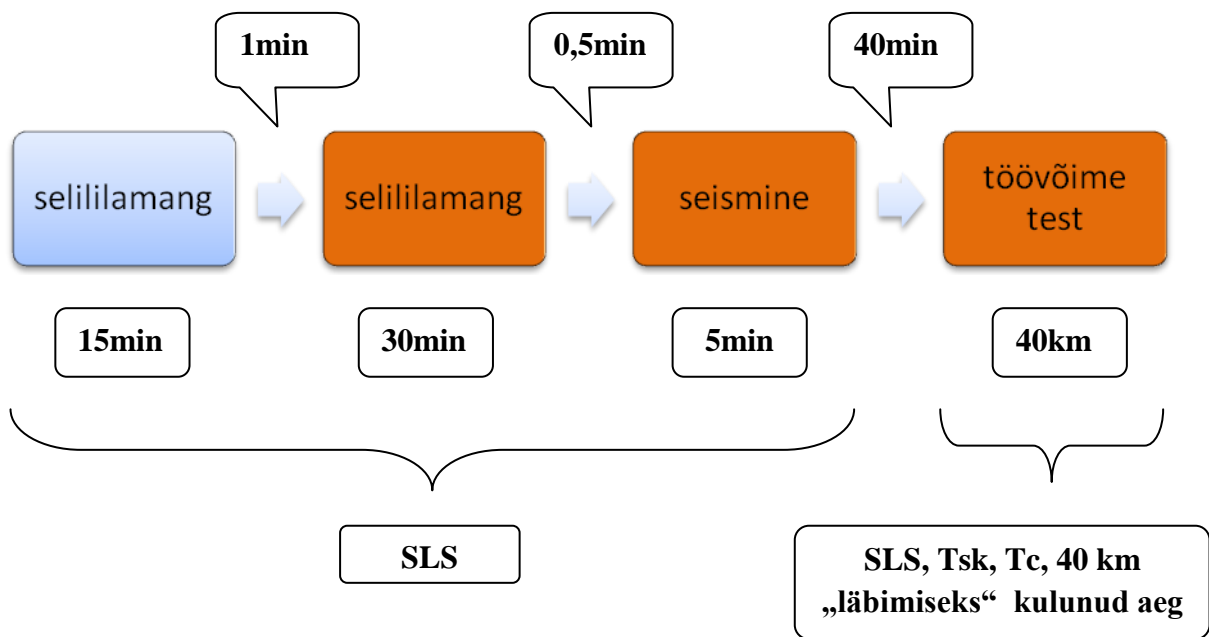
**Uuringu ettevalmistavas faasis**, esimesel kohtumisel uuringus osalemiseks soovi avaldanud potentsiaalsetel vaatlusalustel paluti täita ankeet (**lisa 1**), millega koguti uuringu seisukohast olulisi taustaandmeid. Ühtlasi nad kaaluti elektroonilise kaaluga (*CH3G- 150I Combics, Sartorius AG*, Saksamaa) ja mõõdeti nende pikkus statsionaarse mõõdulindiga


täpsusega 0,1cm. Seejärel külastasid potentsiaalsed vaatluselused spordiarsti, kes kontrollis nende üldist tervislikku seisundit ja südame funktsiooni elektrokardiograafilises uuringus nii puhkeolekus kui ka kehalisel tööl veloergomeetril. Seejärel määrati tervisekontrolli edukalt läbinud ja uuringusse kaasatud vaatluseluste  $VO_2max$ . Lõpuks sooritasid vaatluselused uuringuprotseduuridega tutvumise eesmärgil kaks vastupidavusliku töövõime testi kõrge temperatuuriga keskkonnas (temperatuur 32 °C, õhu suhteline niiskus 46%). Kahe töövõime testi vahel oli üks puhkepäev. Test seisnes 40 km „läbimises“ veloergomeetril lühima jõukohase ajaga. Seega külastasid kõik vaatluselused uuringu ettevalmistavas faasis ühe korra spordiarsti kabinetti ja neli korda spordifüsioloogia laboratooriumi.

**Uuringu põhifaasis (joonis 1)** registreeriti uuritavate SLS neljas erinevas olukorras ja teostati HRV analüüs puhkeseisundis enne töövõime testi salvestatud SLS-e andmete põhjal. Uuritavad sooritasid samasuguse töövõime testi samasugustes keskkonnatingimustes, milleks neid oli ette valmistatud uuringu ettevalmistavas faasis. Töövõime testi ajal registreeriti lisaks SLS-le ka uuritavate Tsk ja Tc.

### **3.3. Maksimaalse hapnikutarbimise võime määramine**

Uuritavate  $VO_2max$  määrati normaalses keskkonnatingimustes (21-22 °C, õhu suhteline niiskus 50-55%) veloergomeetril *Cyclus 2 (RBM Elektronik-automation GmbH, Saksamaa)* (joonis 2) astmeliselt tõusvate koormustega sooritataval testil (Desbrow et al., 2009). Hingamisgaaside koostise analüüsimiseks kasutati analüsaatorite süsteemi *MasterScreen CPX (Viasys Healthcare GmbH, Saksamaa)*. Veloergomeeter *Cyclus 2* võimaldab iga sportlast testida tema isiklikul jalgrattal. Testimiseks valmistudes tegid uuritavad kerge 5-minutilise soojenduse koormusel 75 W. Testi põhiosa algas 2,5-minutilise tööga koormusel 100 W. Seejärel tõsteti koormus iga 2,5 minuti järel 50 W võrra seni, kuni uuritav suutis tööd jätkata.



 termoneutraalne keskkond (temperatuur 21-22°C, õhu suhteline niiskus 50-55%)

 kõrge temperatuuriga keskkond (temperatuur 32°C, õhu suhteline niiskus 46%)

**Joonis 1.** Uuringu põhifaas.



**Joonis 2.** VO<sub>2</sub>max-i määramine veloergomeetril *Cyclus 2*. Foto on avaldatud sellel kujutatud vaatlusaluse nõusolekul.

### 3.4. Südame löögisageduse registreerimine

Uuritavate SLS registreeriti seadme *Polar®RS800CX* (*Polar Electro Oy*, Soome) abil, kasutades *Polar ProTrainer 5* (*Polar Electro Oy*, Soome) tarkvara.

SLS-e registreerimisel puhkeseisundis hingasid kõik vaatlusalused metronoomi taktis 24 lööki/min, olles seda eelnevalt harjutanud. Kontrollitud hingamise rütm on oluline säilitamiseks ANS stabiilset talitlust SLS registreerimise ajal HRV analüüsimiseks (Aubert et al., 2003).

### 3.5. Vastupidavusliku töövõime test

Töövõime testid viidi läbi kliimalaboratooriumis (*Design Environmental Ltd.*, Suurbritannia), kus õhutemperatuur ja suhteline niiskus olid reguleeritud tasemele vastavalt 32°C ja 46%. Testi ajal oli uuritavatel joogivee tarbimine lubatud *ad libitum*. Uuritavate vastupidavuslikku töövõimet testiti samal veloergomeetril ja samal jalgrattal, mida kasutati nende VO<sub>2</sub>max määramiseks. Töövõime test seisnes 40 km „läbimises“ võimalikult lühikese ajaga. Testi ajal olid uuritavad jooksvalt informeeritud „läbitud vahemaast“, kuid mitte kulunud ajast ning nad muutsid töö intensiivsust vastavalt oma jõuvarude tunnetamisele. Töövõime peamiseks indikaatoriks oli aeg, mis kulus distantisi „läbimiseks“. Samasugust testi on varem kasutatud treenitud jalgratturite töövõime hindamiseks normaalsete keskkonnatingimustes (temperatuur 20°C, õhu suhteline niiskus 55%) (Schabort et al., 2000).

Testi ajal jälgiti uuritavate SLS-e ja T<sub>c</sub> muutusi reaajas. Testimisprotseduuri läbi viinud uurija oli kohustatud testi enneaegselt katkestama juhul, kui esines vähemalt üks järgmistest asjaoludest: 1) T<sub>c</sub> tõus vähemalt 5 minutiks tasemele 40°C; 2) SLS-e tõus vähemalt 5 minutiks tasemele 95% eakohasest maksimumist 3) kuumatalumatuse sümptomite (peapööritus, iiveldus, peavalu) ilmumine; 4) uuritava palve töö katkestada.

### 3.6. Kehatemperatuuri mõõtmine ja termofüsioloogiliste parameetrite arvutamine

T<sub>c</sub> mõõtmiseks kasutati rektaaltemperatuuri andurit (*REC-UU-VL5-0*, *Grant Instruments Ltd*, Ühendkuningriik), mille vaatlusalune paigas 10 cm sügavusele pärasoole sulgurlihase taha. Andur oli kaabliga ühendatud andmeid salvestava aparatuuriga (*SQ2020-1F8*, *Grant Instruments Ltd*, Ühendkuningriik), mis fikseeris temperatuuri iga minuti tagant.

Nahatemperatuuri registreerimiseks paigaldati uuritavale 4 kaablita nahatemperatuuri andurit (*DS1922L*, *Maxim Integrated Products, Inc*, USA). Kõik andurid kinnitati kinesioteibiga paremale kehapoollele (rinnale, õlavarrele, reiele ja säärele). Temperatuur registreeriti 1-minutilise intervalliga ja salvestatud andmed kanti pärast andurite kehalt

eemaldamist vastava seadme (*DS1401-4+*, *Maxim Integrated Products, Inc*, USA) abil üle arvutisse. Neljas erinevas punktis mõõdetud nahatemperatuuri alusel kalkuleeriti Tsk (Ramanathan 1964):  $T_{sk} = 0,3(T_{rind} + T_{\text{õlavars}}) + 0,2(T_{reis} + T_{säär})$ . Keha süvapiirkonna ja naha vaheline temperatuurigradient arvutati valemiga:  $T_{gr} = T_c - T_{sk}$ .

### 3.7. Südame löögisageduse variaabluse analüüs

Puhkeseisundis registreeritud SLS-e signaalid võeti välja *Polar ProTrainer 5* tarkvarast ning laaditi *Procalysis®* (*Simplana GmbH*, Saksamaa) tarkvarasse HRV analüüsimiseks. SLS-e salvestistest eemaldati olemasolevad artefaktid manuaalselt, nagu on soovitanud Camm et al. (1996). Analüüsitud salvestised olid standartpikkusega 5 minutit. Termoneutraalses keskkonnas tehtud salvestisest analüüsiti ajavahemikku 10-15min, kõrge temperatuuriga keskkonnas seliliasendis tehtud salvestisest ajavahemikku 25-30min ning püstiasendis tehtud salvestisest löiku 0-5 min. Signaalide analüüsimise tulemusel saadud parameetritest kasutati järgmised näitajad:

- 1) ajapõhised SDNN(sek), RMSSD(sek);
- 2) sageduspõhised LF/HF, LF(%), HF(%).

Sageduspõhiste parameetrite LF ja HF puhul arvutati ka normaliseeritud näitajad vastavalt valemitele  $LF_{nu} = LF / (LF + HF)$  ja  $HF_{nu} = HF / (LF + HF)$  (Burr, 2007).

### 3.8. Andmete statistiline töötlus

Andmete statistiline analüüs teostati Microsoft Excel 2010 ja Statistica 12 tarkvarapakettide baasil. Arvutati erinevat liiki HRV parameetrite keskmised väärtused ja standardhälbed ning võrreldi neid omavahel erinevates keskkonnatingimustes ja kõrge temperatuuriga keskkonnas erinevate kehaasendite vahel Student'i paaride t-testiga, mille puhul statistiliselt oluliseks peeti  $p < 0,05$ .  $T_c$ ,  $T_{sk}$ ,  $T_{gr}$  ja SLS-e puhul hinnati aja peamõju ühefaktorilise kordumõõtmistega dispersioonanalüüsi (ANOVA) meetodil. Tukey post-hoc analüüs võimaldas tuvastada aja mõju. Pearsoni korrelatsioonanalüüsiga tuvastati seosed HRV sagedusparameetrite ning  $T_c$ ,  $T_{sk}$ , töövõime ja SLS-e vahel. Statistilise olulisuse nivooks seati  $p < 0,05$ .

## 4. TÖÖ TULEMUSED

### 4.1. HRV parameetrid selililamangus erinevates keskkonnatingimustes

Student'i paaride t-test näitas, et SDNN, LF/HF ja LFnu väärtused suurenesid oluliselt siirdumisel termoneutraalsest kõrge temperatuuriga keskkonda (**tabel 2**). Seevastu HF(%) ja HFnu väärtuste osas ilmnes oluline langus.

**Tabel 2.** HRV aja- ja sageduspõhised näitajad selililamangus erinevates keskkonna tingimustes (keskmine  $\pm$  SD)

Näitaja	TNK	KTK	↓↑	p
<b>SDNN (ms)</b>	45,61 $\pm$ 15,78	58,85 $\pm$ 24,65*	↑	0,049
<b>RMSSD (ms)</b>	31,18 $\pm$ 11,99	36,06 $\pm$ 19,68	↑	0,201
<b>LF/HF</b>	0,89 $\pm$ 0,44	3,86 $\pm$ 3,92*	↑	0,035
<b>LF (%)</b>	21,95 $\pm$ 13,38	35,66 $\pm$ 22,72	↑	0,195
<b>HF (%)</b>	27,59 $\pm$ 11,52	16,68 $\pm$ 14,54*	↓	0,031
<b>LFnu</b>	44,30 $\pm$ 13,54	64,79 $\pm$ 23,53*	↑	0,006
<b>HFnu</b>	55,70 $\pm$ 13,54	35,21 $\pm$ 23,53*	↓	0,006

TNK – termoneutraalne keskkond (temperatuur 21-22 °C, õhu suhteline niiskus 50-55%);

KTK – kõrge temperatuuriga keskkond (temperatuur 32 °C; õhu suhteline niiskus 46%).

\*Statistiliselt oluline erinevus võrreldes TNK-ga; ↓↑ vastava näitaja suurenemine või vähenemine TNK → KTK siirdumisel.

### 4.2. HRV parameetrid erinevates kehaasendites kõrge temperatuuriga keskkonnas

Student'i paaride t-test näitas statistiliselt olulisi erinevusi mitme registreeritud parameetri osas selililamangus võrreldes seismisega (**tabel 3**). Nende parameetrite hulgas oli nii ajapõhiseid (SDNN, RMSSD) kui ka sageduspõhiseid näitajaid (HF(%), LFnu, HFnu). Kõigi kõnealuste näitajate väärtused peale LFnu osutusid seistes võrreldes selililamanguga väiksemaks.

**Tabel 3.** HRV aja- ja sageduspõhised näitajad seistes ja selililamangus kõrge temperatuuriga keskkonnas (keskmine  $\pm$  SD)

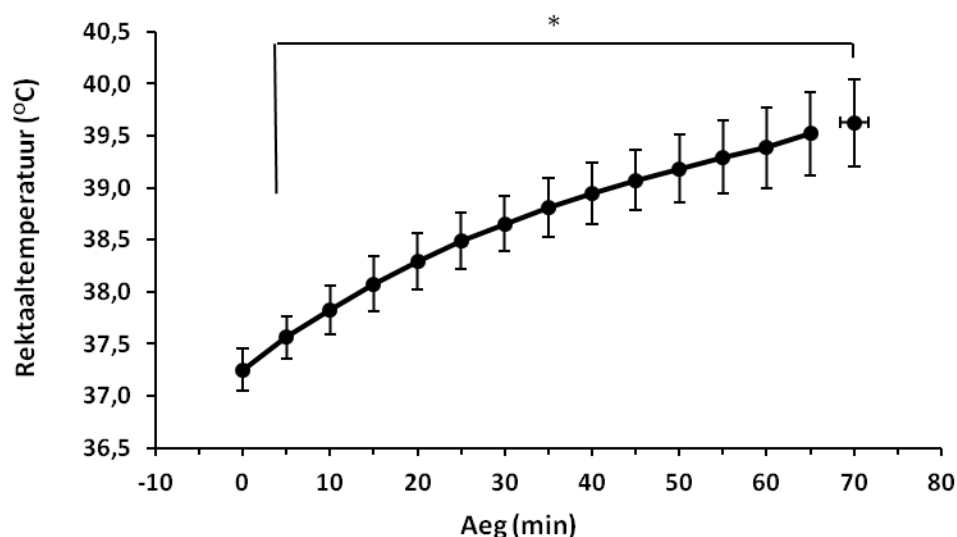
Näitaja	Seistes	Lamades	↓↑	p
SDNN (ms)	40,59 $\pm$ 17,12	58,85 $\pm$ 24,65*	↓	0,026
RMSSD (ms)	10,94 $\pm$ 4,69	36,06 $\pm$ 19,68*	↓	0,002
LF/HF	17,18 $\pm$ 18,31	3,86 $\pm$ 3,92	↑	0,057
LF (%)	33,93 $\pm$ 23,80	35,66 $\pm$ 22,72	↓	0,885
HF (%)	2,85 $\pm$ 2,29	16,68 $\pm$ 14,54*	↓	0,01
LFnu	90,88 $\pm$ 5,60	64,79 $\pm$ 23,53*	↑	0,005
HFnu	9,12 $\pm$ 5,60	35,21 $\pm$ 23,53*	↓	0,005

\*Statistiliselt oluline erinevus võrreldes seismisega; ↓↑ vastava näitaja suurenemine või vähenemine selililamangust püstitõusmisel.

### 4.3. Termofüsioloogilised näitajad ja SLS töövõime testil kõrge temperatuuriga keskkonnas

#### 4.3.1. Keha süvatemperatuur

Ühefaktoriline korduvmõõtmistega dispersioonanalüüs ANOVA näitas aja peamõju ( $F=179,63$ ;  $p<0,0001$ )  $T_c$  suhtes.  $T_c$  ületas lähtetaseme ( $37,3 \pm 0,2^\circ\text{C}$ ) alates töövõime testi 5. minutist kuni selle lõpuni (**joonis 3**). Testi lõpetamisel oli  $T_c$  tõusnud tasemele  $39,7 \pm 0,4^\circ\text{C}$ .

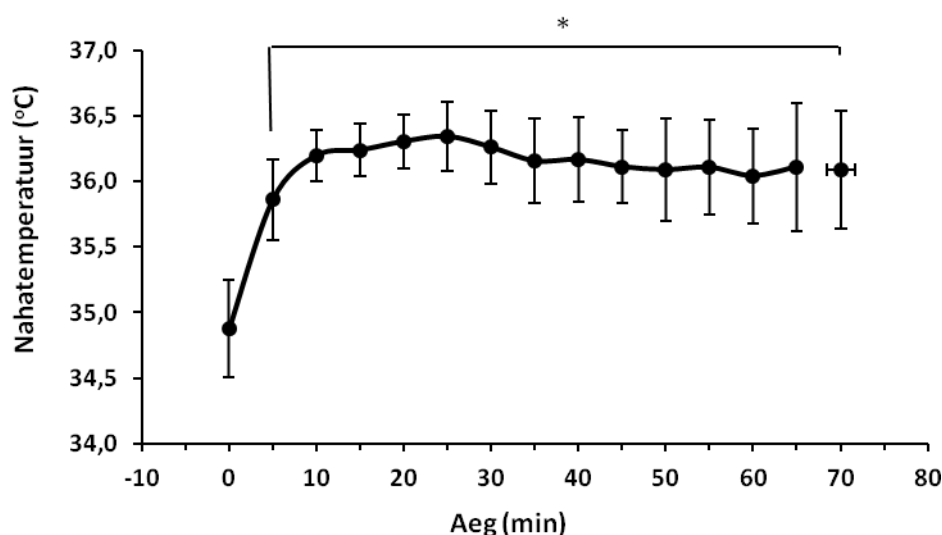


**Joonis 3.** Keha süvatemperatuur töövõime testil kõrge temperatuuriga keskkonnas.

\*Statistiliselt oluline erinevus võrreldes lähtetasemega ( $p<0,05$ ).

### 4.3.2. Nahapinna kaalutud keskmine temperatuur

Ühefaktoriline korduvmõõtmistega dispersioonanalüüs näitas aja peamõju ( $F=37,56$ ;  $p<0,0001$ ) Tsk suhtes. Lähtetasemest ( $34,9\pm 0,4^{\circ}\text{C}$ ) erineb Tsk kõigis ajapunktides alates 5. minutist (**joonis 4**). Testi lõpetamisel oli Tsk tõusnud tasemele  $36,01 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$ .



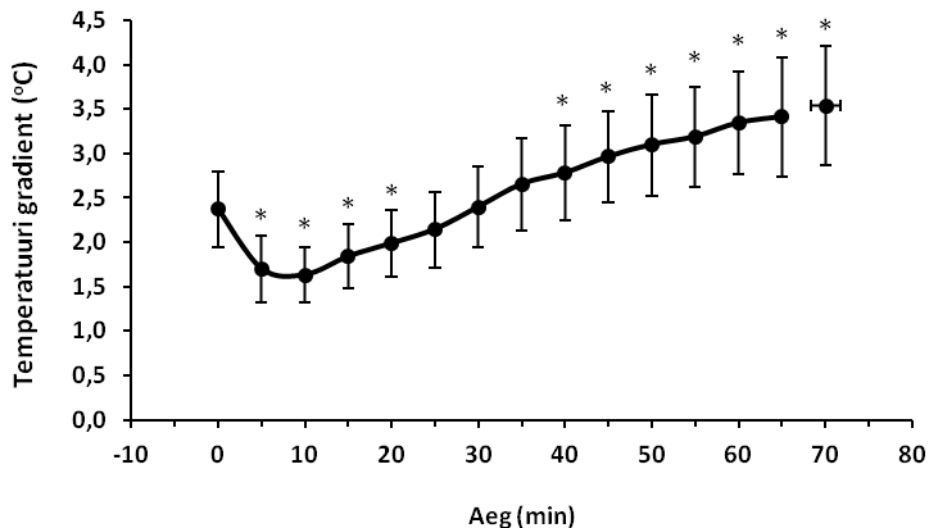
**Joonis 4.** Nahapinna kaalutud keskmine temperatuur töövõime testil kõrge temperatuuriga keskkonnas. \*Statistiliselt oluline erinevus võrreldes lähtetasemega ( $p<0,05$ ).

### 4.3.3. Keha temperatuurigradient

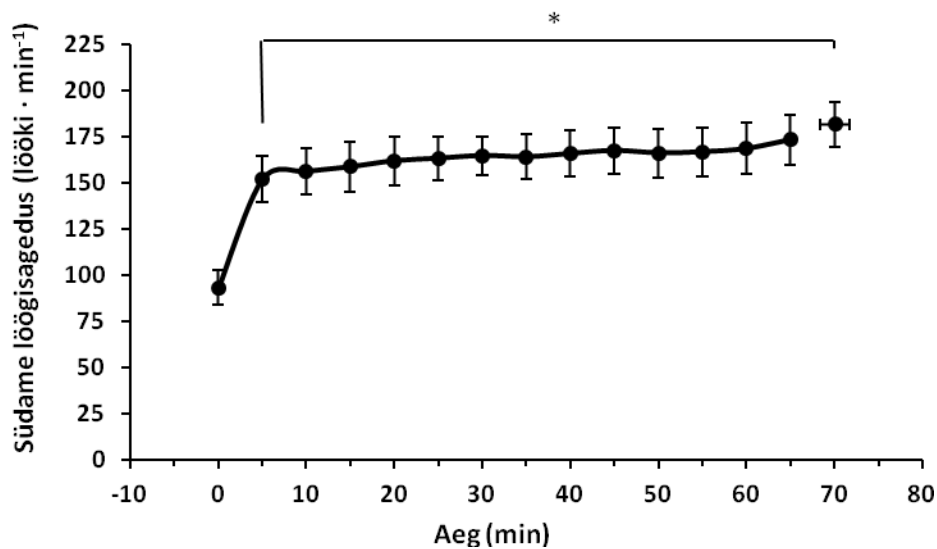
Ühefaktoriline korduvmõõtmistega dispersioonanalüüs näitas aja peamõju ( $F=78,26$ ;  $p<0,0001$ ) Tgr suhtes. Lähtetasemest ei erine Tgr ajapunktides 25, 30, ja 35min. (**joonis 5**). Ajavahemikul 5-20min oli Tgr lähtetasemest oluliselt madalam, ajavahemikul 40-70min aga oluliselt kõrgem.

### 4.3.4. Südame löögisagedus

Ühefaktoriline korduvmõõtmistega dispersioonanalüüs näitas aja peamõju ( $F=204,21$ ;  $p<0,0001$ ) SLS-e suhtes. SLS erines lähtetasemest kõigis ajapunktides alates 5. minutist kuni töövõime testi lõpuni (**joonis 6**).



**Joonis 5.** Keha temperatuurigradient töövõime testil kõrge temperatuuriga keskkonnas.  
\*Statistiliselt oluline erinevus võrreldes lähtetasemega ( $p < 0,05$ ).



**Joonis 6.** Südame löögisagedus töövõime testil kõrge temperatuuriga keskkonnas.  
\*Statistiliselt oluline erinevus võrreldes lähtetasemega ( $p < 0,05$ ).

#### 4.4. HRV näitajate ning SLS-e, termofüsioloogiliste näitajate ja töövõime vahelised seosed

Pearsoni korrelatsioonanalüüsiga hinnati seoseid füsioloogilist tähtsust omavate HRV sageduspõhiste näitajate muutuste (keskkonna ja kehaasendi mõjul) ja töövõimet kõrge

temperatuuriga keskkonnas iseloomustavate näitajate vahel – Tc, Tsk, SLS ja töövõime testi aeg (**tabel 4**). Selle tulemusena statistiliselt olulisi seoseid kõnealuste näitajate vahel ei esinenud.

**Tabel 4.** Pearsoni korrelatsioonanalüüs keskkonna ja kehaasendi vahetuse mõjul muutunud HRV näitajate seos Tc-i, Tsk-i, SLS-e ja töövõime testi ajaga

<b>Faktor</b>	<b>ΔHRV näitaja</b>	<b>ΔTc</b>	<b>ΔTsk</b>	<b>ΔSLS</b>	<b>Töövõime*</b>
<b>TNK→KTK</b>		r= 0,296 (p= 0,406)	r= 0,186 (p= 0,607)	r = 0,477 (p= 0,163)	r = -0,535 (p= 0,111)
	<b>ΔLF/HF</b>	r= 0,420 (p= 0,226)	r= 0,292 (p= 0,414)	r= 0,366 (p= 0,298)	r= -0,368 (p= 0,296)
	<b>ΔLF (%)</b>	r= 0,079 (p= 0,828)	r= 0,251 (p= 0,484)	r= -0,093 (p= 0,798)	r= -0,460 (p= 0,181)
	<b>ΔHF (%)</b>	r= 0,343 (p= 0,332)	r= 0,108 (p= 0,767)	r= 0,497 (p= 0,144)	r= -0,234 (p= 0,515)
	<b>ΔLFnu</b>	r= -0,343 (p= 0,332)	r= -0,108 (p= 0,767)	r= -0,497 (p= 0,144)	r= 0,234 (p= 0,515)
	<b>ΔHFnu</b>	r= 0,230 (p= 0,522)	r= -0,410 (p= 0,239)	r= 0,061 (p= 0,867)	r= 0,019 (p= 0,957)
	<b>ΔLF/HF</b>	r= 0,350 (p= 0,321)	r= 0,269 (p= 0,452)	r= 0,264 (p= 0,461)	r= -0,287 (p= 0,421)
	<b>ΔLF (%)</b>	r= -0,332 (p= 0,348)	r= 0,034 (p= 0,925)	r= -0,490 (p= 0,150)	r= 0,116 (p= 0,750)
<b>S→P</b>	<b>ΔHF (%)</b>	r= 0,354 (p= 0,315)	r= 0,307 (p= 0,388)	r= 0,487 (p= 0,154)	r= -0,337 (p= 0,341)
	<b>ΔLFnu</b>	r= -0,354 (p= 0,315)	r= -0,307 (p= 0,388)	r= -0,487 (p= 0,154)	r= 0,337 (p= 0,341)
	<b>ΔHFnu</b>				

TNK→KNK (keskkonna muutus) – termoneutraalsest kõrge temperatuuriga keskkonda siirdumine; S→P (kehaasendi muutus) – selililamangust püstitõusmine; r on Pearsoni korrelatsiooni koefitsient. \*Töövõime indikaatoriks oli aeg, mis kulus 40km distantsi „läbimiseks“.

## 5. ARUTELU

Käesolev uurimistöö näitab, treenitud meestel puudub seos puhkeseisundis registreerivate HRV parameetrite ja vastupidavusliku töövõime vahel kõrge temperatuuriga keskkonnas. Arvestades Rumvolti (2013) andmeid, on niisugune tulemus mitte päris ootuspärane. Rumvolt (2013) leidis, et indiviididel, kellel ilmneb HRV teatud parameetri (LF/HF) ulatuslikum tõus siirdumisel termoneutraalsest keskkonnast kõrgetemperatuuriga keskkonda, püsib naha keskmine temperatuur pikaajalisel kehalisel tööl kõrge temperatuuri mõjuväljas madalamal tasemel kui neil, kellel LF/HF muutus on vähem väljendunud. Nahatemperatuuri peetakse kriitilise tähtsusega teguriks, mis limiteerib töövõimet kõrge välistemperatuuri tingimustes (Sawka et al., 2012; Cheuvront et al., 2010). Seega on alust eeldada, et indiviididel, kelle HRV individuaalne eripära viitab nende organismi paremale võimekusele säilitada suhteliselt madalat nahatemperatuuri kõrge temperatuuriga keskkonnas, on neis tingimustes ka parem vastupidavuslik töövõime. Käesoleva uurimistöö andmed aga ei kinnita seose olemasolu puhkeseisundis registreeritud HRV parameetrite (sealhulgas LF/HF) ja keskmise nahatemperatuuri muutuste vahel vastupidavustööl kõrge temperatuuriga keskkonnas. See võib seletada, miks puudus ka seos HRV parameetrite ja töövõime (40 km „läbimise“ aja) vahel.

### 5.1. Keskkonnatemperatuuri muutuse mõju HRV parameetritele

ANS-il on oluline hõmöostaatiline funktsioon. ANS koordineerib organismi vastusreaktsioone välistele stiimulitele. ANS-i reaktsioon kuumale keskkonnale on indiviiditi erinev, mistõttu ka kuumataluvus on inimestel erinev (Yamamoto et al., 2007).

Käesoleva uurimistöö tulemused näitavad, et siirdumisel termoneutraalsest keskkonnast kõrge temperatuuriga keskkonda ilmnevad rea HRV parameetrite osas olulised muutused. Statistiliselt olulisel määral muutusid viiest sageduspõhisest parameetrist neli (LF/HF, HF%, LFnu, HFnu) ning kahest ajapõhisest parameetrist üks (SDNN). Need andmed on üldiselt kooskõlas Rumvolti (2013) uurimistöö tulemustega, kuid esineb ka mõningaid erinevusi. HRV sageduspõhised näitajad, mille osas ilmnesisid olulised nihked käesolevas uuringus, muutusid samas suunas ka Rumvolti (2013) andmetel, kuid lisaks täheldas Rumvolt statistiliselt usaldusväärseid muutusi ka LF% parameetri puhul. Seevastu ühegi ajapõhise HRV parameetri osas Rumvolt (2013) statistiliselt olulist muutust ei tuvastanud.

Sarnased tulemused said ka Yamamoto et al. (2007), kes registreerisid olulise languse HF% ja tõusu LF/HF suhte osas kuuel meessoost üliõpilasel, kes istusid 30 min ruumis

temperatuuriga 35 °C. Ka käesolevas uuringus osalenud vaatlusalused viibisid kõrge temperatuuri mõjuväljas 30 min, kuid mitte istudes vaid selililamangus. Yamamoto et al. (2007) järeldasid, et HRV analüüs on tundlik instrument tuvastamaks SNS aktivatsiooni ning PNS aktiivsuse langust kõrge temperatuuriga keskkonna mõjul ning et HF% ja LF/HF parameetreid võib pidada kuumastressi objektiivseteks indikaatoriteks.

Samasuunalist sümpatovagaalse tasakaalu muutust, mida näitavad käesoleva uuringu tulemused, demonstreerisid ka Bruce-Low et al. (2006). Nad paigutasid oma uuritavad oluliselt kõrgema temperatuuriga keskkonda (74 °C) kuid poole lühemaks ajaks (15 min) võrreldes meie vaatlusalustega. HRV sageduspõhiste parameetrite muutused osutusid vaatamata nendele metoodilistele erinevustele sarnasteks käesolevas töös täheldatutega. Oluliselt tõusid LFnu ja LF/HF suhe, mis on seotud SNS aktiivsuse tõusuga ning oluliselt langes HFnu, mis viitab PNS aktiivsuse langusele (Bruce-Low et al., 2006).

Liu et al. (2008) andmed näitavad, et FH/HF muutused sõltuvad sellest, kui kõrge temperatuuriga on tegemist. Nad leidsid, et LF/HF suhte oluline tõus ilmneb ka palju madalamatel välistemperatuuridel (29 ja 30 °C) kui see, mille mõjuväljas viibisid Bruce-Low et al. (2006) uuringus osalenud. Veelgi madalamate välistemperatuuride korral (24, 26 või 28 °C) FH/HF märgatavat muutust aga enam ei esine (Liu et al., 2008).

## **5.2. Kehaasendi muutuse mõju HRV parameetritele kõrge temperatuuriga keskkonnas**

Tõusmine selililamangust püstiasendisse kõrge temperatuuriga keskkonnas kutsus esile statistiliselt olulisi muutusi kõigis ajapõhistes (SDNN, RMSSD) ja mõnedes sageduspõhistes parameetrites (HF%, LFnu, HFnu). Eelnimetatutest nelja parameetri osas (RMSSD, HF%, LFnu, HFnu) täheldas samasuunalisi statistiliselt olulisi muutusi ka Rumvolt (2013). Lisaks sellele ilmnis Rumvolti (2013) vaatlusalustel statistiliselt oluline tõus ka sageduspõhistes parameetrites LF% ja LF/HF, kuid ajapõhine näitaja SDNN oluliselt ei muutunud (Rumvolt, 2013).

Selililamangust püstitõusmisel tekib raskusjõu mõjul märkimisväärses mahus vere ümberpaiknemine rinnaõõne piirkonnast diafragma tasapinnast madalamale jäävatesse veresoontesse, eelkõige veenidesse. See on nähtus, mille kohta inglise keeles kasutatakse terminit „*venous pooling*“. Niisugune muutus vähendab järsult venoosse vere tagasivoolu südamesse. Selililamangus prevaleerib PNS aktiivsus, seevastu püstitõusmisel suureneb SNS ja langeb PNS aktiivsus (Aubert et al., 2003). Neid muutusi ANS talitluses peegeldavad meie vaatlusalustel täheldatud LF võimsuskomponendi tõus ja HF komponendi langus.

Kokkuvõttes on ANS reaktsioon kõnealusel olukorras suunatud SLS-e, südamelihase kontraktiilsuse, veresoonte toonuse ja venoosse tagasivoolu suurendamisele.

### **5.3. Kuidas seletada lahknevust varasemate uuringute ja käesoleva töö andmete vahel?**

Käesolevas töös registreeritud HRV parameetrite nihete üldine muster, mis ilmnes kas seoses välistemperatuuri muutusega või kehaasendi muutusega kõrge temperatuuriga keskkonnas, oli väga sarnane Rumvolti (2013) poolt kirjeldatuga. Olulisima erinevusena pälvib aga tähelepanu seose puudumine puhkeseisundis registreeritud LF/HF suhte ja naha keskmise temperatuuri vahel vastupidavustööl kõrge temperatuuriga keskkonnas. Kahe küllaltki sarnase uuringu tulemuste lahknevus selles osas võib tuleneda mitmest asjaolust.

Esiteks võib olulist tähtsust omada asjaolu, et Rumvolti (2013) vaatlusalused ei sooritanud vastupidavusliku töövõime testi, vaid lihtsalt kõndisid liikuval jooksurajal 60 min ühtlases tempost intensiivsusega 50%  $VO_2$ max-st. Teiste sõnadega, tegemist oli doseeritud kehalise koormusega. Käesoleva uuringus osalenud aga „sõitsid“ veloergomeetril 40 km eesmärgiga „läbida“ see vahemaa lühima võimaliku ajaga. Seejuures töö intensiivsust muutsid nad „distantssi“ erinevates lõikudes vastavalt oma jõuvarude tunnetamisele.

Teiseks oluliseks erinevuseks nende kahe uuringu vahel on kehalise aktiivsuse laad. Töövõimet limiteerivate faktorite osakaal jooksmisel/kõndimisel ja jalgrattasõidul ei ole päris ühesugune. Millet et al. (2009) andmetel omab näiteks tsentraalne väsimus jooksmisel oluliselt suuremat tähtsust kui jalgrattasõidus.

Kolmandaks erinevuseks on keskkonnatingimused, milles registreeriti vaatlusalustel SLS ja viidi läbi koormustest. Rumvolt et al. (2013) uuringu puhul oli õhutemperatuur kuumakambris 42 °C ja õhu suhteline niiskus 20%. Seevastu käesolevas uuringus olid vastavad keskkonna tingimused 32°C ja 46%. See asjaolu mõjutab oluliselt organismi termoregulatsiooni. Käesoleva uuringu töövõime testi tingimustes saab inimese organism liigsest soojusest vabaneda soojusjuhtivuse, konvektsiooni ja soojuskiirguse teel, kuna ümbritseva keskkonna temperatuur on madalam kui kehatemperatuur. Rumvolt et al. (2013) uuringu korralduse puhul toimivad samad mehhanismid vastassuunaliselt, põhjustades kehatemperatuuri tõusu. Ainus viis inimese organismi jahutamiseks ja stabiilse temperatuuri säilitamiseks keskkonnas, mille temperatuur ületab kehatemperatuuri, on aurustumine (Wendt et al., 2007). Seega võib väita, et Rumvolt et al. (2013) uuringu testi ajal higieritus oli vaatlusalustel intensiivsem, kui käesoleva uuringu vaatlusalustel, mis on seotud intensiivsema nahapinna verevarustusega.

Samuti esinesid erinevused SLS-e registreerimises ja HRV analüüsis, mis võisid mõjutada uurimistöö lõpptulemusi. Nimelt lamasid vaatlusalused käesolevas uurimistöös termoneutraalses keskkonnas SLS-e registreerimisel 15 minutit, seevastu Rumvolt et al. (2013) uuringus 20 minutit. Kehaasendite vahetamine toimus käesolevas uuringus lühema aja jooksul, kui Rumvolt et al. (2013) uuringus. Andmete salvestusperioodi jooksul hingasid vaatlusalused käesolevas uuringus metronomi taktis (24 lööki/min), kuid Rumvolt et al. (2013) uuringus ei olnud hingamissageduse osas piiranguid. Samuti kasutati andmete registreerimisel erinevate firmade seadmeid ning salvestiste analüüsil erinevat tarkvara.

HRV näitajad, eriti HF võimsuskomponenti, mõjutab suurel määral hingamismuster ning sel põhjusel soovitatakse tihti hingamissagedust ning hingamismahtu kontrollida (Javorka et al., 2003). Sama seaduspärasust kinnitab Nunan et al. (2010) uuring, mis näitab, et esinevad suured erinevused HRV parameetrite väärtustes, kui võrreldakse kontrollitud hingamisel registreeritud näitajaid vaba hingamise tingimusel saadud tulemustega. Nende andmetel on kontrollitud hingamise puhul kõik HRV väärtused kõrgemad kui vaba hingamise tingimusel, va LF komponent. Vastupidisel seisukohal on Patwardhan et al. (1995), kelle uuring näitab, et kontrollitud hingamine kipub vähendama HRV-d ja HF võimsuskomponendi väärtust.

Kontrollitud hingamise rütm on oluline säilitamiseks ANS stabiilset talitlust SLS registreerimise ajal HRV analüüsimiseks (Aubert et al., 2003). Kuid Javorka et al. (2003) uuringus hingamismustrit ei reguleerita, et säilitada loomulikke tingimusi, vältides vaatlusalustel ebamugavust ning soovimatu hüpo- ja hüperventilatsioonist tingitud metaboolseid muutusi. Viimase asjaolu vältimise eesmärgil harjutasid vaatlusalused käesolevas uuringus metronomi taktis hingamist enne SLS-e registreerimist.

Kokkuvõtteks, näitavad käesoleva uuringu tulemused, et puudub seos puhkeolekus registreeritud HRV parameetrite ja vastupidavusliku töövõime vahel kõrge temperatuuriga keskkonnas. Statistiliselt olulised erinevused esinevad keskkonna tingimuste ja kehaasendite muutuste mõjul mitmete aja- ja sageduspõhiste parameetrite osas. Tööhüpoteesi edasiseks kontrollimiseks on vaja kaasata oluliselt rohkem vaatlusaluseid.

## 6. JÄRELDUSED

1. Puhkeseisundis registreeritud HRV parameetrite ja vastupidavusliku töövõime vahel kõrge temperatuuriga keskkonnas puudub seos.
2. Siirdumisel termoneutraalsest keskkonnast kõrge temperatuuriga keskkonda ilmnevad muutused HRV sageduspõhilistest parameetritest LF/HF, HF%, LFnu ja HFnu osas, ajapõhistest parameetritest muutub SDNN.
3. Selililamangust püstitõusmisel kõrge temperatuuriga keskkonnas ilmnevad muutused HRV sageduspõhilistest parameetritest HF%, LFnu ja HFnu osas ning muutuvad ka ajapõhised parameetrid.
4. Puhkeolekus registreeritud HRV parameetrite ning vastupidavustööl kõrge temperatuuriga keskkonnas registreeritud naha keskmise temperatuuri, keha süvatemperatuuri ja südame löögisageduse vahel puudub seos.

## KASUTATUD KIRJANDUS

1. Akselrod S, Gordon D, Ubel FA, Shannon DC, Barger AC, Cohen RJ. Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat to beat cardiovascular control. *Science*, 1981; 213: 220-222.
2. Appel ML, Berger RD, Saul JP, Smith JM, Cohen RJ. Beat to beat variability in cardiovascular variables: noise or music? *Journal of the American College of Cardiology*, 1989; 14: 1139-1148.
3. Arai Y, Saul JP, Albrecht P, Hartley LH, Lilly LS et al. Modulation of cardiac autonomic activity during and immediately after exercise. *American Journal of Physiology*, 1989; 256: 132-141.
4. Aubert AE, Seps B, Beckers F. Heart rate variability in athletes. *Sports Medicine*, 2003; 33: 889-919.
5. Bigger JT, Albrecht P, Steinman RC, Rolnitzky LM, Fleiss JL, Cohen RJ. Comparison of time and frequency domain-based measures of cardiac parasympathetic activity in Holter recordings after myocardial infarction. *The American Journal of Cardiology*, 1989; 61: 208-215.
6. Bruce-Low SS, Cotterrell D, Jones GE. Heart rate variability during high ambient heat exposure. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 2006; 77: 915-920.
7. Burr RL. Interpretation of normalized spectral heart rate variability indices in sleep research: a critical review. *Sleep*, 2007; 30: 913-919.
8. Cottin F, Papelier Y, Escourrou P. Effects of exercise load and breathing frequency on heart rate and blood pressure variability during dynamic exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 1999; 20: 232-238.
9. Camm AJ, Malik M, Bigger JT, Breithardt G, Cerutti S et al. Heart Rate Variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, 1996; 93: 1043-1065.
10. Chevront SN, Kenefick RW, Montain SJ, Sawka MN. Mechanisms of aerobic performance impairment with heat stress and dehydration. *Journal of Applied Physiology*, 2010; 109: 1989-1995.
11. Chen JY, Lee YL, Tsai WC, Lee CH, Chen PS et al. Cardiac autonomic functions derived from short-term heart rate variability recordings associated with heart rate recovery after treadmill exercise test in young individuals. *Heart Vessels*, 2011; 26: 282-288.

12. Desbrow B, Barrett CM, Minahan CL, Grant GD, Leveritt MD. Caffeine, cycling performance and exogenous CHO oxidation: a dose-response study. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2013; 45: 1782-1789.
13. Ely BR, Ely MR, Chevront SN, Kenefick RW, DeGroot DW, Montain SJ. Evidence against a 40 °C core temperature threshold for fatigue in humans. *Journal of Applied Physiology*, 2009; 1519-1525.
14. Ganio MS, Johnson EC, Klau JF, Anderson JM, Casa DJ et al. Effect of ambient temperature on caffeine ergogenicity during endurance exercise, 2011; 111: 1135-1146.
15. González-Alonso J, Teller C, Andersen SL, Jensen FB, Hyldig T, Nielsen B. Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *Journal of Applied Physiology*, 1999; 86: 1032-1039.
16. Kamath MV, Fallen EL. Power spectral analysis of heart rate variability: a noninvasive signature of cardiac autonomic function. *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 1993; 21: 245-311.
17. Katona PG, McLean M, Dighton DH, Guz A. Sympathetic and parasympathetic cardiac control in athletes and nonathletes at rest. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 1982; 52: 1652-1657.
18. Kleiger RE, Stein PK, Bigger JT Jr, Heart rate variability: Measurement and clinical utility. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, 2005; 10: 88-101.
19. Lee JKW, Nio AQX, Lim CL, Teo EYN, Byrne C. Thermoregulation, pacing and fluid balance during mass participation distance running in a warm and humid environment. *European Journal of Applied Physiology*, 2010; 109: 887-898.
20. Lewis MJ, Kingsley M, Short AL, Simpson K. Rate of reduction of heart rate variability during exercise as index of physical work capacity. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sport*, 2007; 17: 696-702.
21. Lin DC & Hughson R L. A phenomenology model of normal sinus rhythm in healthy humans. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2002; 49: 97-109.
22. Liu W, Lian Z, Liu Y. Heart rate variability at different thermal comfort levels. *European Journal of Applied Physiology*, 2008; 103: 361-366.
23. Malliani A, Pagani M, Lombardi F, Cerutti S. Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain. *Circulation*, 1991; 84: 1482-1492.

24. Martinmäki K, Häkkinen K, Mikkola J, Rusko H. Effect of low-dose endurance training on heart rate variability at rest and during an incremental maximal exercise test. *European Journal of Applied Physiology*, 2008; 104: 541-548.
25. Melanson & Freedson. The effect of endurance training on resting heart rate variability in sedentary adult males. *European Journal of Applied Physiology*, 2001; 85: 442-449.
26. Millet GP, Vleck VE, Bentley DJ. Physiological differences between cycling and running. *Sports Medicine*, 2009; 39: 179-206.
27. Montano N, Ruscone TG, Porta A, Lombardi F, Pagani M, Malliani A. Power spectrum analysis of heart rate variability to assess the changes in sympathovagal balance during graded orthostatic tilt. *Circulation*, 1994; 90: 1826-1831.
28. Nielsen B, Savard G, Richter EA, Hargreaves M, Saltin B. Muscle blood flow and muscle metabolism during exercise and heat stress. *Journal of Applied Physiology*, 1990; 69: 1040-1046.
29. Nybo L. Hyperthermia and fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 2008; 104: 871-878.
30. Patwardhan AR, Vallurupalli S, Evans JM, Bruce EN, Knapp CF. Override of spontaneous respiratory pattern generator reduces cardiovascular parasympathetic influences. *Journal of Applied Physiology*, 1995; 79: 1048-1054.
31. Perini R, Orizio C, Baselli G, Cerutti S, Veicsteinas A. The influence of exercise intensity on the power spectrum of heart rate variability. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 1990; 61: 143-148.
32. Powers SK & Howley ET. *Exercise physiology: theory and application to fitness and performance*. 6<sup>th</sup> ed. New York: McGraw-Hill, 2007.
33. Ramanathan NL. A new weighting system for mean surface temperature of the human body. *Journal of Applied Physiology*, 1964; 19: 531-533.
34. Rumvolt G. Südame löögisageduse variaablus ja koormustaluvus kõrge temperatuuriga kuivas keskkonnas. Magistritöö. Tartu, 2013.
35. Sawka MN, Cheuvront SN, Kenefick RW. High skin temperature and hypohydration impair aerobic performance. *Experimental Physiology*, 2012; 97: 327-332.
36. Schabort EJ, Wilson G, Noakes TD. Dose-related elevation in venous pH with citrate ingestion do not alter 40-km cycling time-trial performance. *European Journal of Applied Physiology* 2000; 83: 320-327.

37. Scheuer J & Tipton CM. Cardiovascular adaptations to physical training. *Annual Review of Physiology*, 1977; 39: 221-251.
38. Sircar S. *Principles of Medical Physiology*. Saaksamaa: Georg Thieme Verlag, 2008.
39. Tucker R, Rauch L, Harley YXR, Noakes TD. Impaired exercise performance in the heat is associated with an anticipatory reduction in skeletal muscle recruitment. *European Journal of Physiology*, 2004; 448: 422-430.
40. Tyler C & Sunderland C. The effect of ambient temperature on the reliability of a preloaded treadmill time-trial. *International Journal of Sports Medicine*, 2008; 29: 812-816.
41. Warren JH, Jaffe RS, Wraa CE, Stebbins CL. Effect of autonomic blockade on power spectrum of heart rate variability during exercise. *American Journal of Physiology*, 1997; 273: 495-502.
42. Watson P, Hasegawa H, Roelands B, Piacentini MF, Looverie R et al. Acute dopamine/noradrenalin reuptake inhibition enhances human exercise performance in warm, but not temperate conditions. *The Journal of Physiology*, 2005; 873-883.
43. Wendt D, van Loon LJC, van Marken Lichtenbelt WD. Thermoregulation during exercise in the heat strategies for maintaining health and performance. *Sports Medicine*, 2007; 37: 669-682.
44. Yamamoto S, Iwamoto M, Inoue M, Harada N. Evaluation of the effect of heat exposure on the autonomic nervous system by heart rate variability and urinary catecholamines. *Journal of Occupational Health*, 2007; 49: 199-204.

## LISA 1.

### Ankeet: individuaalse taluvuse ja kehalise töövõime uuring kuumastressi tingimustes

Uuritava kood:

**Palume Teil täita järgnev küsimustik** (sobivale vastusevariandile ring ümber või sõnaline vastus):

Kuupäev ..... Vanus .....

Milliseid suuremat sorti haigusi/-vigastusi Te olete põdenud?

.....  
.....

Kas Teil on esinenud kuumarabandust/kuumatalumatusega seotud sümptomeid (iiveldus, kerge teadvusekadu, orientatsioonikaotus jne)? EI JAH (millal?) .....

Kas Teil esineb tsöliaakiat ehk gluteenitalumatust? EI JAH

Perekonnas lähisugulastel (vanemad, õed-vennad, lapsed) esineb/on esinenud:

Kõrgvererõhutõbe EI JAH (kellel/mis vanuses?) .....

Südameinfarkte EI JAH (kellel/mis vanuses?) .....

Ajuinfarkte EI JAH (kellel/mis vanuses?) .....

Äkksurmasid enne 55ndat eluaastat EI JAH (kellel/mis vanuses?) .....

Kasutuselolev ravi (kaasa arvatud toidulisandite, vitamiinide tarbimine):

.....

Alkoholi tarbin :

a) 0 napsu nädalas b) 1-7 napsu nädalas c) 8-14 napsu nädalas d)15 ja rohkem napsu nädalas

1 naps viina=40ml=4cl; 1 naps veini=125ml; 1 naps portvein=75ml; 1 naps õlut=330ml=0,33l
--

Suitsetamine EI Enam mitte (kui kaua ..... ) JAH (..... sigaretti päevas)

Minu praeguseks spordiharrastuseks on ..... (spordiala), millega olen tegelenud ..... (aastat, kuud).

Praegu tegelen sportimisega ..... korda nädalas, üks treening kestab keskmiselt ..... tundi ..... minutit, kokku keskmiselt ..... tundi nädalas.

Saunas käin keskmiselt ..... korda kuus.

Kuumas kliimas viibisin viimati ..... kuni ....., riik ..... (mõeldud on turisimi- ja tööreise lõunamaadesse, osalemist treeninglaagrites kuumas kliimaga piirkondades)

## **AUTORI LIHTLITSENTS**

### **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Daria Latina

*(autori nimi)*

(sünnikuupäev: 01.07.1991)

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

### **Südame löögisageduse variaablus ja vastupidavuslik töövõime kõrge temperatuuriga keskkonnas**

*(lõputöö pealkiri)*

mille juhendaja on prof biol knd Vahur Ööpik, kaasjuhendaja MSc Saima Timpmann,

*(juhendaja nimi)*

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.

Tartus, 20.05.2015 *(kuupäev)*