

TARTU ÜLIKOOL
Sporditeaduste ja füsioteraapia instituut

Tiidrek Nurme

Vastupidavuslik töövõime kõrge temperatuuriga keskkonnas
Endurance Working Ability in high Temperature Environments

Bakalaureusetöö

Kehalise kasvatuse ja spordi õppekava

Juhendaja:
prof, biol knd Vahur Ööpik

Tartu, 2020

SISUKORD

KASUTATUD LÜHENDID.....	3
SISSEJUHATUS.....	4
1. INIMESE KEHA SOOJUSREGULATSIOON.....	5
1.1. Kehatemperatuur, soojusteke ja soojuskadu.....	5
1.2. Füsioloogiline soojusregulatsioon.....	6
1.3. Füsioloogiline soojusregulatsioon kõrge ja madala keskkonnatemperatuuri tingimustes.....	7
1.4. Füsioloogiline soojusregulatsioon kehalisel tööl.....	8
2. KÕRGE ÕHUTEMPERATUURI JA SUHTELISE NIISKUSE MÕJU VASTUPIDAVUSLIKULE TÖÖVÕIMELE.....	10
3. VASTUPIDAVUSLIKU TÖÖVÕIME OPTIMEERIMINE KÕRGE TEMPERATUURIGA KESKKONNAS.....	14
3.1. Aklimatiseerumine kõrge õhutemperatuuri mõjuväljas.....	14
3.1.1. Füsioloogilised kohanemisreaktsioonid aklimatiseerumisel.....	14
3.1.2. Aklimatiseerumisprogrammide ülesehitus	16
3.1.3. Füsioloogiliste kohanemisreaktsioonide ulatuse sõltuvus aklimatiseerumise kestusest.....	17
3.1.4. Aklimatiseerumine ja kõrge treenituse tasemega sportlased.....	18
3.2. Keha jahutamine enne võistlust.....	18
3.2.1. Välised eeljahutamise meetodid.....	18
3.2.2. Sisemised eeljahutamise meetodid.....	19
3.2.3. Kombineeritud eeljahutamise meetod.....	20
3.3. Keha jahutamine võistluse ajal.....	20
KOKKUVÕTE.....	22
KASUTATUD KIRJANDUS.....	24
SUMMARY.....	28
AUTORI LIHTLITSENTS.....	30

KASUTATUD LÜHENDID

AV - (*air velocity*) õhu liikumise kiirus üle nahapinna

CYCL – veloergomeetril

MP - (*mean power*) keskmine võimsus

RH - (*relative humidity*) õhu suhteline niiskus

RPE – hinnang pingutuse subjektiivsele raskusastmele

TT - (*time trial*) kindla distantsi läbimine või kindla töö hulga sooritamine lühima jõukohase ajaga

TTE - (*time to exhaustion*) konstantse intensiivsusega töö kuni suutlikkuseni

Vo₂ max - maksimaalne hapnikutarbimisvõime

W max - (*maximum power output*) suurim ühekordsel pingutusel saavutatud jõunäitaja

SISSEJUHATUS

Viimastel aastatel on mitmed rahvusvahelised kergejõustikuvõistlused korraldatud keerulistes kliimatingimustes, nagu näiteks 2019. aasta IAAF Doha kergejõustiku maailmameistrivõistlused, kus õhuniiskuse ja õhutemperatuuri näitajad olid kõrged. Kõrget õhutemperatuuri on oodata ka 2020 Tokyo olümpiamängudel. Kõrge temperatuuriga kliimas, eriti kui kõrge õhutemperatuuriga kaasneb õhu kõrge suhteline niiskus, vastupidavuslik töövõime langeb (Sawka et al., 2011). Tugevamini mõjuvad taolised tingimused näiteks maratonijooksjatele, kelle pingutus kestab välitingimustes võrreldes valdava enamuse teiste kergejõustikualade esindajatega väga pikaajaliselt. Vastupidavuslikku töövõimet, seega ka sportlikku sooritusvõimet kõrge temperatuuriga keskkonnas on siiski võimalik parandada, kui võistlusteks harjumatuses kliimaatilistes tingimusteks sihipäraselt valmistuda.

Spordifüsioloogid peavad väsimuse kiire tekkimise ja süvenemise ning sooritusvõime languse peamiseks põhjusteks kehalisel tööl kõrge temperatuuri mõjuväljas kehatemperatuuri ulatuslikku tõusu ehk hüpertermiat ja keha veevarude vähenemist ehk dehüdratsiooni (Cheuvront et al., 2010; Ely et al., 2010; Sawka et al., 2011). Sellegipoolest puudub üksmeel küsimuses, kuidas konkreetselt need tegurid töövõimele negatiivset mõju avaldavad. Sportlase vastupidavusliku töövõime parandamise peamiseks meetmeteks kõrge temperatuuriga keskkonnas on aklimatiseerumine võistluseks valmistumise ajal, keha jahutamine vahetult enne võistlust ning keha jahutamine võistluse ajal.

Käesoleva bakalaureusetöö peamine eesmärk on teaduskirjanduse andmetele tuginedes võrdlevalt analüüsida erinevate meetmete, mida rakendatakse vastupidavusliku töövõime parandamiseks kuumas kliimas, efektiivsust. Töö esimestes alajaotustes käsitletakse selleks füsioloogilise soojusregulatsiooni süsteemi toimimist erinevates tingimustes ning ebasoodsate kliimategurite negatiivse mõju ulatust vastupidavuslikule sooritusvõimele.

Märksõnad/keywords: termoregulatsioon (thermoregulation), aklimatiseerumine (acclimatization; acclimation), hüpertermia (hyperthermia), dehüdratsioon (dehydration), vastupidavuslik töövõime (endurance ability), süvatemperatuur (core temperature)

1. INIMESE KEHA SOOJUSREGULATSIOON

1.1. Kehatemperatuur, soojusteke ja soojuskadu

Bioloogilise liigina kuulub inimene püsisoojaste olendite hulka, kelle ühiseks tunnuseks on see, et nende keha süvatemperatuur on suhteliselt stabiilne ja väliskeskkonnast võrdlemisi sõltumatu (Tipton, 2018). Suhteliselt stabiilsena püsib organismi süvatemperatuur tingimusel, et soojusteke ja soojuskadu on tasakaalus. Keha süvatemperatuuri all mõistetakse pea, rindkere ja kõhu süvapiirkonna temperatuuri. Inimese keha normaalne süvatemperatuur on 37° C. (Tansey & Johnson, 2015). Keha pinna- ehk nahatemperatuur sõltub märgatavalt väliskeskkonna temperatuurist, on seetõttu muutlik ning võib süvatemperatuurist oluliselt erineda (Tansey & Johnson, 2015). Tavaliselt on naha keskmine temperatuur keha süvatemperatuurist 3–4 °C võrra madalam, kuid mõnes piirkonnas (näiteks jäsemete distaalsetes osades) võib see erinevus teatud tingimustes (näiteks külma ilma korral) ulatuda isegi 20 kraadini (Brown et al., 2006).

Stabiilne süvatemperatuur on inimese keha normaalse talitluse eelduseks. Suhteliselt stabiilse süvatemperatuuri tagab soojusregulatsiooni süsteem, mille toimimine on suunatud soojustekke ja soojuskao vahelise tasakaalu säilitamisele (Wendt et al., 2007; Tansey & Johnson, 2015). Keha süvatemperatuur püsib stabiilsena vaid tingimusel, et kehas olev soojushulk on stabiilne. Kuna elutalitluse aluseks olevate ainevahetusprotsesside toimimise tulemusena vabaneb kehas pidevalt soojust (soojusteke), tuleb sellest pidevalt samas mahus ka vabaneda (soojuskadu). Naha keskmisest temperatuurist madalama temperatuuriga keskkonnas võimaldavad soojust kehast väliskeskkonda suunata vee aurustumine nahalt ja hingamisteedest, soojuskiirgus, konvektsioon ja soojusjuhtivus ehk konduktsioon. (Sawka et al., 2011; Wendt et al., 2007)

Vee aurustumine nahalt ja hingamisteedest on üks olulisemaid soojusülekanne viisidest, mis võimaldab inimese kehal liigsest soojusest vabaneda (Maughan, 2010). Nahalt aurustub tavaliselt vesi, mis jõuab sinna higi koostises. Aurustuva vee koguhulk sõltub peamiselt järgmistest teguritest: keskkonnale avatud oleva naha pindalast, välisõhu temperatuurist ja

nahatemperatuuri vahest, suhtelisest õhuniiskusest ja konvektsioonist (Tansey & Johnson, 2015).

Soojuskiirgus on soojuse ülekanne infrapunase kiirgusena inimese kehast madalama temperatuuriga objektidele. (Wendt et al., 2007). Konvektsioon on soojusülekanne kehast liikuvale gaasile või vedelikule, milleks inimese puhul on tavaliselt vastavalt õhk ja vesi (Wendt et al., 2007). Soojusjuhtivus on soojuse ülekandumine inimese kehast madalama temperatuuriga objektile sellega vahetu kokkupuutepinna kaudu (Wendt et al., 2007).

Soojuskiirgus, konvektsioon ja soojusjuhtivus võimaldavad inimese kehal liigest soojusest vabaneda üksnes keskkonnas, mille temperatuur on madalam kui inimese nahatemperatuur. Ainus mehhanism, mis võimaldab seda ka keskkonnas, mille temperatuur ületab inimese nahatemperatuuri, on aurustumine hingamisteedest ja nahapinnalt. (Tansey & Johnson, 2015; Wendt et al., 2007)

Eristatakse füsioloogilist ja käitumuslikku soojusregulatsiooni. Füsioloogiline soojusregulatsioon avaldub külmaväriinate fenomenina, veresoonte laienemise või ahenemisena, higierituse suurenemise või vähenemisena ning soojustekke muutlikkusena pruunis rasvkoos. Käitumusliku soojusregulatsiooni all mõistetakse tahtlikku kehalise aktiivsuse muutmist, teadlikku riietuse valikut, kuuma ilmaga varju hoidumist, ruumide kütmist jms. (Sawka et al., 2011; Tansey & Johnson, 2015)

1.2. Füsioloogiline soojusregulatsioon

Soojusteke ja soojuskadu ei tasakaalustu isenesest. Tasakaaluseisundi või selle taastumise häire korral tagab kõrgeima tasandi soojusregulatsiooni keskus, mis paikneb kesknärvisüsteemis, täpsemalt hüpotalamuses (Wendt et al., 2007; Sawka et al., 2011; Tansey & Johnson, 2015). Hüpotalamus on vaheajus paiknev tuumade kogum (Saper et al., 2005), mille rakkudest osa toimivad ka termoretseptoritena (Wendt et al., 2007). Hüpotalamusse suunatakse närviimpulsse nii tsentraalselt kui ka perifeerselt termoretseptoritelt. Tsentraalsed termoretseptorid paiknevad hüpotalamuses, ajus, seljaajus, suurtes veresoontes ja siseelundites. Perifeersed termoretseptorid paiknevad nahas. Nii tsentraalsete kui ka perifeersete termoretseptorite seas eristatakse sooja- ja

külmaretseptoreid. Nahas paiknevad soojaretseptorid toimivad temperatuurivahemikus 29–45 °C. Temperatuuril üle 45 °C kaob soojaretseptorite tundlikkus täielikult. Seevastu külmaretseptorid on aktiivsed temperatuurivahemikus 5–40 °C, nende aktiivsuse maksimum on ligikaudu 25 °C juures ja temperatuuril alla 5 °C nende tundlikkus kaob. Temperatuuridel alla 5 °C ja üle 45 °C aktiveeruvad valuretseptorid (notsiretseptorid), mistõttu me ei taju enam temperatuuri vaid tunneme valu. (Sircar, 2008)

Hüpotalamus analüüsib jooksvalt termoretseptoritelt lähtuvat infot ja vajadusel algatab kohanemisreaktsioone, et vältida keha süvatemperatuuri tõusu kõrgemale või langust madalamale normaalse süvatemperatuuri tasemest. Juhul, kui siiski ilmneb süvatemperatuuri kõrvalekalle ühele või teisele poole, algatab hüpotalamus kohanemisreaktsioone, mis on suunatud normaalse süvatemperatuuri taastamisele. (Sawka et al., 2011; Tansey & Johnson, 2015). Hüpotalamus on kõnealuste kohanemisreaktsioonide väljatöötamise ja algatamise keskus, kuid need teostuvad autonoomse ja somaatilise motoorse närvisüsteemi vahendusel. Autonoomne ehk vegetatiivne närvisüsteem kontrollib silelihaste, sh veresoonte seintes paiknevate silelihaste, südamelihase ja näärmete (sh higinäärmete) talitust, somaatiline motoorne närvisüsteem aga skeetilihaste funktsiooni. (Tansey & Johnson, 2015)

1.3. Füsioloogiline soojusregulatsioon kõrge ja madala keskkonnatemperatuuri tingimustes

Kõrge keskkonnatemperatuur mõjutab keha süvatemperatuuri tõusu suunas. Peamised akuutsed füsioloogilised kohanemisreaktsioonid, mis algatatakse hüpotalamuse tasandil, mis on suunatud süvatemperatuuri tõusu vältimisele ja mis teostuvad vegetatiivse närvisüsteemi kontrolli all, on silelihaste lõõgastamine naha veresoontes ja higinäärmete talitluse (higierituse) stimuleerimine. Selle tulemusena naha verevarustus ja koos sellega ka soojuse juhtimine keha süvapiirkonnast nahka suurenevad. Suurenev higieritus võimaldab suurendada soojuskadu kehast väliskeskkonda, mis kokkuvõttes aitab keha süvatemperatuuri stabiliseerida. (Sawka et al., 2011; Tansey & Johnson, 2015). Keha süvatemperatuuri languse ohu korral algatab hüpotalamus vastupidise suunaga akuutseid füsioloogilisi kohanemisreaktsioone: naha verevarustust ja higieritust vähendatakse, mille tulemusena väheneb soojuskadu kehast väliskeskkonda, skeetilihaste

mittetahteliste kontraktsioonide (külmaväriinate) esilekutsumisega aga suurendatakse soojusteket. Soojusteket suurendatakse ka oksüdatsiooniprotsesside intensiivsuse suurendamisega pruunis rasvkoos. (Castellani & Young, 2016; Sawka et al., 2011; Tansey & Johnson, 2015)

1.4. Füsioloogiline soojusregulatsioon kehalisel tööl

Kehalisel tööl võrreldes puhkeolekuga suureneb märgatavalt töötavate lihaste energiavajadus, mistõttu ATP hüdrolüüs intensiivistub. Skeletilihase kontraktiilne aparaat suudab ATP hüdrolüüsil vabanevast keemilisest energiast mehaaniliseks energiaks muundada ligikaudu 20–30%, ülejäänud 70–80% teiseneb soojuseks (Wilmore & Costill, 2004). Seega kehalisel tööl võrreldes puhkeolekuga suureneb soojusteke võrdeliselt töö intensiivsusega. Kehatemperatuuri tõusu aitab vältida või pidurdada füsioloogiline soojusregulatsiooni süsteem, mis suurendab soojuskadu. Samal ajal muutub erinevate soojuskao mehhanismide osakaal: puhkeolekus vabaneb keha liigsest soojusest ligikaudu 60% ulatuses radiatsiooni teel ja umbes 20% aurustumise tulemusena, kehalisel tööl võib aurustumise osakaal tõusta 80%-ni ja radiatsiooni tähtsus langeda *ca* 5% tasemele (Wilmore & Costill, 2004).

Kehalisel tööl võrreldes puhkeolekuga suurendatakse skeletilihaste verevarustust, et katta nende kõrge hõrgenenud hapnikuvajadust. Suureneb ka verevool nahka, mis aitab tasakaalustada suurenenud soojusteket ja juhtida kehas väliskeskkonda suuremal hulgal soojust (Tansey & Johnson, 2015; Wilmore & Costill, 2004). Suurem verevool skeletilihastesse ja nahka tagatakse veresoonte laiendamisega nendes elundites. Lihaste ja naha suurenev verevarustus tõstab südame ja vereringesüsteemi koormust: suureneb südame löögimaht ja kõrgeneb pulsisagedus, mille tulemusena suureneb südame minutimaht (Tansey & Johnson, 2015; Wilmore & Costill, 2004). Naha verevarustuse suurendamine võimaldab juhtida rohkem soojust keha süvapiirkonnas nahapinnale. Soojuse juhtimiseks nahapinnalt väliskeskkonda stimuleeritakse higinäärmete talitlust, mille tulemusena suureneb higieritus ja selles sisalduva vee aurustumine (Tansey & Johnson, 2015; Wilmore & Costill, 2004). Iga liitri vee aurustumisega vabaneb keha ligikaudu 580 kcal soojust (Wilmore & Costill, 2004). Kui aga hõrga kaotatud vee kogust joomisega tasakaalustada ei õnnestu, hakkab kehas süvenema veevaegus (dehüdratsioon), mis avaldub kõigepealt vereplasma mahu

väheneb, mis omakorda suurendab koormust südamele. Vereplasma mahu langus võib hakata piirama nii töötavate lihaste hapnikuga varustamist kui ka liigsest soojusest vabanemise võimalusi (Wendt et al., 2007).

Võrdse intensiivsusega kehalisel tööl suureneb soojusteke nii normaalse kui ka kõrge temperatuuriga keskkonnas, kuid kõrge temperatuuriga keskkonnas on liigsest soojusest vabanemine raskendatud. Seepärast on füsioloogilise soojusregulatsiooni süsteemi koormus kehalisel tööl kõrge temperatuuriga keskkonnas suurem. See avaldub näiteks naha veresoonte laienemises ja naha verevaruse ulatuslikumas suurenemises, higierituse varasemas alguses ja selle kõrgemas intensiivsuses, samuti pulsisageduse ulatuslikumas tõususes (Wendt et al., 2007; Sawka et al., 2011).

Sõltumata tervislikust seisundist pikemaajalisel kehalisel tööl ilmneb keha süvatemperatuuri tõus, mille ulatus sõltub paljudest teguritest, peamiselt töö intensiivsusest, kestusest ja keskkonnatingimustest (Wendt et al., 2007; Sawka et al., 2011). Normaalse temperatuuriga keskkonnas keha süvatemperatuur kehalisel tööl võrreldes puhkeolekuga tavaliselt tõuseb ja võib siis sellel kõrgemal tasemel stabiliseeruda pikaks ajaks. Kehalisel tööl kõrge temperatuuriga keskkonnas, eriti kui kõrge temperatuuriga kaasneb ka kõrge õhu suhteline niiskus, on keha süvatemperatuuri tõus aga kiirem ja ulatuslikum ning see ei pruugi töö ajal üldse stabiliseeruda (Wendt et al., 2007; Sawka et al., 2011). Keha süvatemperatuuri tõustes 40° C lähedale kaotab enamus inimestest võime tööd jätkata – saabub kurnatusseisund (Nielsen et al., 1993).

2. KÕRGE ÕHUTEMPERAATUURI JA SUHTELISE NIISKUSE MÕJU VASTUPIDAVUSLIKULE TÖÖVÕIMELE

Tabelisse 1 on koondatud andmed uuringutest, kus on otseselt võrreldud vastupidavuslikku töövõimet erinevates keskkonnatingimustes.

Tabel 1. Keskkonnatingimuste mõju vastupidavuslikule töövõimele.

Uuring	Uuritavad	Töövõime test	Keskkond	Töövõime
Ely et al., 2010	Algajad meesjalgratturid; n = 8	30 min CYCL 50% VO ₂ max + 15 min TT	21 °C, RH 50% 40 °C, RH 25%	Töö hulk 17%↓ 40 °C vs. 21 °C
Galloway & Maughan, 1997	Algajad meesjalgratturid; n = 8	TTE CYCL 70% VO ₂ max	3.6 °C, RH 70% 10.5 °C, RH 70% 20.6 °C, RH 70% 30.5 °C, RH 70% AV 0.7 m·s ⁻¹	Töö kestus 44.8%↓ 30.5 °C vs. 10.5 °C Töö kestus 36.4%↓ 30.5 °C vs. 20.6 °C Töö kestus 36.6%↓ 30.5 °C vs. 3.6 °C
Ganio et al., 2011	Kõrge treenitusega meesjalgratturid; n = 11	90 min CYCL [15 min 60%/15 min 71% VO ₂ max] + 15 min TT	33 °C, RH 41% 12 °C, RH 60%	Töö hulk 19%↓ 33 °C vs. 12 °C
Maughan et al., 2012	Meesjalgratturid; n = 8	TTE CYCL 70% VO ₂ max	30.2 °C, RH 24% 30.2 °C, RH 40% 30.2 °C, RH 60% 30.2 °C, RH 80% AV 1.0 m·s ⁻¹	Aeg kurnatuseni 12.3 % ↓ RH 40% vs. RH 24% Suur erinevus ↓ RH 60%; RH 80% vs. RH 24%
Racianis et al., 2015	Kõrge treenitusega meesjalgratturid;	TT 43.4 km maanterattal välitingimustes	36 °C, RH 13% 8.2 °C, RH 30%	TT aeg 16.7% ↑ MP 16% ↓ 36 °C vs. 8.2 °C

	n = 9			
Sandsund et al., 2012	Kõrge treenitusega meessuusatajad; n = 9	10 min jooks 60% VO ₂ max 5 min jooks 67% VO ₂ max 5 min jooks 77% VO ₂ max 5 min jooks 85% VO ₂ max 5 min jooks 91% VO ₂ max + TTE	- 14 °C, RH 45 % - 9 °C, RH 29 % - 4 °C, RH 20 % 0 °C, RH 18 % 10 °C, RH 47 % 20 °C, RH 49 % AV 5.0 m·s ⁻¹	Aeg kurnatuseni 22 % ↓ 20°C vs. - 4 °C Suur erinevus ↓ - 14 °C; 10 °C ; 20 °C vs. - 4°C Väike erinevus ↓ 1°C ; - 9 ° vs. - 4°C
Tatterson et al., 2000	Kõrge treenitusega meesjalgratturid; n = 11	30 min CYCL TT	32 °C, RH 60% 23 °C, RH 60%	MP 6.5% ↓ 32 °C vs. 23 °C
Tucker et al., 2004	Meesjalgratturid; n = 10	20 km CYCL TT	35 °C, RH 60% 15 °C, RH 60% „tuul“ 10 km/h	MP 6.3% ↓ ja 20 km aeg 2.8% ↓ 35 °C vs. 15 °C
Tyler & Sunderland, 2008	Kõrge treenitusega meesjooksjad; n = 9	75 min jooks 60% VO ₂ max + 15 min TT	30.5 °C, RH 53% 14.4 °C, RH 59%	Läbitud vahemaa 10% ↓ 30.5 °C vs. 14.4 °C
Watson et al., 2005	Kõrge treenitusega meesjalgratturid ja triatleedid; n = 9	60 min CYCL 55% W _{max} + TT (töö hulk = 30 min intensiivsusel 75% W _{max})	30 °C, RH 55% 18 °C, RH 55%	TT aeg 30.1% ↑ 30°C vs. 18 °C

TT: (*time trial*) kindla distantsi läbimine või kindla töö hulga sooritamine lühima jõukohase ajaga; TTE (*time to exhaustion*) konstantse intensiivsusega töö kuni suutlikkuseni; CYCL töö veloergomeetril; RH: (*relative humidity*) õhu suhteline niiskus; MP: (*mean power*) keskmine võimsus; W_{max}: (maximum power output) suurim ühekordsel pingutusel saavutatud jõunäitaja; AV: (*air velocity*) õhu liikumise kiirus üle nahapinna

Tabelis 1 refereeritud uuringute andmetest nähtub, et kõrge temperatuuri mõjuväljas võrreldes normaalsete keskkonnatingimustega vastupidavuslik töövõime langeb nii mõõduka kui ka kõrge treenituse tasemega indiviidide puhul, kuid erinevates uuringutes täheldatud töövõime languse määr varieerub suures ulatuses (2.8 % – 44.8 %).

See järeldus tugineb valdavalt niisuguste uuringute andmetele, kus

- töövõimet on hinnatud veloergomeetrial või jalgratta maanteeõidus ning kus uuritavateks on olnud erineva treenituse tasemega jalgratturid või treenimata indiviidid; jooksjad, kelle töövõimet testiti liikuval jooksulindil osalesid vaid ühes uuringus
- uuritavad on olnud eranditult meessoost
- uuring on teostatud laboritingimustes; ainult ühel juhul toimus see looduslikus keskkonnas.

Teadlased on üksmeelel selles, et väsimuse võrdlemisi kiire tekkimise ja süvenemise ning vastupidavusliku töövõime languse peamiseks põhjusteks kõrge temperatuuriga keskkonnas on kehatemperatuuri ulatuslik tõus ja dehüdratsioon (Chevront et al., 2010; Gonzalez-Alonso et al., 1999; Nielsen et al., 1993; Sawka et al., 2012). Seejuures varem seostati töövõime langust eelkõige keha süvatemperatuuri (Gonzalez-Alonso et al., 1999; Nielsen et al., 1993), viimasel ajal aga rohkem nahatemperatuuri (Chevront et al., 2010; Sawka et al., 2012) tõusuga kriitilise piirini. Dehüdratsioon ühtaegu kiirendab kehatemperatuuri tõusu võimendab selle negatiivset mõju vastupidavuslikule töövõimele (Kenefick & Chevront, 2016).

Eristatakse tsentraalset ja perifeerset väsimust. Tsentraalse väsimusena mõistetakse tööpuhuseid muutusi kesknärvisüsteemi talitluses, mis põhjustavad skeletilihaste funktsiooni langust, perifeerse väsimusena aga samasuguse mõjuga muutusi otseselt skeletilihastes endis (Wilmore & Costill, 2004). Nybo (2008) analüüs näitas, et tsentraalsete ja perifeersete väsimuse mehhanismide osakaal töövõimet limiteerivate teguritena kõrge temperatuuriga keskkonnas sõltub paljudest asjaoludest, sealhulgas töö intensiivsusest. Tsentraalne väsimus näib omavat suuremat tähtsust pikaajalisel mõõduka intensiivsusega vastupidavustööl, kui keha süvatemperatuur, sealhulgas aju temperatuur, võib tõusta

tasemele 40 °C ja üle selle, perifeerne väsimus aga, mis avaldub töötavate lihaste hapnikuvaeguses, on töövõime languse põhjuseks peamiselt (või ainult) suure intensiivsusega pingutustel (Nybo, 2008).

Vastupidavusliku töövõime seisukohast optimaalne õhutemperatuur on 10–12 °C. Seda näitavad nii Galloway & Maughani (1997) andmed (laboratoorne uuring) kui ka Maughani (2010) töö, kus ta analüüsib erinevates kliimaatilistes tingimustes toimunud maratonivõistluste tulemusi. Tähelepanuväärne on, et laboriuuringute andmed ja võistlustulemuste analüüs viivad ühesugusele järeldusele vastupidavusliku sooritusvõime seisukohast optimaalse õhutemperatuuri osas.

Vastupidavusliku töövõime seisukohast optimaalne õhutemperatuur sõltub siiski sportlase riietusest. Galloway & Maughani (1997) uuringus kandsid uuritavad lühikesi riideid, sokke ja spordijalatsid. Sandsund et al., (2012) uuringus osalejatel oli seljas murdmaasuusatamise võistlusülikond. Nende uuringute tulemuste võrdlusest nähtub, et suusaülikonnas on vastupidavusliku sooritusvõime seisukohast optimaalne õhutemperatuur –4 °C, lühikeses dressis aga 11 °C.

3.VASTUPIDAVUSLIKU TÖÖVÕIME OPTIMEERIMINE KÕRGE TEMPERATUURIGA KESKKONNAS.

3.1.Aklimatiseerumine kõrge õhutemperatuuri mõjuväljas

Stressi all mõistetakse mistahes teguritest tingitud survet homöostaasile ehk organismi sisekeskkonna stabiilsusele, mis kutsub esile füsioloogilisi kohanemisreaktsioone (McEwen 2000). Kuumastressina käsitletakse erinevate tegurite (keskkond, riietus, ainevahetuse) mõju, mille surve kehatemperatuur kaldub tõusma üle normaalse taseme (Sawka et al., 2011). Keskkonna kõrge temperatuur, eriti aga kehaline töö kõrge temperatuuriga keskkonnas, kuna sellega kaasneb ainevahetuse intensiivsuse ja soojustekke suurenemine, põhjustavad kuumastressi, st keha süvatemperatuuri tõusu. Kuumastress kutsub esile kahte liiki omavahel seotud kohanemisreaktsioone, mis avalduvad aklimatiseerumise ja termotolerantsi suurenemise näol (Sawka et al., 2011).

Aklimatiseerumise all mõistetakse süsteemseid (laiahaardelisi) muutusi organismi talitluses, mis alandavad füsioloogiliste protsesside intensiivsust ja parandavad enesetunnet ning kehalist (ja vaimset) töövõimet kuumas keskkonnas. Omandatav termotolerants avaldub muutustena raku tasemel, mis on seotud kuumašoki valkude sünteesiga ja mis parandavad kuumataluvust ja suurendavad ellujäämise tõenäosust muidu letaalse kuumastressi tingimustes (Sawka et al., 2011). Mõlemat liiki kohanemisreaktsioonid avalduvad korduva (süsteemaatilise) kuumastressi mõjul.

3.1.1. Füsioloogilised kohanemisreaktsioonid aklimatiseerumisel

Aklimatiseerumisel kõrge õhutemperatuuri mõjuväljas suureneb vereplasma maht, paraneb keha veetasakaal, alaneb südame löögisagedus ning suureneb südame löögi- ning minutimaht, suureneb higieritamise intensiivsus, paraneb hinnang pingutuse subjektiivsele raskusastmele (RPE) ja temperatuuritajule, suureneb maksimaalse hapnikutarbimise võime (Vo_2 max), alaneb keha naha- ja süvatemperatuur, paraneb laktaadi lävi ja väheneb lihaste glükogeeni kasutamine. Kõigi nende muudatuste tõttu paraneb üleüldine vastupidavuslik töövõime pärast aklimatiseerumist kõrge õhtemperatuuriga keskkonnas. (Pryor et., al 2019)

Vereplasma mahu suurenemisel on kaks olulist kasutegurit. Üks nendest on südame ja veresoondkonna stabiliseerimine läbi suurenenud veresoonte täituvuse. Teine on vere temperatuuri tõstmine, mis omakorda vähendab nahas verevoolu. (Sawka et al., 2011; Périard et al., 2015) On täheldatud, et vereplasma mahu suurenemise tõttu langeb ajutiselt vere hemoglobiini ja hematokriti tase (Périard et al., 2016).

Aklimatiseerumisel suureneb kogu kehas vee hulk 2–3 liitri võrra, ehk 5–7%. Suurenenud veesisaldus aitab ennetada dehüdratsooni ja ära hoida süvatemperatuuri kiiret tõusu, vähendab naatriumi kontsentratsiooni higis, suurendab vereplasma mahtu ja seega ka vere mahtu. Keha suurenenud veesisaldus ühtlasi parandab seost janutunde ja tegeliku veevajaduse vahel. (Périard et al., 2015)

Südame löögisageduse alanemine ning suurenenud löögi- ning minutimaht toimuvad eelkõige vereplasma mahu suurenemise arvelt ning nende ülesandeks on säilitada südame minutimahtu ja reguleerida vererõhku pikaajasel vastupidavuslikul koormusel (Périard et al., 2015).

Aklimatiseerumisel suureneb higieritamise intensiivsus ning higi koostis muutub lahjemaks. Higi koostise hulgas eraldub vähem naatriumi ja kloriidi. Nende kohanemisreaktsioonide eesmärk on hoida keha süvatemperatuuri tasakaalus ning vähendada elektrolüütide kaotust. (Ely et al., 2013; Tyler et al., 2016)

Aklimatiseerumisel muutub hinnang pingutuse subjektiivsele raskusastmele (RPE). Koormus tundub kergem. Lisaks muutub ka temperatuuritaju. Kõrge õhutemperatuuri mõjuväljas treenimine muutub pärast aklimatiseerumist mugavamaks. (Tyler et al., 2016)

Aklimatiseerumisel suureneb Vo_2 max näitaja. Keiser et al. (2015) avastas 8–10% Vo_2 max näitaja tõusu kõrge õhutemperatuuriga treenimisel (38 °C). Lorenzo et al. (2010) leidis, et Vo_2 max suureneb pärast aklimatiseerumist nii kõrge õhutemperatuuriga keskkonnas (38 °C) treenides (8%) kui ka mõõduka temperatuuriga keskkonnas (12 °C) treenides (5%). Vo_2 max näitaja tõus ei suuda kompenseerida kuumastressiga kaasnenud töövõime langust. (Périard et al., 2015)

3.1.2. Aklimatiseerumisprogrammide ülesehitus

Aklimatiseeruda on võimalik nii kunstlikes (kliimalabori) tingimustes kui ka looduslikus keskkonnas (Benjamin et al., 2019; Garrett et al., 2011). Inglise keeles tähistab tehiskeskkonnas aklimatiseerumist termin *acclimation*, looduslikes oludes kohanemist aga *acclimatization* (Sawka et al. 2011). Eesti keeles kasutatakse mõlemal juhul mõistet *aklimatiseerumine*.

Aklimatiseerumisel kõrge õhutemperatuuri mõjuväljas kasutatakse peamiselt nelja erinevat moodust kehalise koormuse doseerimiseks, milleks on: 1) konstantse intensiivsusega koormuste meetod; 2) vabalt valitava intensiivsusega koormuste meetod; 3) kontrollitud hüpertermia (isotermiline) meetod; 4) kontrollitud südamelöögisageduse meetod. (Saunders et al., 2019)

Konstantse intensiivsusega koormuste meetodit iseloomustab kindla intensiivsusega ning kindlaksmääratud kestusega kehalist koormust aklimatiseerumissessiooni ajal (Tyler et al., 2016). See meetod on ennast hästi tõestanud, kuid on leitud, et püsiva sundfunktsiooni säilitamine võib osutuda liialt kurnavaks, mis võib vähendada edasise kohanemise potentsiaali. (Daanen et al., 2018)

Vabalt valitava intensiivsusega koormuste meetodit rakendatakse aklimatiseerumiseks sageli võistkonnaalade sportlaste puhul (Daanen et al., 2018). Seda iseloomustab aklimatiseerumissessiooni vältel sportlase poolt vastavalt enesetundele vabalt valitav koormus. (Tyler et al., 2016)

Isotermilise ehk kontrollitud hüpertermia meetodi puhul rakendatakse esmalt koormust, mille intensiivsus on piisav, et tõsta keha süvatemperatuur tasemele üle 38,5 °C. mida teatud ajaväljal hoida tuleb. Selle mudeli puhul kombineeritakse aktiivset, kui ka passiivset tegevust, et säilitada süvatemperatuur ligilähedale 38.5 °C. Selle meetodi kahjuks räägib madal treeningu intensiivsus aklimatiseerumise seansside ajal. (Daanen et al., 2018)

Kontrollitud südamelöögisageduse meetod meetodiga valitakse koormus vastavalt ette antud südamelöögisagedusele, kindlaksmääratud aja jooksul. Selle meetodi kasuks räägib väiksem mehhaaniline koormus aklimatiseerumise seansside ajal. (Daanen et al., 2018)

3.1.3. Füsioloogiliste kohanemisreaktsioonide ulatuse sõltuvus aklimatiseerumise kestusest

Garrett et al. (2011) on jaotanud aklimatiseerumisperiodid lühikeseks, keskmiseks ning pikaks. Lühike kestab kuni 7 päeva, keskmine 8–14 päeva ning pikk on 15 ja rohkem päevi.

Lühikese aklimatiseerumisperiodi jooksul langeb südamelöögisagedus ja suureneb plasmamaht (James et al., 2018; Garrett et al., 2011; Wendt et al., 2007). Keskmise aklimatiseerumisperiodil väheneb higi naatriumi (Na) ja kloori (Cl) kontsentratsioon, higieritus intensiivistub ja ühtlustub ning suureneb nahaverevarustus. (Garrett et al., 2011; Wendt et al., 2007)

Lühema aklimatiseerumisperiodi kasuks räägib see, et paljud kuumastressiga kohanemised on südame ja veresoondkonnaga seotud ning nende kohanemine toimub suhteliselt kiiresti, küll aga täielikuks kohanemiseks ei pruugi lühiajaline aklimatiseerumine piisav olla. Keskmise ja pikema aklimatiseerumisperiodi kahjuks räägib dehüdratsiooni oht, lisaks toob pikem aklimatiseerumisperiod mitmeid väljakutseid sportlaste treeningplaanidesse. (Garrett et al., 2011)

Sawka et al. (2011) on leidnud, et nelja põhilise füsioloogilise näitaja (madalam südamelöögisagedus, madalam süvatemperatuur, suurenenud higistamise inentsiivsus ja vastupidavuse suurenemine) täielikuks aklimatiseerumiseks läheb tavaliselt aega 10–14 päeva.

3.1.4. Aklimatiseerumine ja kõrge treenituse tasemega sportlased

Sageli vajavad aklimatiseerumist just tippportlased, kuid tihtilugu peavad nad toetuma uuringutele, kus katsealused on vähese treenitusega inimesed. On leitud, et tänu headele vastupidavuslikele võimetele kohanevad tippportlased kiiremini kui väiksema treenitusega

inimesed. Seetõttu võiks tipp sportlastele soovitada lühiajalist aklimatiseerumisprogrammi, mis segab vähem treeninguid ning on odavam ellu viia. (Garrett et al., 2011)

Aklimatiseerumisest võib olla suurem kasu väiksema treenitusega inimestel, kuna nende südamelöögisageduse ja süvatemperatuuri näitajad paranevad rohkem kui hästi treenitud sportlastel. Selle põhjuseks võib olla treenitud sportlaste hea südame ja veresoondkonna seisund juba enne aklimatiseerumist. (Garrett et al., 2011)

Vo₂ max näitaja paranevad rohkem hästi treenitud sportlaste hulgas (Benjamin et al., 2019). Lisaks on leitud, et hea aeroobse vormiga inimestel on soojustaluvus parem, kui seda on kehvema aeroobse vormiga inimestel. Aklimatiseerumine võib toimuda ka eneselegi teadmata nende sportlaste hulgas, kes puutuvad hooajaliselt kokku kõrge õhutemperatuuri keskkonnaga. (Garrett et al., 2011)

3.2. Keha jahutamine enne võistlust

Eeljahutamise meetodid enne koormust aitavad alandada keha naha- ja süvatemperatuuri, suurendada keha soojusmahtuvust, parandavad temperatuuri tajumist ning koormustaluvust ja keskendumisvõimet temperatuurivahemikul 18–40°C. Vahendid, mida keha eeljahutamiseks kasutatakse, on jagatud välisteks ning sisemisteks ning neid on võimalik omavahel kombineerida. (Ross et al., 2013)

3.2.1. Välised eeljahutamise meetodid

Väliseid eeljahutamise meetodeid iseloomustavad kokkupuude külma keskkonnaga (nt. külm õhk, külm vesi, jää) või materjaliga (nt. jääkülmad riidesemed). Pikaajaline külma õhuga (0–5 °C) kokkupuude on ennast tõestanud kui hea naha- ja süvatemperatuuri alandamise meetod. Seda meetodit kasutatakse enamasti kunstlikes tingimustes (nt. kliimakambrid, jahutusega ruumid), kus on kasutuses varjualune, ventilaatorid ja kliimaseade. Selle meetodi efektiivsus sõltub ümbritseva õhu temperatuurist, ruumi suuruselt ning kokkupuute perioodist. (Ross et al., 2013)

Alternatiiviks külma õhuga jahutamisele on jahutamine külma vette kastmisega. Selle meetodiga vabaneb neli korda suurem hulk soojust kui külma õhuga kokkupuutel ning tulemus sõltub kokkupuute kestvusest, vee temperatuurist ja kokkupuutel olevast kehapindalast. Kasutatakse nii kogu keha kui ka valitud kehaosade vette kastmist. Valitud kehaosade jahutamise meetodit on lihtsam teostada (nt. kandes jääkülmi riideesemeid) kui kogu keha vette kastmise meetodit ning samaväärne tulemus on võimalik saavutada ilma aktiivsete lihaskudede jahutamiseta. Alternatiiv vette kastmise tehnikale on duši või veepihusti kasutamine, nende tehnikatega on võimalik samuti naha- ja süvatemperatuuri alandada, kuid puuduvad piisavad tõendid vastupidavusliku töövõime parandamise osas. (Ross et al., 2013)

Naha kokkupuude jääga on tõhus eeljahutusstrateegia tänu jää suurele soojusjuhtivuse võimele. Naha ja seda ümbritsevate kudede kuumus imendub jäässe, mille tulemusel muutub jää sulamise protsessi abil veeks. Jää on hästi kaasaskantav ning seda on lihtsasti võimalik näiteks riideeseme sisse asetada. Jääga seotud abivahendeid on erinevaid ning enamuse neist on kaasaskantavad: jäärätikud, jäävestid, jahutusvestid, jahutusrõivad, geeliga jahutuskotid. (Ross et al., 2013)

3.2.2. Sisemised eeljahutamise meetodid

Sisemist eeljahutamise meetodit iseloomustab külma aine manustamine kehasse kas suu (nt. vedelikud) või hingamisteede (nt. külm õhk) kaudu. Külma õhu sissehingamine eeljahutusstrateegiana vastupidavusliku töövõime parandamiseks ei ole levinud meetod. (Ross et al., 2013)

Külmade jookide sissevõtmise pakub jahutust ja toitaineid (vedelikku, süsivesikuid ja elektrolüüte) samaaegselt. Külmade jookide (sh. jää) manustamine mõjutab nahatemperatuuri ja sellega seotud füsioloogilisi näitajaid, näiteks naha verevoolu ja higistamise intensiivsust. Parandab temperatuuritaju ning südame- ja veresoondkonna tööd. (Ross et al., 2013)

Joogi temperatuur mängib olulist rolli. Lee et al. (2008) uuringu tulemused näitasid, et uuringualustel, kelle joogi temperatuur oli 4 °C, paranes töövõime rohkem kui nendel, kelle

joogi temperatuur oli 10 °C. Efektiivseks alternatiiviks külmale veele on jää ja vee segu. Töövõime paranemine jääsegu manustamisel sõltub suuresti välistest temperatuurist, kõrgema temperatuuriga keskkonnas (nt. 37 °C) on kasutegur väiksem kui pisut mõõdukamas keskkonnas (nt. 25 °C) (Ross et al., 2013).

3.2.3. Kombineeritud eeljahutamise meetod

Väliste ja sisemiste eeljahutamise meetodite kombineerimine on tõestatud hea südamelöögisageduse alandaja ning temperatuuritaju parandaja. Erinevate eeljahutamise meetodite kombineerimine võib tehniliselt toimuda nii samaaegselt kui ka järjestikku. Vastupidavuslikel aladel võib enne võistlust kasulik kombinatsioon olla jääratiku kasutamine koos külma joogi manustamisega, näiteks 30 min enne koormust jahutada pea ja alakeha jääratikuga, tarvitades samal ajal külma spordijooki. (Ross et al., 2013)

3.3. Keha jahutamine võistluse ajal

Koormuse ajal keha jahutamise meetodide valik on piiratud, sest oluline on nende kergesti kaasaskantavus. Välistest jahutusmeetodidest levinumad variandid on jahutusrõvad (nt. jäävest, külmaelemendiga peakatte ja kaelakrae). Oluline on ka riietuse valik. Sisemistest jahutusmeetodidest on kasutusel vedelikud ning jääsegu. (Ross et al., 2013)

Pea ja näo jahutamine võib avaldada suuremat mõju kuumastressi alandamisel võrreldes muude kehaosade jahutamisega. Seda eelkõige tänu pea piirkonna heale verevarustusele ning termoretseptorite rohkusele. (Tyler et al., 2015)

Ainuüksi külmaelemendiga peakatte kandmine kestva koormuse ajal kõrge õhutemperatuuriga keskkonnas aitab kuumastressi vähendada. Külma vesti kasutamine on soovitatav pigem võistlusteks valmistumisel (nt. võistluseelne soojendus), mitte võistluse ajal, sest vest võib kaaluda üle 4 kg (Ross et al., 2013). Kenny et al. (2011) uurimus kinnitas, et külma vesti kasutamine koormuse ajal aitab alandada südamelöögisagedust ja süvatemperatuuri. Kaela jahutamine koormuse ajal on aidanud taluda kõrgemat süvatemperatuuri, kuid ei paranda vastupidavuslikku töövõimet (Tyler et al., 2011).

Vastupidavusalade tippvõistlustel on hoolitsetud sportlaste joogipunktide eest. Näiteks jalgratturid saavad jahutava joogi meeskonda saatvast sõidukist või näiteks eliitjooksjatele on valmis seatud spetsiaalsed lauad, millele on asetatud nende joogid. (Ross et al., 2013)

2019. aasta IAAF Doha kergejõustiku maailmameistrivõistlustel, kus võistlusaegne õhutemperatuuri näitaja oli 32.8 °C ja õhuniiskuse näitaja 60% kasutasid Eesti maratoonarid Roman Fosti ja Tiidrek Nurme võistluse eel ja ajal kombineeritud jahutamise meetodit. Enne võistlust 90 min viibisid jooksjad jahedas ruumis (15–20 °C) ning 60 min enne starti kandsid jäävesti (kuni jäävesti soojenemiseni). Võistluse ajal iga kahe kilomeetri tagant said jooksjad jääkülma veega pudeli, millega kasteti pead, käsivarsi ja ülakeha. Iga viie kilomeetri tagant said jooksjad lisaks jääpudelitele uued nokamütsid, mille sisse olid paigutatud jääkuubikud ning joogipudel koos külma süsivesikuterikka vedelikuga. Väljamõeldud strateegia töötas sedavõrd hästi, et mõlemad mehed finišeerisid esimese kolmandiku hulgas ning üks neist saavutas isikliku rekordi lähedase tulemuse.

KOKKUVÕTE

Kõrge temperatuuri mõjuväljas võrreldes normaalsete keskkonnatingimustega vastupidavuslik töövõime langeb. Võrdselt kõrge keskkonnatemperatuuri korral on vastupidavusliku töövõime langus seda ulatuslikum, mida kõrgem on õhu suhteline niiskus. Nii eksperimentaalsete laboratoorsete uuringute andmed kui ka maratonijooksu võistlustulemuste analüüs näitavad, et vastupidavusliku töövõime seisukohast optimaalne õhutemperatuur on 10–12 °C.

Väsimuse suhteliselt kiire avaldumise ja süvenemise ning sooritusvõime languse peamiseks põhjuseks kestustööl kõrge õhutemperatuuri mõjuväljas on pikemat aega peetud keha süvatemperatuuri kiiremat ja ulatuslikumat tõusu võrreldes samasuguse pingutusega normaalsetes keskkonnatingimustes. Samas USA spordifüsioloogid on viimastel aastatel näidanud, et nahatemperatuuri tõus võib olla sama oluline või isegi olulisem vastupidavuslikku sooritusvõimet limiteeriv tegur. Üldistatult lubavad teaduskirjanduse andmed väita, et kehatemperatuuri suhteliselt ulatuslik tõus kõrge temperatuuriga keskkonnas kiirendab väsimuse ilminguid nii tsentraalsel (kesknärvisüsteemi) kui ka perifeersel (skeletilihase) tasandil. Seejuures suhteliselt pikaajalisel pingutusel limiteerib sooritusvõimet rohkem tsentraalne, lühemaajalisel kõrgema intensiivsusega tööl aga perifeerne väsimus.

Sihipäraste meetmete rakendamisega on võimalik kõrge temperatuuriga keskkonna negatiivset mõju vastupidavuslikule sooritusvõimele oluliselt vähendada. Nende meetmete hulka kuuluvad aklimatiseerumine, keha jahutamine vahetult soorituse (võistluse) eel ja keha jahutamine soorituse (võistluse) ajal. Neid meetmeid võib kasutada ka omavahel kombineeritult.

Aklimatiseerumise all mõistetakse süsteemseid (laiahaardelisi) muutusi organismi talitluses, mis alandavad füsioloogiliste protsesside intensiivsust ja parandavad enesetunnet ning kehalist (ja vaimset) töövõimet kuumas keskkonnas. Nende muutuste esile kutsumiseks tuleb süstemaatiliselt (korduvalt) trennida kõrge temperatuuri mõjuväljas kas looduslikus või tehiskeskkonnas. Kliimaatilised tingimused aklimatiseerumissessioonideks

on otstarbekas valida nii, et peamised kliimategurid (õhutemperatuur ja õhu suhteline niiskus) oleksid vastavuses tulevase võistluspaiga tingimustega. Kehaliste koormuste doseerimiseks aklimatiseerumissessioonide ajal kasutatakse nelja meetodit, milleks on konstantse intensiivsusega koormuste rakendamine, sportlase poolt vabalt valitava intensiivsusega koormuste rakendamine, kontrollitud hüpertermia meetod ja kontrollitud südamelöögisageduse meetod. Aklimatiseerumise efektiivsust hinnatakse sageli muutuste alusel, mis ilmnevad südamelöögisageduse, keha süvatemperatuuri ja higierituse intensiivsuse osas standardsel vastupidavustööl, aga ka vastupidavusliku töövõime muutuse alusel kõrge temperatuuriga keskkonnas. Praktikas rakendatakse erineva kestusega aklimatiseerumisprogramme: lühiajalisi (kestus kuni 7 päeva), keskmise pikkusega (8–14 päeva) ja pikaajalisi (kestusega 15 ja enam päeva). Aklimatiseerumine on üldiselt seda ulatuslikum, mida pikema kestusega on aklimatiseerumisprogramm. Suures ulatuses teostub aklimatiseerumine 10–14 päevaga, edasised muutused erinevates füsioloogilistes on juba märgatavalt väiksema ulatusega ja avalduvad aeglasemalt.

Vastupidavuslikku töövõimet kõrge temperatuuriga keskkonnas parandab ka keha eeljahutamine vahetult soorituse (võistluse) eel ja soorituse (võistluse) ajal. Selleks võib kasutada külma õhku, külma vett, jääd ja jahutatud riideid välispidiselt, aga ka jahutatud jooke seespidiselt.

Valdav enamus olemasolevatest andmetest kõrge temperatuuriga mõjust vastupidavuslikule töövõimele ja aklimatiseerumise efektiivsusest pärinevad laboratoorsetes tingimustes teostatud uuringutest. Seega on ilmne vajadus täiendavate uuringute järele looduslikes oludes. Samuti on ilmne vajadus täiendava uurimistöö järele keha võistluseelse ja võistluse aegse jahutamise efektiivsemate meetodite väljaarendamiseks.

KASUTATUD KIRJANDUS :

1. Benjamin CL, Sekiguchi Y, Fry LA, Casa DJ. Performance Changes Following Heat Acclimation and the Factors That Influence These Changes: Meta-Analysis and Meta-Regression. *Frontiers in Physiology* 2019; 10:1448.
2. Brown SP, Miller WC, Eason JM. Exercise physiology. *Basis of Human Movement in Health and Disease*. Lippincott, Williams & Wilkins, 2006.
3. Castellani JW, Young AJ. Human physiological responses to cold exposure: Acute responses and acclimatization to prolonged exposure. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical* 2016; 196:63–74.
4. Chevront SN, Kenefick RW, Montain SJ, Sawka MN. Mechanisms of aerobic performance impairment with heat stress and dehydration. *The Journal of Applied Physiology* 2010; 109: 1989–1995.
5. Daanen HAM, Racinais S, Periard JD. Heat Acclimation Decay and Re-Induction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Sports Medicine* 2018; 48:409–430.
6. Ely BR, Chevront SN, Kenefick RW, Sawka MN. Aerobic Performance Is Degraded, Despite Modest Hyperthermia, in Hot Environments. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2010; 42:135–141.
7. Ely MR, Kenefick RW, Chevront SN, Chivevere T, Lacher CP et al. The Effect of Heat Acclimation on Sweat Microminerals: Artifact of Surface Contamination. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2013; 23:470–479.
8. Galloway SDR, Maughan RJ. Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged cycle exercise in man. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 1997; 29 (9): 1240–1249.
9. Ganio MS, Johnson EC, Klau JF, Anderson JM, Casa DJ et al. Effect of ambient temperature on caffeine ergogenicity during endurance exercise. *European Journal of Physiology* 2011; 111:1135–1146.
10. Garrett AT, Rehrer NJ, Patterson MJ. Induction and Decay of Short-Term Heat Acclimation in Moderately and Highly Trained Athletes. *Journal of Sports Medicine* 2011; 41:757–771.

11. Gonzales-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. *The Journal of Applied Physiology* 1999; 86(3): 1032–1039.
12. James CA, Richardson AJ, Willmott AGB, Gibson OR, Maxwell NS. Heat acclimation and pre-cooling, independently and combined, improve 5-km time trial performance in the heat. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 2018; 32(5):1366–1375.
13. Keiser S, Fluck D, Huppert F, Stravs A, Hilty MP, et al. Heat training increases exercise capacity in hot but not in temperate conditions: a mechanistic counter-balanced cross-over study. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology* 2015; 309: 750–761.
14. Kenefick RW, Chevront SN. Physiological adjustments to hypohydration: Impact on thermoregulation. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical* 2016; 196: 47–51.
15. Kenny GP, Schissler AR, Stapleton J, Piamonte M, Binder K et al. Ice Cooling Vest on Tolerance for Exercise under Uncompensable Heat Stress. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2011; 8: 484–491.
16. Lee JKW, Maughan RJ, Shirreffs SM. The influence of serial feeding of drinks at different temperatures on thermoregulatory responses during cycling. *The Journal of Sports Sciences* 2008; 26(6):583–90.
17. Lorenzo S, Hallwill JR, Sawka MN, Minson CT. Heat acclimation improves exercise performance. *Journal of Applied Physiology* 2010; 109:1140–1147.
18. Lorenzo S, Minson CT. Heat acclimation improves cutaneous vascular function and sweating in trained cyclists. *Journal of Applied Physiology* 2010; 109:1736–1743.
19. Maughan RJ. Distance running in hot environments: a thermal challenge to the elite runner. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 2010; 20:95–102.
20. Maughan RJ, Otani H, Watson P. Influence of relative humidity on prolonged exercise capacity in a warm environment. *European Journal of Applied Physiology* 2012; 112:2313–2321.
21. McEwen BS. The neurobiology of stress: from serendipity to clinical relevance. *Brain Research* 2000; 886:172–189.
22. Nielsen B, Hales JRS, Strange S, Christensen NJ, Warberg J, et al. Human Circulatory and Thermoregulatory Adaptations with Heat Acclimation and Exercise in a Hot, Dry Environment. *Journal of Physiology* 1993; 460:467–485.

23. Nybo L, Nielsen B. Hyperthermia and central fatigue during prolonged exercise in humans. *Journal of Applied Physiology* 2001; 91:1055–1060.
24. Nybo L. Hyperthermia and fatigue. *The Journal of Applied Physiology* 2008. 104: 871–878.
25. Périard JD, Travers GJS, Racinais S, Sawka MN. Cardiovascular adaptations supporting human exercise-heat acclimation. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical* 2015; 196:52–62.
26. Pryor JL, Johnson EC, Roberts WO, Pryor RR. Application of evidence-based recommendations for heat acclimation: Individual and team sport perspectives. *Taylor & Francis Group's journal* 2019; 6:1, 37–49.
27. Racians S , Periard JD, Karlsen A, Nybo L. Effect of Heat and Heat Acclimatization on Cycling Time Trial Performance and Pacing. *Official Journal of the American College of Sports Medicine* 2015; 47:601-606.
28. Ross M, Abbiss C, Laursen P, Martin D, Burke L. Precooling Methods and Their Effects on Athletic Performance. *Journal of Sports Medicine* 2013; 43:207–225
29. Sandsund M, Saurasunet V, Wiggen Ø, Renberg J, Færevik H, et al. Effect of ambient temperature on endurance performance while wearing cross-country skiing clothing. *European Journal of Applied Physiology* 2012; 112:3939–3947.
30. Saper CB, Scammell TE, Lu J. Hypothalamic regulation of sleep and circadian rhythms. *Nature* 2005; 437:1257–1263.
31. Saunders PU, Garvican-Lewis LA, Chapman RF, Périard JD. Special Environments: Altitude and Heat. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2019; 29:210–219.
32. Sawka MN, Chevront SN, Kenefick RW. High skin temperature and hypohydration impair aerobic performance. *Experimental Physiology* 2012; 97.3: 327–332.
33. Sawka MN, Leon LR, Montain SJ, Sanna LA. Integrated Physiological Mechanisms of Exercise Performance, Adaptation, and Maladaptation to Heat Stress. *Comprehensive Physiology* 2011; 1:1883–1928.
34. Sircar S. *Principles of Medical Physiology*. Georg Thieme Verlag, 2008.
35. Tansey EA, Johnson CD. Recent advances in thermoregulation. *Advances in Physiology Education* 2015; 39:139–148.

36. Tatterson AJ, Hahn AG, Martin DT, Febbraio MA. Effects of Heat Stress on Physiological Responses and Exercise Performance in Elite Cyclists. *Journal of Science and Medicine in Sport* 2000; 3:186–193.
37. Tipton, M. Humans: A homeothermic animal that needs perturbation? *Experimental Physiology* 2019; 104:1–2.
38. 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.
39. Tyler CJ, Sunderland C, Cheung SS. The effect of cooling prior to and during exercise on exercise performance and capacity in the heat: a meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine* 2015; 49: 7–13.
40. Tyler CJ, Reeve T, Hodges GJ, Cheung SS. The Effects of Heat Adaptation on Physiology, Perception and Exercise Performance in the Heat: A Meta-Analysis. *Journal of Sports Medicine* 2016; 46:1699–1724.
41. Tyler CJ, Sunderland C. Cooling the Neck Region During Exercise in the Heat. *Journal of Athletic Training* 2011; 46(1): 61–68.
42. 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.
43. Watson P, Hasegawa H, Roelands B, Piacentini MF, Looverie R, Meeusen R. Acute dopamine/noradrenaline reuptake inhibition enhances human exercise performance in warm, but not temperate conditions. *The Journal of Physiology* 2005; 565:873–883.
44. Wendt D, van Loon LJC, van Marken Lichtenbelt WD. Thermoregulation during Exercise in the Heat. *British Journal of Sports Medicine* 2007; 37 (8): 669–682.
45. Wilmore JH, Costill DL. Exercise in Hot and Cold Environments: Thermoregulation. In: Bahrke M, Garrett L, Rhoda J, Zych C. *Physiology of Sport and Exercise*. 3rd ed. Champaign: Human Kinetics 2004; 10: 306–324.

SUMMARY

Endurance Working Ability in high Temperature Environments

Tiidrek Nurme

Endurance performance drops when exposed to high temperature as opposed to normal environmental conditions. In case of equally high environmental temperature, the extent of reduction in endurance performance depends on the level of relative humidity. The data from both experimental laboratory studies and the analysis of marathon results indicate that in terms of endurance performance, optimum air temperature ranges from 10 to 12 °C.

For a long time, it was believed that the main reason for relatively rapid onset and progression of fatigue and reduced performance in case of continued exercise when exposed to elevated air temperature consisted in more rapid and extensive increase of core body temperature compared to similar effort under normal environmental conditions. However, in recent years, the US sports physiologists have shown that the increase in skin temperature may be as significant or even more significant factor limiting endurance performance. Broadly speaking, the scientific literature suggests that relatively extensive increase in body temperature in high-temperature environment accelerates the occurrence of the symptoms of fatigue on both central (central nervous system) and peripheral (skeletal-muscular) level. In case of relatively long-term effort, performance is more limited by central fatigue and in case of short-term high-intensity effort, performance is more limited by peripheral fatigue.

By using targeted measures, it is possible to significantly reduce negative effects of high-temperature environment on endurance performance. Such measures include acclimation, pre-cooling immediately before the performance (event) begins and mid-cooling during the performance (event). These measures can also be combined.

Acclimation means systemic (comprehensive) adaptations in bodily functions, which reduce the intensity of physiological processes and improve how one feels as well as physical (and mental) performance in hot environment. Induction of these changes requires

systemic (repeated) exercise when exposed to high temperature either in natural or artificial environment. Chosen climatic conditions for acclimation sessions should match key climate parameters (air temperature and relative air humidity) at the location of the future event. During acclimation sessions, the type of physical exercise is based on four methods: exercising at constant intensity, exercising at intensity freely chosen by the athlete, controlled hyperthermia and controlled heart rate method. Acclimation efficiency is often assessed by heart rate variability, core body temperature and sweat rate in case of standard endurance performance, but also based on change in endurance performance in high-temperature environment. In practice, there are acclimation programmes with different duration: short-term (up to 7 days), medium-term (8 to 14 days) and long-term (15 and more days) heat acclimation. Extent of acclimation generally depends on the length of acclimation programme. Acclimation usually takes place within 10 to 14 days, further changes in individual physiologies are significantly less extensive and occur at slower rate.

Endurance performance in high-temperature environment can also be improved by pre-cooling right before performance (event) and mid-cooling during the performance (event). This can be achieved by using external cooling methods such as using cold air, cold water, ice and cooled clothes, or internal cooling method such as cold drinks.

Majority of existing data regarding the impact of high temperature on endurance performance and acclimation efficiency is based on research performed under laboratory conditions. Thus, there is an obvious need for further studies in natural conditions. Furthermore, there is a clear need for further research to develop efficient pre- and mid-cooling methods.

AUTORI LIHTLITSENTS

Mina, Tiidrek Nurme (sünnikuupäev: 18.11.1985)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose "Vastupidavuslikku töövõimet mõjutavad keskkonnategurid: õhutemperatuur ja suhteline niiskus. Environmental Factors Influencing endurance ability: Air Temperature and Relative Humidity," mille juhendaja on Vahur Ööpik, reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja 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 3.0, 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.

Tartus, 24.08.2020