

TARTU ÜLIKOOL
Sporditeaduste ja füsioteraapia instituut

Rees Juurmaa

**Tehnilise alpinismi treening:
metoodika ja füsioloogilised aspektid**

Training for Technical Alpinism: Methodology and Physiological Aspects

Bakalaureusetöö

Füsioteraapia õppekava

Juhendaja: PhD, V. Ööpik

Tartu 2018

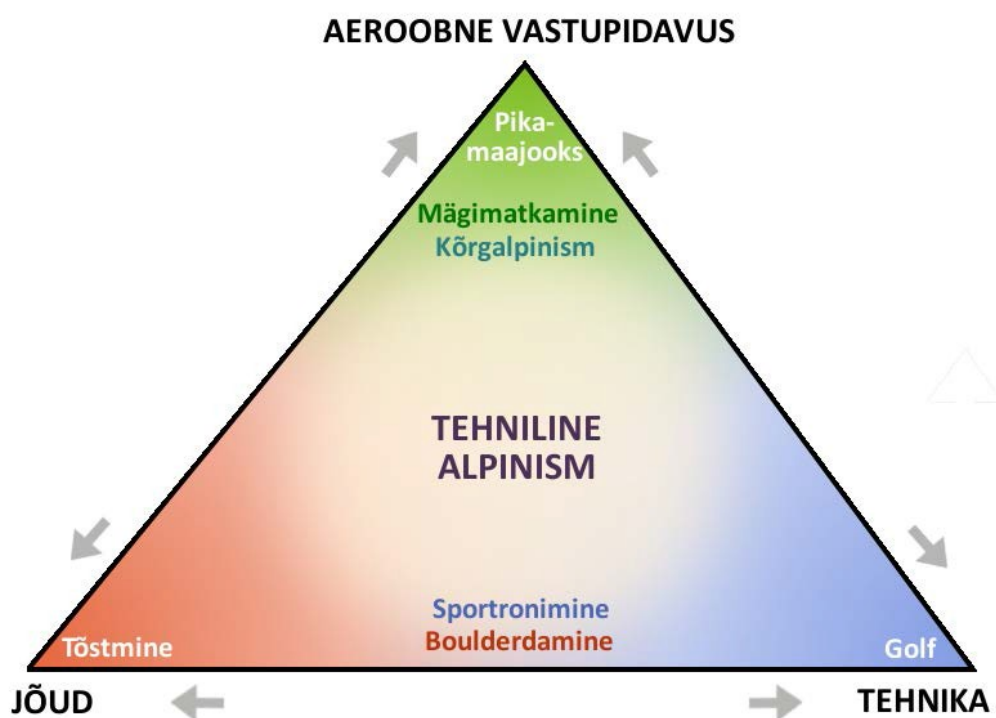
SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	3
1. TEHNILISE ALPINISMI TREENINGU PÕHIMÕTTED.....	5
1.1. Superkompensatsioon.....	5
1.2. Väsimus ja taastumine.....	6
1.3. Järjepidevus ja järkjärgulisus.....	7
1.4. Modulatsioon.....	7
1.5. Treeningute periodiseerimine.....	8
1.5.1. Taastumisperiood ja üleminekuperiood.....	8
1.5.2. Baasperiood.....	9
1.5.3. Spetsiifiline periood.....	10
1.5.4. Tippvormi ajastamise periood.....	10
2. VASTUPIDAVUSE ARENDAMISE FÜSIOLOOGILISED ALUSED TEHNILISES ALPINISMIS.....	11
2.1. Vastupidavuse intensiivsustsoonid.....	11
2.1.1. Taastav tsoon (kuni 55% max SLS).....	12
2.1.2. Tsoon 1: Üldvastupidavus (55-75% max SLS).....	12
2.1.3. Tsoon 2: „Eikellegimaa” (75-80% max SLS).....	13
2.1.4. Tsoon 3: Ülemine aeroobne tsoon (80-90% max SLS).....	13
2.1.5. Tsoon 4: Anaeroobne laktaatne tsoon (90-95% max SLS).....	13
2.1.6. Tsoon 5: Anaeroobne alaktaatne tsoon (95-100% max SLS).....	14
2.2. Vastupidavustreeningu füsioloogia ja meetodika.....	14
2.2.1. Oksüdatiivne fosforüülimine ja glükolüüs.....	15
2.2.2. Mitokondrite arvu suurendamine.....	16
2.2.3. Aeroobse ATP resünteesi raja ensüümide produktsiooni suurendamine.....	16
2.2.4. Lihasrakkude kapillaaride võrgustiku tiheduse suurendamine.....	17
2.2.5. Südame pumbafunktsiooni parandamine.....	17
2.2.6. Hapniku transpordi funktsiooni parandamine.....	18
2.2.7. Lihaskiudude rekruteerimine tehnilises alpinismis.....	18
3. JÕU ARENDAMISE FÜSIOLOOGILISED ALUSED TEHNILISES ALPINISMIS.....	20
3.1. Kehatüvelihaste jõud.....	20
3.2. Künarvarre lihasgruppide jõud.....	21
3.3. Jõutreeningute periodiseerimine.....	23
3.3.1. Üleminekuperiood.....	23
3.3.2. Maksimaalse jõu arendamise periood.....	24
3.3.3. Lihasvastupidavuse arendamise periood.....	24
4. AINEVAHETUSE FÜSIOLOOGIA TEHNILISES ALPINISMIS.....	25
4.1. Ainevahetuse seos kehalise koormuse intensiivsuse ja kestusega.....	26
4.2. Ainevahetuse seos kõrgusega merepinnast.....	27
4.3. Hüdratsioon.....	27
5. MÄESTIKUTINGIMUSTES AKLIMATISEERUMINE.....	28
5.1. Muutused verenäitajates.....	28
5.2. Muutused skeletilihastes.....	28
5.3. Kardiorespiratoorsed muutused.....	29
5.4. Muutused aeroobses võimekuses.....	29
5.5. Geneetiliste tegurite roll kõrgustega kohanemises.....	31
5.6. Aklimatiseerumise strateegiad.....	31
5.6.1. Houstoni seadus ja Nõukogude süsteem.....	31
5.6.2. Alpitelgi kasutamine.....	32
KOKKUVÕTE.....	33
KASUTATUD KIRJANDUS.....	34
Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks.....	39

SISSEJUHATUS

Sportlik ronimine hõlmab endas mitmeid erinevaid distsipliine, millest igaüks esitab väga erinevaid nõudmisi indiviidi jõule, vastupidavusele ning tehnikale (Joonis 1). Põhiliste ronimisdistsipliinidena eristatakse:

- Kaljuronimist, mis jaguneb omakorda sportronimiseks, traditsiooniliseks ronimiseks ja boulderdamiseks;
- Jääronimist;
- Alpinismi, mis jaguneb omakorda tehniliseks alpinismiks ja kõrgalpinismiks.



Joonis 1. Vastupidavuse, jõu ja tehnika tasakaal eri ronimisdistsipliinides (House ja Johnston, 2014)

Minemata eraldi süvitsi igasse distsipliini, saab välja tuua põhilised erinevused. Vastupidavuse, jõu ja tehnika skaalal paikneb kaljuronimine koos oma eri vormidega seal, kus jõud ja tehnika kohtuvad. Tõsiasi, et kaljuronimises tuleb järjest pingutada pigem lühikest aega ning sageli maksimumilähedasel võimsusel, tingib vajaduse anaeroobsel (hapnikuta) ainevahetusel põhineva võimekuse järele. Kõrgalpinismis on jällegi aeroobsel (hapnikuga) ainevahetusel põhinev vastupidavus ülekaalukalt tähtsaim omadus, jättes vajaduse jõuliste ja tehniliste liigutuste järele tagaplaanile. Tehniline alpinism paikneb aga skaala keskel, kuna tehnilised marsruudid esitavad füüsilisele kõige mitmekülgsemaid nõudeid – valmis tuleb

olla pika ajavahemiku vältel madala intensiivsusega vastupidavuslikuks tööks, lisaks sellele aga ka head kehakontrolli ja jõuvastupidavust nõudvaks tehniliseks ronimiseks marsruudi võtmelõikudel.

Kuigi igasugune ronimine on väga tehniline liigutustegevus, keskendub käesolev töö teadlikult vaid ühe ronimisdistsipliini – tehnilise alpinismi – sooritust mõjutavatele põhilistele kehalistele võimetele, jättes välja spordiala tehnika. Neid võimekuse aspekte on autori hinnangul neli: vastupidavus, jõud, kõrgusega kohanemine ja organismi ainevahetus.

Esimesed kaks, vastupidavus ja jõud, on kehalised võimed, mis on väga hästi treenitavad. Seetõttu antakse töö esimeses peatükis kõigepealt lugejale ülevaade tehnilise alpinismi treeningprotsessi üldistest põhimõtetest. Teine ja kolmas peatükk kirjeldavad spordifüsioloogia vaatepunktist, milline on vastupidavuse ja jõu arendamise meetoodika tehnilises alpinismis. Organismi ainevahetusele ja kõrgusega kohanemisele on pühendatud töö neljas ja viies peatükk.

Bakalaureusetöö autor on ise aktiivne erinevates ronimisdistsipliinides, eriti tehnilises alpinismis. Nii ise mägedes käies, kui ka treenerina teisi selleks ette valmistades, peab autor oluliseks seda, et kehaline ettevalmistus mägedesse minekuks oleks terviklik ning teaduspõhine, rajanedes sealhulgas ka teadmistel füsioloogiast. Autori isiklik arvamus on, et isegi kõrgel tasemel tehnilise alpinismiga tegelejate teadlikkus oma spordialaga seonduvatest füsioloogilistest aspektidest ja treeningu meetoodikast on enamasti puudulik. Kuigi tegu on kehaliselt ülimalt nõudliku harrastusega, on tehniline alpinism ala, mille esimene ja seni ainuke spordifüsioloogiline käsitus ilmus alles aastal 2014: House'i ja Johnstoni mahukas õpik „Training for The New Alpinism”. Tuginedes nii sellele allikale kui eri andmebaasidest leitud suurele hulgale teadusartiklitele, on käesoleva töö eesmärgiks anda terviklik ülevaade sooritusvõime mõjutamisest tehnilises alpinismis, mis võimaldaks kõigil selle spordialaga tegelejal paremini ja ohutult mägedes oma potentsiaali realiseerida.

Märksõnad: tehniline alpinism, füsioloogia

Key words: technical alpinism, physiology

1. TEHNILISE ALPINISMI TREENINGU PÕHIMÕTTED

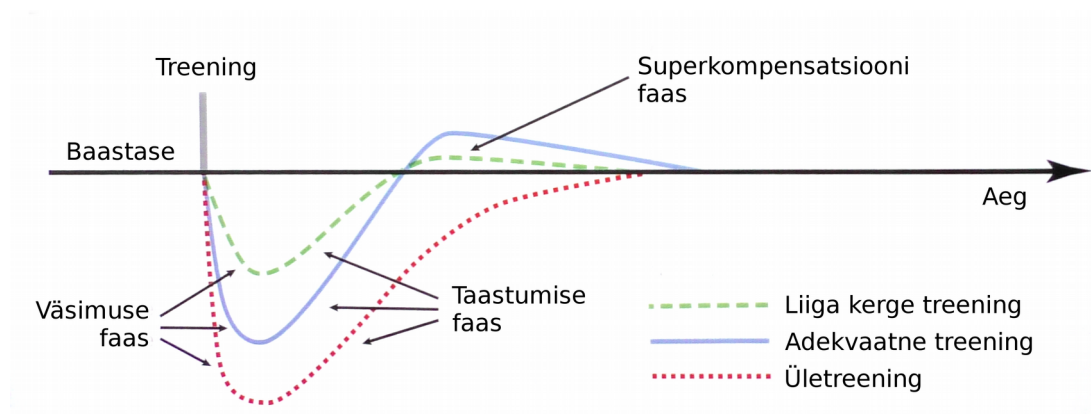
Alpinismialases ettevalmistuses eristatakse kahte tüüpi treeningut:

- Baastreening (kombinatsioon jõu- ja vastupidavustreeningust), mille eesmärgiks on luua toetav baas spetsiifiliseks treeninguks;
- Ronimisspetsiifiline treening (ronimine või seda modelleerivad harjutused), mille eesmärgiks on valmistuda spetsiifilisteks nõudmisteks, mida esitab ronimine alpinistlikel marsruutidel (House ja Johnston, 2014).

Mis tahes spordiala treeningu üks põhitõdesid on see, et spordialaspetsiifiline treening peab rajanema väga heal tasemel baastreeningule. Alpinismitreeningute struktuuri aluspõhimõteteks on superkompensatsioon, järjepidevus, järkjärgulisus ja modulatsioon (House ja Johnston, 2014).

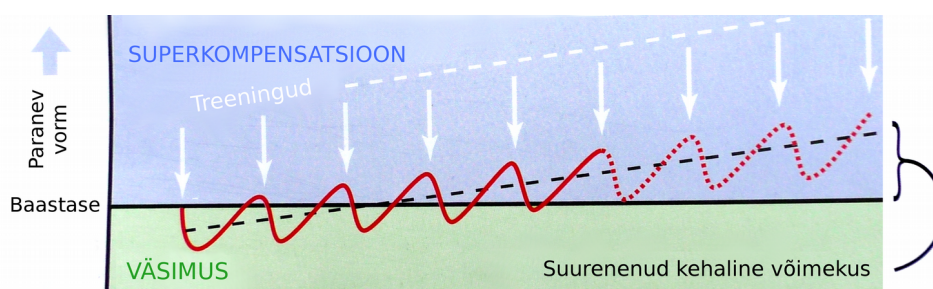
1.1. Superkompensatsioon

Treening on struktureeritud kehalise koormuse rakendamine, mis vaheldub puhkusega. Treenitusseisund tekib, kui panna üks või mitmed keha süsteemidest (närvilihasaparaat, südame- ja vereringeelunkond, hingamissüsteem) läbi kehalise koormuse kriisiolukorda ning lasta tal seejärel läbi loomulike protsesside piisavalt taastuda. Piisav kehaline koormus saadab organismile signaali, et treeningu käigus kriisiolukorda pandud süsteemid ei vasta struktuuriliselt ega funktsionaalselt soovitud tasemele. Organism peab sellest järeldama, et nimetatud süsteemid ei täida oma ülesannet ja on liialt lähedal vigastusele. Seetõttu toimub treeningujärgse puhkuse ajal koormatud süsteemide taastumine algsest kõrgemale tasemele – seda nimetatakse superkompensatsiooniks (Joonis 2).



Joonis 2. Treeningefekti näited (House ja Johnston, 2014)

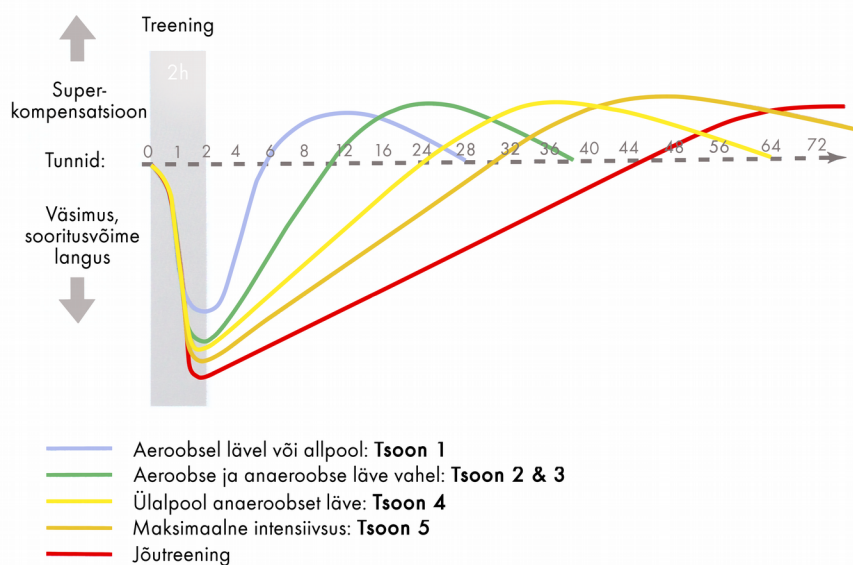
Nagu näha jooniselt 3, siis rakendades uue treeningkoormuse superkompensatsiooni seisundis, võimaldab see organismil pidevalt adapteeruda, viies baastaseme järk-järgult kõrgemale (House ja Johnston, 2014).



Joonis 3. Pikaajaline treeningefekt (House ja Johnston, 2014)

1.2. Väsimus ja taastumine

Et treeningefekti esile kutsuda, on vaja tekitada läbi treeningkoormuse organismile stressiseisund ja väsimus. Vastavalt superkompensatsiooni põhimõttele vajab organism pärast väsimuse teket perioodi taastumiseks (Phillips, 2009). Eeldusel, et organism saab selle perioodi jooksul piisavalt kvaliteetset toitu ja und, suudavad treeningkoormuse käigus koormatud süsteemid kohaneda ja tugevneda. Suur osa kohanemisprotsessidest leiab aset magamise REM-une faasis, mil ajuripatsi poolt sünteesitakse anaboolse toimega kasvuhormooni somatotropiini (House ja Johnston, 2014). Vaid küllaldase taastumise abil suudab organism saavutada kõrgema funktsionaalse taseme võrreldes varasemaga.



Joonis 4. Taastumise ja superkompensatsiooni ajad pärast 2-tunnist treeningut eri intensiivsustel (House ja Johnston, 2014; Olbrecht, 2015)

Jooniselt 4 on näha, et taastumise ja superkompensatsiooni aeg pärast treeningut varieerub suuresti, sõltudes nii indiviidi treenitusest, kui ka konkreetse treeningu intensiivsusest. Korduvad treeningud ilma piisava taastumisajata viivad pikas perspektiivis ületreeningu, kehalise võimekuse languse ja vigastusteni (Phillips, 2009).

1.3. Järjepidevus ja järkjärgulisus

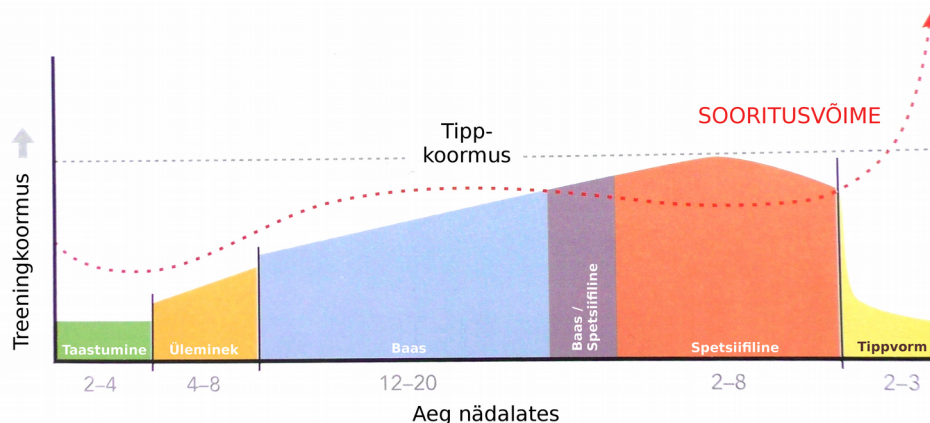
Treeningute järjepidevuse vajalikkus tuleneb sellest, et organism toodab, hoiab ja säilitab ainult seda, mida ta kasutab ja vajab. Muutused saavad toimuda vaid järjepideva ja kindla sagedusega koormuse rakendamise tagajärjel (Hickson, 1981). Treeningkoormusi (jõuharjutuste raskusaste, vastupidavustreeningute pikkus ja intensiivsus) tuleb tõsta, kuid seda on mõistlik teha vaid järk-järgult, võimaldamaks organismil koormusega harjuda. Kui organism on ühel tasemel treeningkoormusega juba harjunud, tuleb koormuste baastaset veidi tõsta. Treeningkoormuste tõstmise kiirus tehnilises alpinismis sõltub ka sellest, kas tegu on algaja või edasijõudnuga. Algajad võivad aasta lõikes suurendada treeningmahtusid kuni 25%, samas kui edasijõudnud, kes on aastatega jõudnud juba oma keha maksimumvõimekusele palju lähemale, on maksimaalne treeningmahtude tõstmise määr 10% (House ja Johnston, 2014). Kõrgeimal tasemel sageli enam aastases treeningmahus muutusi ei tehta – edasimineku toimub kõrgema intensiivsusega ja spetsiifilise treeningu osakaalu suurendamise tagajärjel.

1.4. Modulatsioon

Tulemuslik alpinismitreening on tsükliline ehk järgib modulatsiooni põhimõtet: raskemale treeningule järgneb taastumine (kergem treening), millele omakorda järgneb taaskord raskem treening. See võimaldab kriisiolukorra järgselt anda organismile võimaluse taastada oma süsteemide bioloogiline tasakaal, et seejärel saaks need süsteemid panna uude, veel kõrgema treeningkoormusega kriisiolukorda (Bompa ja Haff, 2009). Empiirilistele andmetele tuginedes kasutatakse sageli 3:1 suhtega treeningkoormuste modulatsiooni (3 nädalat kasvav koormus → 1 taastav nädal). Seejuures on oluline, et kergele ehk taastavale nädalale järgneva uue tsükli esimene nädal algaks juba veidi kõrgemalt tasemelt kui eelmise tsükli esimene nädal (baastaseme tõus), kuna eelmine tase pole enam piisav, et organismis edasisi muutusi esile kutsuda – see, mis enne oli raske, on ühel hetkel juba rutiinne (Bompa ja Haff, 2009).

1.5. Treeningute periodiseerimine

Tehnilises alpinismis on üks makrotsükkel ehk treeningaasta jaotatud erinevateks treeningperioodideks, millest igaühel on kindel ajaline kestus ja ülesanne. See on struktureeritud lähenemine, milles iga järgmine treeningperiood toetub nendele perioodidele, mis juba varemalt läbitud on. Nagu näha jooniselt 5, eristatakse kronoloogilises järjekorras järgmisi treeningperioode: taastumine, üleminek, baas ja spetsiifiline (House ja Johnston, 2014).



Joonis 5. Treeningperioodid tehnilises alpinismis (House ja Johnston, 2014)

1.5.1. Taastumisperiood ja üleminekuperiood

Mägironimisretk, millega kulmineerub iga makrotsükkel ning kuhu on ajastatud indiviidi tippvorm, on kehaliselt, psühholoogiliselt ja emotsionaalselt kurnav ettevõtmine. Seetõttu tuleb pärast iga sellist retke ning enne järgmisele makrotsüklile asumist võtta ette vähemalt 1...3-nädalane taastumisperiood, eesmärgiga vältida tsentraalse väsimuse teket (House ja Johnston, 2014). Sel perioodil tuleb hoida vaid kerget kehalist aktiivsust muude, ronimisväliste, tegevuste kaudu.

Üleminekuperiood on oluline selleks, et iga treeningtsükli alguses uute koormuste ja regulaarsete treeningutega uuesti järk-järgult harjuda ning valmistada organism võimalikult sujuvalt ette järgnevateks suuremateks koormusteks. Väga hea treenitusega sportlastel võib see periood olla nii lühike kui 2..3 nädalat, muudel juhtudel peaks see kestma aga vähemalt 6..8 nädalat (House ja Johnston, 2014). Järgides järk-järgulisuse põhimõtet, peaks perioodi esimesel kolmel nädalal treeningute maht olema mitte rohkem kui 50% eelmise aasta keskmisest nädalasest mahust. Nädalatel 4-5 tuleks juba treeningmahtu tõsta 10%, nädalatel

6-7 aga 5%. 8-ndal nädalal tuleks mahtu langetada 50%, et minna superkompensatsiooni efekti pealt vastu järgmisele treeningperioodile (House ja Johnston, 2014).

Üleminekuperioodi vastupidavustreeningute eesmärgiks on alustada organismi aeroobse võimekuse baasi tugevdamist läbi madala intensiivsusega pikkade treeningute. Selle perioodi jõutreeningu eesmärkideks on arendada põhijõudu läbi variatiivsete harjutuste, mis haaravad kõiki suuri lihasgruppe, aidates luua rohkem ja täiuslikumaid neuromuskulaarseid ühendusi (House ja Johnston, 2014).

1.5.2. Baasperiood

Baasperioodi eesmärgiks on parandada kõiki füsioloogilisi omadusi, mis mõjutavad sooritusvõimet tehnilises alpinismis. Nagu igal vastupidavusalal, on ka tehnilises alpinismis baasperioodi põhifookuseks maksimeerida aeroobset võimekust (House ja Johnston, 2014). Selle perioodi vältel on võtmetähtsusega treeningute maht, mitte intensiivsus. Baasperioodi esimese nädala treeningmaht peaks olema 10% suurem kui äsjalõppenud ülemineku perioodi viimane kõrge mahuga nädal. Sealt edasi tuleb treeningmahtude suurendamises järgida järjepidevuse, järk-järgulisuse ja modulatsiooni põhimõtteid (House ja Johnston, 2014). Mida rohkem sel perioodil madala kuni mõõduka intensiivsusega treenida, seda suurem on baas, millele üles ehitada järgnevad spetsiifilised treeningud ning nendest ka võimalikult palju kasu saada. Selle perioodi jõutreeningute fookus nihkub põhijõu arendamiselt maksimaalse jõu arendamisele, eesmärgiga suurendada jõureservi, mille pinnalt järgmisel treeningperioodil tugevdada lihasvastupidavust (House ja Johnston, 2014).

Väga hea treenitusega sportlaste puhul võib selle perioodi pikkus olla 8...10 nädalat, väiksema treenitusega sportlaste puhul aga vähemalt 12 nädalat. Juhul, kui puudub varasem vastupidavustreeningute taust, võib baasperiood olla ka 16...24 nädalat pikk või lausa ainus treeningperiood terves makrotsükli. Selle perioodi vältel on treeningintensiivsuseks valdavalt Tsoon 1 ehk 55-75% maksimaalsest südamelöögisagedusest (edaspidi SLS) ning vaid kohati Tsoon 2 (75-80% max SLS) ja Tsoon 3 (80-90% max SLS) (House ja Johnston, 2014). Pärast 12-nädalast treeningut hakkab avalduma baasperioodi efekt: aeroobse töövõime paranemine kapillaaride võrgustiku tihenemise ja mitokondrite arvu suurenemise tagajärjel (House ja Johnston, 2014).

1.5.3. Spetsiifiline periood

Juba baasperioodi lõpus hakkab alpinisti treeningutesse lisanduma üha rohkem ronimisspetsiifilisi treeningvahendeid, et simuleerida füsioloogilist stressi ja tingimusi, mis on omased mägede keskkonnale, kuhu hiljem soovitakse ronima minna. Spetsiifilise treeningu perioodi algus kattub osaliselt baastreeningu perioodi lõpuga, et tagada võimalikult sujuv üleminek üldistelt treeningutelt spetsiifilistele. Tehnilise alpinismi puhul on spetsiifilise perioodi põhieesmärgiks lihasvastupidavuse arendamine. Sel perioodil peavad treeningud simuleerima võimalikult täpselt seda tüüpi ronimist, milleks valmistatakse. See tähendab, et rasked treeningpäevad peavad üldreeglina olema sama rasked, aga ideaalis veel oluliselt raskemad, kui kõige kurnavamad ronispäevad, mis mägedes ees seisavad. Mida raskemaks muutuvad spetsiifilised treeningud, seda vähem intensiivsemaks lähevad üldised treeningud, täites ainult üldvastupidavuse säilitamise ja taastumise eesmärgi (House ja Johnston, 2014).

Selle treeningperioodi kestus võiks olla 2...8 nädalat, sõltuvalt sportlase varasemast kogemusest ja treenitusest. Mida kõrgemal tasemel on sportlane, seda suuremat rõhku tuleb panna spetsiifilisele treeningule, et tagada jätkuv areng. Sportlastele, kellel aga pole veel mitmete mägedes veedetud aastate jooksul jõudnud akumuldeeruda tugevat üldkehalist võimekust ja kõrget aeroobset baastaset, tuleb pikas perspektiivis rohkem kasuks hoolikalt läbiviidud baasperiood. Sest nagu mainitud – mida suurem indiviidi aeroobne baas, seda tulemuslikumad on ka spetsiifilise treeningperioodi jõupingutused (House ja Johnston, 2014).

1.5.4. Tippvormi ajastamise periood

Selle perioodi eesmärgiks on lasta organismil täielikult taastuda ning realiseerida eelnenud treeningkoormuste põhjal maksimaalne superkompensatsiooni seisund (House ja Johnston, 2014). Sel perioodil langeb nii treeningute maht kui intensiivsus, mille tulemusena tekib makrotsükli tippvorm. Superkompensatsiooni maksimaalse efekti avaldumine sõltub eelnenud treeningperioodide mahust ja intensiivsusest, samuti taastumisprotsessi kvaliteedist. Kui eelnev ettevalmistus on olnud küllaldane, kestab tippvorm kauem, ent kui makrotsükkel on olnud lühem, on ka tippvorm väiksema efektiga. Jätkuvate treeningute toel on tippvormi võimalik hoida kuni 6 nädalat (House ja Johnston, 2014). Dirks *et al.* (2016) on näidanud, et juba 7-päevase täieliku kehalise inaktiivsuse tagajärjel toimub skeletilihaste mitokondrite funktsionaalsuse vähenemine ning Ringholm *e.t al* (2011) lisasid, et nädalase voodipuhkusega

kaasneb mitokondriaalse DNA sisalduse vähenemine 15%. Seega tuleb aeroobset võimekust tippvormi perioodil alal hoida, milleks piisab kahest pikast, madala intensiivsusega (Tsoon 1 ja 2) aeroobsest treeningust nädalas (House ja Johnston, 2014).

2. VASTUPIDAVUSE ARENDAMISE FÜSIOLOOGILISED ALUSED TEHNILISES ALPINISMIS

Vastupidavus laiemalt on defineeritud kui võime panna vastu väsimusele nii lihassüsteemi kui ka kardiovaskulaarsel tasandil (Kenney *et al.*, 2015). Tehnilise alpinismi näitel tähendab vastupidavus võimet panna pidevalt ronides vastu väsimusele minimaalselt mitmeid tunde, aga sageli mitmeid päevi (Twight, 1999). Ronimine, nagu iga liigutustegevus, on lihaskontraktsiooni tulemus ning kontraktsiooniks vajalik energia jõuab lihasrakuni läbi ainevahetuse, mis võib olla kas anaeroobne (hapniku osaluseta) või aeroobne (hapniku osalusel). Anaeroobne ainevahetus käivitub olukordades, kus on vaja sooritada liigutusi maksimumilähedasel võimsusel ning suhteliselt lühikest aega. Aeroobne ainevahetus võimaldab aga töötada mõõdukal võimsusel väga pikka aega. Seda nimetatakse aeroobseks vastupidavuseks (Romijn *et al.*, 1993).

2.1. Vastupidavuse intensiivsustsoonid

Seda, millised reaktsioonid kehalise koormuse käigus ainevahetuses aset leiavad, reguleerib vastupidavustreeningute intensiivsus. Lihtsaim viis jälgida ja objektiviseerida treeningute intensiivsust, on jälgida oma südamelöögisagedust (SLS). Mitte küll 100% täpne, kuid oma kaasaskantavuse tõttu siiski väga kasulik abivahend treeningute SLS monitoorimiseks, on pulsivöö. Teades sportlase maksimaalset SLS (täpseima tulemuse annab koormustest spordiarsti järelvalve all), saab kõik vastupidavustreeningud lihtsustatult jagada viide erinevasse intensiivsustsooni, nagu esitatud Tabelis 1 (House ja Johnston, 2014).

Tabel 1. Vastupidavuslike koormuste intensiivsustsoonid (House ja Johnston, 2014)

	INTENSIIVSUS	LIGIKAUDNE % MAX SLS	ENESETUNNE	HINGAMINE
AEROOBNE	Taastav	<55%	Väga kerge	Võimaldab vestelda
	Tsoon 1: Üldvastupidavus	55-75%	Kerge	Nina kaudu
	Tsoon 2: „Eikkellegimaa”	75-80%	Keskmine	Ühtlaselt sügav
	Tsoon 3: Ülemine aeroobne tsoon	80-90%	Mõnusalt raske	Lühilapsed
ANAEROOBNE	Tsoon 4: Anaeroobne laktaatne	90-95%	Raske	Ei saa rääkida
	Tsoon 5: Anaeroobne alaktaatne	95-100%	Maksimaalne	--

2.1.1. Taastav tsoon (kuni 55% max SLS)

Seda väga madalat intensiivsust kasutatakse taastumiseks suurematest koormustest. Taastavas tsoonis läbi viidud treeningute eesmärgiks on kiirendada treeningute käigus kahjustatud struktuuride taastumist, et naasta võimalikult kiiresti põhitreeningute juurde (House ja Johnston, 2014).

2.1.2. Tsoon 1: Üldvastupidavus (55-75% max SLS)

Selle tsooni ülemist piiri nimetatakse aeroobseks läveks – füsioloogiliselt on tegu sellise koormuse intensiivsusega, mille puhul vere laktaadi tase tõuseb üle baastaseme. Võimsus, mida indiviid suudab arendada aeroobsel lävel on tema aeroobse süsteemi kõige olulisem näitaja (House ja Johnston, 2014) ning seega ka alpinisti vastupidavuse kõige olulisem mõõdupuu. Et tehnilises alpinismis toimub aktiivsus allpool aeroobset läve, annab selles intensiivsustsoonis treenimine kõige paremaid tulemusi. Selle treeningu tulemusena tõuseb indiviidi aeroobne lävi ehk alpinist on võimeline säilitama võimalikult kõrget submaksimaalset ronimise kiirust pikemat aega. Teisisõnu – tempo on kiirem väiksema energeetilise kulu juures (House ja Johnston, 2014). See intensiivsustsoon võimaldab mitmeid erinevaid treeningvahendeid: nii ronimine, matkamine kui jooksmine annavad häid tulemusi. Nagu mis tahes vastupidavusspordis, nii on ka alpinismis tõestust leidnud põhimõtte, et kõige

paremaid tulemusi näitavad need vastupidavussportlased, kel on suur aeroobne vastupidavus (House ja Johnston, 2014).

2.1.3. Tsoon 2: „Eikellegimaa” (75-80% max SLS)

Intensiivsustsoon, mida vahel kutsutakse „mustaks auguks”, kuna vähemtreenitud indiviididele on see liiga intensiivne, et olla kerge, ent samas ei anna ka kõrge intensiivsusega treeningu positiivseid efekte. Kui indiviidil pole varasemast tugev vastupidavustreeningute taust, tuleks seda intensiivsustsooni pigem vältida (House ja Johnston, 2014).

2.1.4. Tsoon 3: Ülemine aeroobne tsoon (80-90% max SLS)

See on ülemine intensiivsus, mil ainevahetuses on veel ülekaalus aeroobsed energiatootmise protsessid (House ja Johnston, 2014). Kui sellel intensiivsusel treenimisele eelneb piisav treenitus madalamal intensiivsusel, annab see väga suurt kasu indiviidi aeroobsele võimekusele (House ja Johnston, 2014). Selle tsooni ülemine piir on anaeroobne lävi – kehalise koormuse intensiivsus, mille puhul laktaadi kontsentratsioon veres tõuseb 4 millimoolini liitris (Ööpik *et al.*, 2017).

2.1.5. Tsoon 4: Anaeroobne laktaatne tsoon (90-95% max SLS)

Selles intensiivsustsoonis domineerivad skeletilihase energiavarustuses adenosinotriifosfaadi ehk ATP resünteesi anaeroobsed mehhanismid, peamiselt glükoolüütiline fosforüülimine. See tähendab, et selles intensiivsustsoonis saab organism ühtaegu nii maksimaalse stiimuli aeroobsele ainevahetusele kui ka märkimisväärse koormuse anaeroobse süsteemile (House ja Johnston, 2014). Vahel viidatakse sellel intensiivsusel treenimisele ka kui VO₂ max treeningule, sest hea treenitusega indiviididele annavad intervalltreeningud selles intensiivsustsoonis maksimaalse aeroobse võimsuse parandamise seisukohalt kõige paremaid tulemusi (House ja Johnston, 2014). Spordialadel, mille sooritus kestab vähem kui kaks tundi, on sellel intensiivsusel treenimine üks edu võtmekomponente. Kuid alpinismis, kus pingutus kestab vähemalt 6-8 tundi, langeb selles tsoonis treenimise kasutegur nulli lähedale, mistõttu oleks parem investeerida see treeningaeg madalama intensiivsusega (Tsoon 1 ja Tsoon 3) töötamisele (House ja Johnston, 2014).

2.1.6. Tsoon 5: Anaeroobne alaktaatne tsoon (95-100% max SLS)

Tegu on maksimaalse intensiivsusega, mis ainevahetuslikult põhineb kreatiinfosfaadi mehhanismil ning mida on võimalik säilitada vaid 10-15 sekundit (House ja Johnston, 2014). See on efektiivne treeningvahend näiteks ülesmäge matkamisel vajalike suurte lihasgruppide jõu, võimsuse ja jõuvastupidavuse arendamiseks, aga ka maksimaalset jõudu nõudvate raskete ronimisliigutuste sooritamiseks.

2.2. Vastupidavustreeningu füsioloogia ja meetoodika

Organism adapteerub spetsiifiliselt sellele, millised treeningud on olnud. Seetõttu tuleb lihaseid treeningu käigus koormata väga sarnastel viisidel, nagu nad peavad kasutust leidma selle konkreetse spordiala kontekstis – alpinismi puhul näiteks mägedes ronides. Alpinistlikus vastupidavustreeningus tuleb tugevalt prioritseerida harjutusi keharaskusega, mis oleksid võimalikult spetsiifilised sellele, mida mägedes vaja läheb – suur liigete liikuvusulatus, koordinatsioon, tasakaal ja liigutismustri varieeruvus. See tähendab jooksmist ja matkamist vahelduval pinnamoel, eriti ülesmäge (House ja Johnston, 2014).

Alpinistliku vastupidavustreeningu põhieesmärk on tekitada võimalikult tugev aeroobne baas. Aeroobse baasi puhul tuleb vaadelda kahte põhikomponenti:

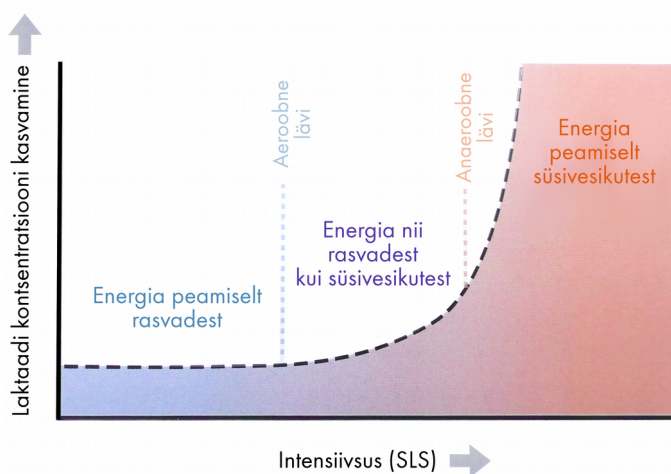
- VO_2 max – suurim hapniku hulk ajaühikus, mida indiviidi organism suudab tarbida intensiivsel kehalisel tööl, mis haarab suuri lihasgruppe (Ööpik *et al.*, 2017);
- Anaeroobne lävi – kehalise koormuse intensiivsus, mille puhul laktaadi kontsentratsioon veres tõuseb 4 millimoolini liitris (Ööpik *et al.*, 2017).

Nende kahe komponendi koosmõju määrab indiviidi aeroobse võimekuse. Kui VO_2 max juurdekasv jõuab treenimatul inimesel juba 1,5 aasta pärast platoole, kus jätkuv suurenemine lakkab, siis anaeroobset läve on sihipäraste vastupidavustreeningutega võimalik tõsta suhteliselt rohkem: arenguplatoos saabub 3–4 aastaga (Ööpik *et al.*, 2017). Just anaeroobse läve tõstmine on iga vastupidavusspordiala, nii ka tehnilise alpinismi puhul, kõige olulisemaks eesmärgiks (House ja Johnston, 2014). Lisaks mõjutab vastupidavuslikku töövõimet suuresti ka liikumise ökonoomsus, mis on arendatav veel aastaid pärast seda, kui nii VO_2 max kui ka anaeroobse läve tõus on jõudnud platoole (Ööpik *et al.*, 2017).

2.2.1. Oksüdatiivne fosforüülimine ja glükolüüs

Skeletilihaste energiavarustuse tunde kestva mõõduka intensiivsusega pingutuse vältel tagab oksüdatiivne fosforüülimine ehk ATP aeroobne resünteesis. ATP aeroobse resünteesi raja peamiseks komponendiks on tsitraaditsükkel (ehk Krebse tsükkel) ja hingamisahel. Nii tsitraaditsükkel kui ka hingamisahel kujutavad endast ensüümide süsteemi, mis osalevad süsivesikute, rasvhapete ja aminohapete oksüdeerimisel ning vabaneva energia arvel ATP genereerimisel (House ja Johnston, 2014). ATP aeroobne resünteesis on suhteliselt aeglane protsess, mis seab piirangu sellele, kui suurt võimsust lihasrakud genereerida suudavad. See-est võimaldab see ainevahetusrada pikka aega kestvaid madala intensiivsusega kehalist tööd, kasutades rasvu põhilise energiaallikana (Romijn, 1993).

Kui kehaline töö muutub intensiivsemaks, hakkab organism üha enam rasvade asemel energiaallikana kasutama süsivesikuid anaeroobse glükolüüsi teel (Romijn, 1993). Kasutades süsivesikuid energiaallikana, saab indiviid genereerida suuremat võimsust, kuid paraku mitte pika aja vältel, sest organismi glükogeeni varud on võrreldes rasvavarudega väga väikesed (Romijn, 1993). Lisaks tekib glükolüüsi tulemusena piimhapet, mis omakorda laguneb laktaadiks ja vabadeks vesinikioonideks. Kui vesinikioone kuhjub kiiremini, kui laktaadi puhversüsteem suudab neid neutraliseerida, tekib rakus happeline keskkond, mille tulemusena tekib väsimus, mis pärsib töövõimet (Mainwood ja Renaud, 1985). Kui lihasku normaalne pH langeb 7,1 pealt 6,9-le hakkab glükolüüs pidurduma. Kui pH langeb 6,4 peale, siis glükolüüs lakkab sootuks (Spriet *et al.*, 1987; Hargreaves ja Spriet, 2006). Lähenedes anaeroobsele lävele, saab organism energiat ülekaalukalt peamiselt süsivesikute arvelt ning ka laktaaditase tõuseb kiiresti, nagu näha jooniselt 6.



Joonis 6. Intensiivsuse, ainevahetusradade ja laktaadi kuhjumise seos (House ja Johnston, 2014)

Eelnevast järeldub, et alpinistile on kõige efektiivsem ja jätkusuutlikum viis ATP sünteesiks aeroobne rasvade lõhustamine. Nõnda on alpinistliku vastupidavustreeningu keskne küsimus, kuidas toota aeroobselt rohkem ATP-d ja kiiremini? Vastus sellele küsimusele peitub järgmistes faktorites (House ja Johnston, 2014):

- Mitokondrite arvu suurendamine;
- Aeroobse ATP resünteesi rajal toimivate ensüümide produktsiooni suurendamine;
- Lihasrakkude kapillaaride võrgustiku tiheduse suurendamine;
- Südame pumbafunktsiooni parandamine;
- Vere hapniku transportimise võimekuse parandamine (vere hemoglobiini massi suurendamine).

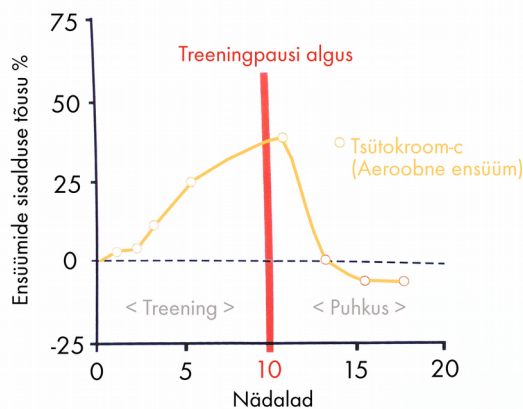
2.2.2. Mitokondrite arvu suurendamine

Mida suurem on mitokondrite sisaldus lihasrakus, seda rohkem on kohti, kus aeroobne ainevahetus saab aset leida, tuues endaga kaasa intensiivsema ATP sünteesi (House ja Johnston, 2014). Lihasrakk saab suurenenud ATP sünteesi arvelt kontrakteeruda suurema jõuga, kauem ning aeglasema väsimisega. Mitokondrite biogenees hakkab reaktsioonina kehalisele koormusele lihasrakkudes toimuma juba mõne minuti jooksul pärast treeningstiimulit ja lakkab umbes 12 tundi pärast koormuse lõppu, andes potentsiaalselt tulemuseks mitokondrite massi kahekordistumise pikemas perspektiivis (Davies *et al.*, 1981). Kõige efektiivsem viis mitokondrite biogeneesi stimuleerida on läbi aeroobse tegevuse, mis on piisava kestusega ning läbi viidud piisava sagedusega. Mida sagedamini ning pikema kestusega lihasrakud aeroobset koormust saavad, seda rohkem mitokondrite arv suureneb. Harms ja Hickson (1983) näitasid peaaegu lineaarset seost aeroobse töö kestuse ja mitokondrite koguse suurenemise vahel: aeroobse töö kahekordistamine tõi kaasa mitokondrite kogumassi suurenemise 40-100% võrra.

2.2.3. Aeroobse ATP resünteesi raja ensüümide produktsiooni suurendamine

Tsütokroom-c on üks mitmetest ensüümidest, mis toimivad aeroobsel ATP resünteesi rajal. Nagu näha jooniselt 7, intensiivistub tsütokroom-c süntees reaktsioonina aeroobsele treeningkoormusele (Harms ja Hickson, 1981). Uuringud on näidanud, et see ensümaatiline adaptatsioon ilmneb juba mõne minuti jooksul pärast treeningstiimuli rakendamist, kuid

lakkab isegi pärast mõnepäevast treeningpausi. Treenides liiga palju ning liiga suure intensiivsusega, leiab aeglastes lihaskiududes aset aeroobsel ATP resünteesi rajal toimivate ensüümide kontsentratsiooni vähenemine, mis väljendub aeroobse võimekuse languses (House ja Johnston, 2014).



Joonis 7. Tsütokroom-c taseme sõltuvus treeningust (House ja Johnston, 2014; Hickson, 1981)

2.2.4. Lihaskiudude kapillaaride võrgustiku tiheduse suurendamine

Mida lähemal on kapillaarid lihaskiududele, seda väiksema vahemaa peab hapnikumolekul difusiooni teel läbima, et jõuda mitokondrini. Mida rohkem kapillare ja mida tihedam on nende võrgustik, seda kiiremini jõuab hapnik lihaskiududele. Mida rohkem hapnikku, seda suurem on aeroobse ainevahetuse toimimise kiirus. Kapillaaride võrgustiku tiheduse suurenemine toimub lihaskiududes vastusena treeningule (Billat *et al.*, 2003). Uute kapillaaride kasvamine eeldab nädalate ning kuude pikkust järjepidevat treeningut.

2.2.5. Südame pumbafunktsiooni parandamine

Kui lihaskiud vajavad koormusega toimetulekuks rohkem hapnikku, saadavad nad impulsi peaaugusse, kust omakorda saadetakse signaal südamele, et vaja on suurendada südame minutimahtu ehk minutis välja paisatava vere hulka. Viimase saavutamiseks on kaks võimalust: suurendada südame löögisagedust ning suurendada südame löögimahtu (ühe löögiga välja paisatava vere hulka). Regulaarne töö kõrge koormusega toob kaasa südame pumbafunktsiooni paranemise. See leiab aset peamiselt südame kambrite suurenemise ja südamelihase enese tugevnemise arvelt. Nimetatud adaptatsioonid väljenduvad nii puhkeoleku SLS kui kõigi submaksimaalsete koormuste SLS-ide languses. Süda suudab ühe

löögiga pumbata kehasse rohkem verd, lihasteni jõuab rohkem hapnikku ning kokkuvõttes paraneb aeroobne võimekus (House ja Johnston, 2014).

Väiksema treenitusega sportlastele annab juba mõõduka intensiivsusega treenimine väga positiivse efekti südame löögimahu suurendamise seisukohalt, sest südame löögimaht saavutab oma maksimumi juba suhteliselt madalal intensiivsusel (House ja Johnston, 2014). Kõrgema treenitusega sportlaste jaoks on aga efektiivseim viis südame löögimahu suurendamiseks selline treeningstiimul, mis tõstab SLS maksimumilähedasele (90-95% max SLS) tasemele mitmeks minutiks (Costill ja Trappe, 2002). Kuigi kirjeldatud treeningstiimul on tulemuslik südame pumbafunktsiooni parandamise seisukohalt, on selline intensiivsus liiga pikaajalisel ja sagedasel rakendamisel lihasraku tasandil aeroobsele võimekusele negatiivse mõjuga, sest ülejäänud kolm aeroobse ATP resünteesi jaoks olulist faktorit (mitokondrite arv, aeroobsel ATP resünteerimisel toimivate ensüümide kontsentratsioon, kapillaaride võrgustiku tihedus) eeldavad stiimulina pikaajalist madala kuni mõõduka intensiivsusega koormust. Kuigi puudub konsensus, kumb süsteem – kardiopulmonaarne või skeletilihased – seab suurema piirangu aeroobse võimekuse parandamisele, ollakse teadusmaailmas üksmeelel, et mõlemad on tihedalt seotud ja üksteisest sõltuvad (Costill ja Trappe, 2002).

2.2.6. Hapniku transpordi funktsiooni parandamine

Hemoglobiin (Hgb) on punastes verelibledes sisalduv valk, mis seondub hapnikumolekuliga ja transpordib selle töötavate lihasrakkudeni. Vere Hgb massi suurenemisega kaasneb hapniku transpordi võime paranemine, mis omakorda võimaldab aeroobse ATP resünteesi raja toimimise efektiivsust. Uuringud on näitanud, et pikemaajalise regulaarse vastupidavustreeningu tulemusena suureneb vere maht ja Hgb mass (Mairbäurl, 2013). Müoglobiin on lihasrakkudes sisalduv valk, mis seob hapnikku ja toimib nii selle säilitajana kui ka rakusisese transportijana. Loomkatsete põhjal on näidatud, et müoglobiini kontsentratsioon suureneb süstemaatilise vastupidavustreeningu tulemusena (Harms ja Hickson, 1983).

2.2.7. Lihaskiudude rekruteerimine tehnilises alpinismis

I tüüpi aeglased lihaskiud on domineerivad lihaskiud, mida vastupidavussportlased, sealhulgas alpinistid, kasutavad. Treenitud vastupidavussportlastel on võrreldes

tavapopulatsiooniga tunduvalt kõrgem I tüüpi lihaskiudude osakaal. Need lihaskiud on väsimusele väga vastupidavad, kuna neile on omane suurem mitokondrite arv, väiksem ristlõikepindala, aeroobsel ATP resünteesi rajal toimivate ensüümide kõrgem kontsentratsioon ja suur kapillaaride võrgustiku tihedus (House ja Johnston, 2014). Kõik need omadused võimaldavad I tüüpi lihaskiududel töödelda hapnikku tunduvalt kiiremini kui kiired lihaskiud ning seeläbi toota aeroobselt läbi oksüdatiivse fosforüülimise palju suuremaid koguseid ATP-d, kasutades energiaallikana valdavalt rasvu ning vaid vähesel määral glükogeeni (House ja Johnston, 2014). Brooks (1986) on näidanud, et glükolüüsi käigus tekkinud laktaat leiab kasutust protsessis, mida nimetatakse laktaadisüstikuks. See tähendab, et laktaat viiakse vereringest I tüüpi lihaskiududesse, kus seda kasutatakse substraadina ATP tootmiseks. Mida aeroobselt võimekamad on indiviidi lihaskiud, seda paremini süstik töötab, hoides vere pH taset kontrolli all, hoolimata koormuse intensiivsuse tõusust.

On näidatud (Fallentin *et al.*, 1993), et I tüüpi lihaskiududest koosnevaid motoorseid ühikuid (ühe motoneuroni poolt innerveeritavaid lihaskiudude gruppe) on võimalik aktiveerida asünkroonselt, niiet osad motoorsed ühikud on puhkeolekus, samas kui teised töötavad, suurendades lihase vastupidavust (House ja Johnston, 2014). Iia ja Iix tüüpi lihaskiudude rekruteerimine on samuti vajalik, võimaldamaks suurt võimsust nõudvaid atleetlikke ronimisliigutusi, kuid alpinismis, rääkides vastupidavustreeningutest, tuleb keskenduda maksimaalselt aeroobse võimekuse, I tüüpi aeglaste lihaskiudude ja nende ainevahetusradade arendamisele. See toob kaasa aeroobse läve tõusu, mis omakorda loob parimad eeldused anaeroobse läve tõstmiseks (House ja Johnston, 2014).

Mitmed uuringud on näidanud, et Iia tüüpi lihaskiudude puhul on võimalik treenida vastupidavuslikke omadusi, nagu I tüüpi lihaskiudude puhul. Loomkatsete näitel on isegi tõestatud, et võimalik on Iia tüüpi lihaskiudude konverteerimine I tüüpi lihaskiududeks (Wang *et al.*, 2004; Lin *et al.*, 2002; Pette ja Vrbova, 1999). Väga vähe kontrollitud uurimusi on aga läbi viidud inimeste peal, tingituna pikast ajavahemikust, mille vältel katsealuseid jälgida tuleks. Iia tüüpi lihaskiu konverteerumine I tüüpi lihaskiuks nõuab aastatepikkust järjepidevat ning kõrge mahuga treeningut, mis põhjustab kroonilisi mikroskoopilisi lihaskahjustusi ja neile järgnevaid aeroobseid adaptatsioone – mitokondrite biogeneesi ja aeroobsel ATP resünteesi rajal toimivate ensüümide kontsentratsiooni suurenemist (Rusko, 1992). See näib seletavat, miks vastupidavussportlastel on võrreldes tavapopulatsiooniga kõrgem I tüüpi lihaskiudude sisaldus.

3. JÕU ARENDAMISE FÜSIOLOOGILISED ALUSED TEHNILISES ALPINISMIS

Norra spordifüsioloog Jan Helgerud viis läbi uuringu (2002) kõrgel tasemel murdmaasuusatajate peal, kus neil tuli treenida oma maksimaalset jõudu. Uuringute tulemused näitasid, et 9 nädalat väldanud maksimaalse jõu treening (30 minutit nädalas) parandas isegi nii kõrgel tasemel vastupidavussportlaste tulemusi suusa-spetsiifilisel koormustel kuni 100%. Ilmnes, et suurendades maksimaalse jõu reservi, paraneb ka vastupidavus (Helgerud *et al.*, 2002).

Maksimaalse jõu treeninguga kaasneb neuraalne adaptatsioon, mis seisneb selles, et aju suudab rohkemal määral rekruteerida sama motoneuronpuuli (konkreetset lihast innerveerivate motoneuronite kogumi) poolt innerveeritud motoorseid ühikuid. Teiste sõnadega, pingutuse hetkel on aju suuteline rekruteerima rohkem lihaskiude, mis väljendub sujuvamatel, paremini koordineeritud liigutustes (House ja Johnston, 2014). Kui motoneuronpuul on suur, siis saab seal sisalduvaid motoorseid ühikuid hakata rekruteerima rotatsiooni põhimõttel: kui ühed motoorsed ühikud väsivad, siis antakse neile närvisüsteemi poolt puhkust ning tööd saavad teised motoorsed ühikud. Mida suurem motoneuronpuul, seda rohkem on lihaskiude, mis saavad jagada töökoormust rotatsiooni baasil ning seda suuremat võimsust suudab organism säilitada pikka aega, mis parandab jõuvastupidavust (House ja Johnston, 2014).

Nagu vastupidavustreeningutes, nii tuleks ka alpinistlike jõutreeningute puhul prioritseerida harjutusi vabade raskustega. Selline lähenemine arendab kesknärvisüsteemi, mis peab koordineerima mitmeid lihaseid jõulisteks liigutusteks, eeldades tuhandete motoorsete ühikute täpset koostööd. Osad aktiivsed lihased toimivad alati liigete stabiliseerijatena, niiet teised, põhiliigutust sooritavad lihased, saaksid efektiivselt oma tööd teha (House ja Johnston, 2014)

3.1. Kehatüvelihaste jõud

Ronimine kui liigutustegevus hõlmab väga palju diagonaalseid liigutusi: need on liigutused, kus ronija tasakaalustab end kahel toetuspunktil (vastaskäsi ja vastasjalg), samal ajal teisi jäsemeid ümber positioneerides (House ja Johnston, 2014). Selliste liigutuste sooritamisel

aktiveeruvad kehatüve lihased. See juhtub igasuguse ronimistegevuse puhul, muutudes eriti oluliseks siis, kui reljeef läheb järsemaks. Need on lihased, mis läbi kinemaatilise ahela loovad stabiliseeriva lüli õlgade ja puusade vahele, niiet jäsemed saavad genereerida võimalikult suurt jõudu. Kui kehatüve lihased on nõrgad, pole tugevatest kätest ja jalgadest kasu, sest ühenduslüli nende vahel ei võimalda sihipäraseid jõulisi liigutusi teha. Alpinismis, erinevalt muudest ronimise distsipliinidest, tuleb lisaks kõigele enamuse ajast ronida ka seljakotiga, mis funktsionaalselt avaldab ülakehale veel suuremat koormust, nõudes veelgi rohkem tugevaid kehatüvelihaseid (House ja Johnston, 2014). Seetõttu on kehatüvelihased see lihasgrupp, millele alpinistlikus jõutreeningus eritähelepanu tuleb pöörata. See hõlmab järgmisi lihaseid: vaagnapõhjelihased, *m. transversus abdominis*, *m. obliquus externum* ja *internum*, *m. rectus abdominis*, *m. erector spinae*, *m. multifidus*, *m. quadratus lumborum* (Kisner ja Colby, 2007).

3.2. Küünarvarre lihasgruppide jõud

Jõulised lihaskontraktsioonid takistavad verevoolu kontrakheeruvasse lihasesse, sest kui lihaskiud kontrakheeruvad, nad ka jämenevad, pitsitades ümbritsevaid kapillaare. Mitmed uuringud (Enoka ja Duchateau, 2008; Humphreys ja Lind, 1963; Lind ja Williams, 1979) on näidanud, et intensiivsete kontraktsioonide (50-70% maksimaalsest jõust) tagajärjel vereringe küünarvarre lihasgruppides väheneb drastiliselt või lakkab sootuks. Lisaks on üks uuring (Wright *et al.*, 1999) näidanud, et tõstes käsi ülespoole pead, sooritades mõõduka intensiivsusega korduva isomeetrilisi peopesa kontraktsioone, väheneb lokaalne vererõhk ja kiireneb väsimuse teke. Vereringe aga transpordib hapnikku, glükoosi ja ATP'd lihaskudedesse ning jääkaineid ja CO₂ sealt välja (Allen *et al.*, 2008; Enoka ja Duchateau, 2008). Seega väsivad lihased häirunud verevarustuse tagajärjel, sõltumata sellest, kas ronimine on kõrge või mõõduka intensiivsusega.

Kirjeldatud verevarustuse takistumine lihaskontraktsioonide tagajärjel on eriti problemaatiline ronimises, küünarvarre lihasgruppide puhul. Ronides kõrgel intensiivsusel, toimub lisaks verevoolu häirimisele ka üleminek aeglaselt aeroobselt ainevahetuselt anaeroobsele glükolüüsile, et varustada lihaseid kiiremini ATP'ga. Selle tulemusena tekib rakkudes happeline keskkond, mille tulemusena omakorda tekib väsimus. Kui töötavad lihased ei saa enam ainevahetuse käigus piisavalt ATP'd, siis ei suuda lihased lõdvestuda – sarkomeeride

müosiini filamendid vajavad ATP'd, et vabaneda aktiini filamentide küljest. Seega kaasneb ATP ebapiisava sünteesiga osade lihaskiudude pidev taatele allumatu kontraktsioon, mis väljendub drastiliselt vähenenud jõus, koordinatsioonis ja ronimissoorituse languses (Anderson, 2014).

Pikad ronimismarsruudid nõuavad, et ronimiseks vajalikud lihased (eriti küünarvarre lihasgrupid) kontraktsioonid ja lõdvestused tsükliliselt – enamasti submaksimaalse jõuga. Kui kaua lihased nõnda tsükliliselt töötada jõuavad, selle määrab ära kontraktsioonaja ja lõdvestusaja suhe (Anderson, 2014). Jooksmisel ja kõndimisel on see suhe väike, mis tagab selle, et lihasgruppe saab töös hoida pikka aega. Tehnilise ronimise puhul seevastu on see suhe alati suur: 5...10-sekundilisele küünarvarre lihasgruppide kõrge intensiivsusega isomeetrilisele lihaskontraktsioonile järgneb vaid umbes 1-sekundiline puhkus (eeldusel, et üks käsi on alati seinaga kontaktis), mistõttu väsimus tekib suhteliselt kiiremini, põhjustatuna ATP produktsiooni jääkproduktide akumulatsioonist (Anderson, 2014). Olulisemad väsimuse tekkimise mehhanismid ronimises on:

- **ATP ebapiisav produktsioon.** Ronimisel võimete piiri lähedal, tarbivad kiired II tüüpi lihaskiud ATP'd kiiremini, kui glükolüüsi protsess neid taastoota jõuab. Tulemuseks on lihaskontraktsiooni jõu langemine (Anderson, 2014).
- **Jääkainete kuhjumine.** Ronimisel võimete piiri lähedal, tekib anaeroobse glükolüüsi tulemusel jääkaineid, mis takistavad Ca^{2+} ioonidel lihaskontraktsioonis osalemist. Kuhjunud jääkainete utiliseerimine toimub mitokondrites tsitraaditsükli käigus, seega vastupidavustreening, mis suurendab ronimislihastes mitokondrite sisaldust, on väga kasulik (Anderson, 2014).
- **Glükogeeni ammendumine.** Samuti võimalik väsimuse tekke mehhanism. Kuid et glükogeenivarude täielik ammendumine võtab suhteliselt kaua aega, tekib väsimus juba enne varude ammendumist, eelmainitud jääkainete kuhjumise mehhanismi tõttu (Anderson, 2014).
- **Neuromuskulaarse aktsioonipotentsiaali häirumine.** Korduvate maksimaalse jõuga lihaskontraktsioonide korral võivad depolariseeruda elektrokeemilised kanalid, mida kasutatakse lihaskontraktsioonide stimuleerimiseks, vähendades lihasrakkude kontraktsioonijõudu. See väsimuse vorm on iseloomulik kestvatele maksimaalsetele lihaskontraktsioonidele (Anderson, 2014).

Taastumisaeg tekkinud väsimusest sõltub liigutustegevusel aset leidnud kontraktsiooni iseloomust. Mida pikem oli kontraktsioon, seda kauem aega võtab taastumine. Väsimus, mis tekib lühikeste maksimaalsete kontraktsioonide tagajärjel, taastub füsioloogiliselt väga kiiresti – peaaegu täielikult vaid mõne sekundiga. Pikad, korduvad, submaksimaalsed kontraktsioonid tekitavad aga väsimuse, millest taastumine võtab tunduvalt kauem (Anderson, 2014). Kuigi oluline osa taastumisest toimub minutite ja tundide jooksul, mis järgnevad vahetult kehalisele koormusele, on väsimusel ka komponent, mis püsib organismis mitmeid tunde ja päevi. See väsimus pole vähenenud ATP ega kuhjunud jääkainete tulemus (need normaliseeruvad 15-60 minutiga), vaid põhineb neuromuskulaarse erutatavuse langusel. See püsib mitmeid tunde ja päevi pärast intensiivset kehalist koormust (Anderson, 2014).

Ronimisspetsiifilise väsimuse teket saab vähendada, parandades sihipärase treeninguga küünarvarre lihaste verevarustust. Selle saavutamiseks on kaks põhilist mehhanismi:

- **Vähendades maksimaalsete kontraktsioonide osakaalu ronides.** See on saavutatav läbi maksimaalse sõrmejõu arendamise (et iga liigutuse sooritamiseks tuleks rakendada väiksem osa indiviidi jõureservist) ning arendades haardefunktsiooni (vältimaks tarbetult suurt jõukulu) (Anderson, 2014).
- **Suurendades küünarvarre lihasgruppide kapillaaride võrgustiku tihedust.** Mida tihedam on kapillaaride võrgustik, seda väiksema vahemaa peab veri läbima, jõudmaks lihasrakkudeni, parandades verevarustust, hapnikutransporti ja jääkainete eemaldamist (Anderson, 2014).

3.3. Jõutreeningute periodiseerimine

Sarnaselt vastupidavustreeningutega, jaguneb alpinistliku jõutreeningu mudel perioodideks: üleminekuperiood, maksimaalse jõu arendamise periood ja lihasvastupidavuse arendamise periood (House ja Johnston, 2014).

3.3.1. Üleminekuperiood

See periood on üles ehitatud põhijõu arendamisele, kasutades erinevaid suuri lihasgruppe hõlmavaid jõuharjutusi. See lähtub põhimõttest, et enne spordialaspetsiifilist treeningut tuleb luua üldise kehalise võimekuse vundament. Selle perioodi jõutreeninguid iseloomustab

harjutuste suur arv ja variatiivsus, kusjuures harjutusi viiakse läbi ringmeetodina (2...3 ringi). Indiviididele, kellel on varasemast tugev jõutreeningute taust, võib selle perioodi kestus olla 4 nädalat. Väiksema varasema kogemusega indiviididel peab selle perioodi kestus olema vähemalt 6 kuni 8 nädalat (House ja Johnston, 2014).

3.3.2. Maksimaalse jõu arendamise periood

Selle perioodi eesmärgiks on luua võimalikult kõrge jõureserv, mis võimaldaks suuremat tulemuslikkust üleminekul järgmisse perioodi, mil arendatakse spordialaspetsiifilisi jõuvõimeid, milleks alpinismi puhul on lihasvastupidavus. Selle perioodi jõutreeninguid iseloomustab väike harjutuste arv ja variatiivsus (kõige enam 3...4 eri harjutust), väike korduste arv (2...4), suur intensiivsus (85-90% ühe korduse maksimumraskusest). Harjutusi tehakse 4-6 seeriat, kusjuures oluline on seeriade vaheline küllaldane puhkus (vähemalt 3 minutit), et tagada lihaskiudude maksimaalne rekruteerumine (House ja Johnston, 2014).

Sageli hõlmab struktureeritud jõutreeningute programm ülemineku ja maksimaalse jõu perioodide vahel ka hüpertroofia perioodi, mille eesmärgiks on lihasmassi kasvatamine. Alpinistlikus jõutreeningus pole see aga reeglina soovitatav, sest lisanduv lihasmass tähendab organismile suuremat energiakulu, mis alpinismi spetsiifikast lähtuvalt on ebaoptimaalne (House ja Johnston, 2014). Et maksimaalse jõu treeningu käigus ei viida lihaseid täieliku kurnatuseni, ei kaasne sellega lihaste hüpertroofiat. Jõureservi kasv tuleb valdavalt neuraalse adaptatsiooni arvelt (House ja Johnston, 2014).

3.3.3. Lihasvastupidavuse arendamise periood

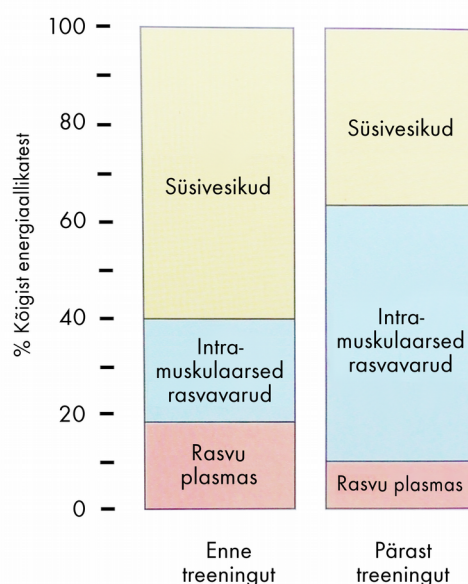
Sellel perioodil toimub spordialaspetsiifiliste jõuvõimete arendamine. Alpinismis, kus on vaja suurte lihasgruppide jõudu ja vastupidavust mitmete tundide vältel, on selleks võimekuseks lihasvastupidavus (House ja Johnston, 2014). See jõuliik võimaldab lihastel kontrahheeruda suurema jõuga ning kauemat aega.

Harjutuste iseloom (korduste arv ja raskuse suurus) sõltub sellest, milliste lihaskiudude adresseerimine on antud treeningu eesmärgiks. Kui puudub varasem lihasvastupidavustreeningute taust, on kasulik treenida aeglaseid I tüüpi lihaskiude, mis tähendab suurt korduste arvu suhteliselt väikse raskusega. Kui tegu on edasijõudnud ronijaga,

kellel on aastatepikkune jõutreeningute kogemus, võib kasutada suuremaid raskusi ja väiksemat korduste arvu, mis suurendab kiirete II tüüpi lihaskiudude väsimusresistentsust. Treeningvahenditena võib kasutada nii vabu raskusi, kui ka näiteks raske seljakotiga ülesmäge matkamist või lihtsamal reljeefil ronimist, kusjuures lisaraskus peab olema valitud nõnda, et limiteerivaks faktoriks oleks lihasjõud, mitte aeroobne võimekus (House ja Johnston, 2014). Parimate tulemuste saavutamiseks võib neid erinevaid meetodeid treeningperioodi vältel kombineerida. Sellel treeningul on otsene rakendus alpinismis ning võimaldab saavutada indiviidi kõrgeima sooritusvõime mägedes. Lihastupidavuse arendamise perioodi treeningud on seda tulemuslikumad, mida kõrgem on indiviidi aeroobne vastupidavus (House ja Johnston, 2014).

4. AINEVAHETUSE FÜSIOLOOGIA TEHNILISES ALPINISMIS

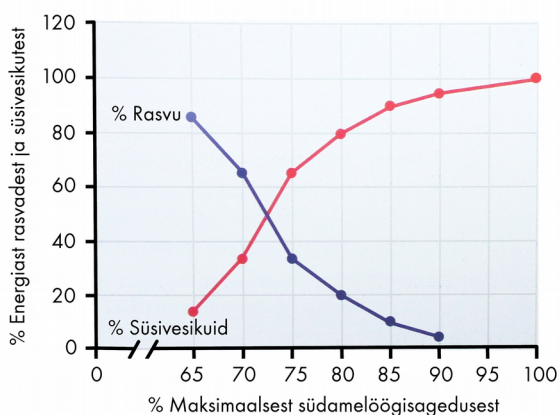
Nagu juba varasemates peatükkides kirjeldatud, siis regulaarse vastupidavustreeninguga on võimalik tõsta aeroobset ja anaeroobset läve. See tähendab, et organism on võimeline töötama aina suuremal intensiivsusel, nii et energiat tuleks jätkuvalt rasvade lõhustamisel põhinevast aeroobsest ATP resünteesist. Joonis 8 näitab, kuidas 12 nädalat kestnud vastupidavustreening (30 min intensiivsusel 64% VO₂ max) mõjutab indiviidi ainevahetuses energiaallikate prioritseerimist: suureneb intramuskulaarsete rasvavarude osakaal ning lihased suudavad sama koormuse juures kasutada energiaallikana rohkem rasvu (Martin *et al.*, 1993).



Joonis 8. Energiaallikate kasutamise treenitavus (House ja Johnston, 2014; Martin *et al.*, 1993)

4.1. Ainevahetuse seos kehalise koormuse intensiivsuse ja kestusega

Joonis 9 näitab, kuidas kehalise koormuse intensiivsus määrab selle, millist energeetilist substraati organism ainevahetuses eelistatult kasutab. Madalal kuni mõõdukal intensiivsusel (mõõdetuna SLS järgi) on organismi peamiseks energiaallikaks rasvad. Kui aga intensiivsus tõuseb, kasvab vajadus kiiremaks ATP sünteesiks, mistõttu suureneb ainevahetuses glükolüüsi osakaal, mis eeldab energiaallikana süsivesikute lõhustamist. Arvesse tuleb aga võtta, et keha glükogeenivarud on väga piiratud (ca 2000 kcal), niiet glükolüüs ei ole jätkusuutlik ainevahetusrada väga pikaajaliseks kehaliseks aktiivsuseks, nagu eeldab tehniline alpinism (House ja Johnston, 2014).



Joonis 9. Kehalise töö intensiivsus ja sellele vastav energiaallikate kasutamine (House ja Johnston, 2014)

Kuna tehnilises alpinismis käib tegevus valdavalt intensiivsusel 60-70% max SLS, on alpinistidele soovitatav treenida nii, et parandada rasvade ainevahetust (House ja Johnston, 2014). Vahetult enne madala intensiivsusega treeningsessiooni alustamist või alpinistlikule marsruudile minekut on seetõttu soovitatav vältida toite, mis sisaldavad vaid lihtsaid süsivesikuid (energiageelid, batoonid, kommid), sest nende tarbimisele järgneb insuliinitaseme tõus, mis blokeerib vähemalt 30% vabade rasvhapete kasutamisest aktiivse energiaallikana (House ja Johnston, 2014). Kuigi kehalise töö käigus toimub adrenaliini mõjul insuliini erituse mahasurumine, on siiski soovitatav enne alpinistlikule marsruudile minekut kiirete süsivesikute asemel tarbida toitu, kus rasvad ja süsivesikud on tasakaalus.

Sõltuvalt indiviidi treenitusest, tuleb umbes pärast 60...90 minutit kestnud kehalist tööd hakata kulutatud süsivesikuid asendama, sest süsivesikute vähesuse korral on ka rasvade lõhustamisel põhinev aeroobne ainevahetus häiritud ning töövõime võib drastiliselt langeda

(Coyle *et al.*, 1997; House ja Johnston, 2014). Intensiivsusel, kus alpinistid veedavad suurema osa ronimisajast (60-70% VO₂ max), toimub intramuskulaarse glükogeenivaru ammendumine 220-320 minuti jooksul (Noakes, 2001).

4.2. Ainevahetuse seos kõrgusega merepinnast

Kõrgmäestiku tingimustes on süsivesikuterohked toidud organismile kõige paremini (ning sageli ainsana) omastatavad (House ja Johnston, 2014). Kuigi puhtfüsioloogiliselt tuleks ronimise vältel igas tunnis kulutatud 400-800 kcal kohta tarbida 70 grammi süsivesikuid, pole see praktikas teostatav – nii seljakoti kaalu optimeerimise tõttu kui vajadusest kätega pidevalt töötada, kas siis ronides või kaaslast julgestades (House ja Johnston, 2014). Kuigi energiadefitsiit on paratamatu, tuleb siiski süüa tihti (näiteks kord tunnis vähemalt üks energiageel). Kui organism ei saa toiduga taastada piisavalt süsivesikuid, kaob samaaegselt vastupidavus, koordinatsioon ja motivatsioon – väga ohtlik olukord alpinisti jaoks (House ja Johnston, 2014).

4.3. Hüdratsioon

Kõrgmäestiku tingimustes kaotab inimene läbi hingamise rohkem vedelikku kui tavatingimustes, kusjuures sageli kaotatakse arvestatavaid vedelikukoguseid ka läbi oksendamise ja kõhulahtisuse (House ja Johnston, 2014). Ronimise vältel on soovitatav vältida ronija kehakaalust üle 2% suurust vedelikukaotust. Sellegipoolest on ootuspärane naasta alpinistlikult marsruudilt rohkem või vähem dehüdreerununa (House ja Johnston, 2014). Rehüdreerimisel tuleb arvesse võtta, et seedeelundkond suudab ühes tunnis omastada maksimaalselt 800 ml vett, kusjuures jahe vesi imendub paremini kui kuum (House ja Johnston, 2014).

Üks enamlevinud sooritust parandavaid jooke mägedes on kohv. Mitmed uuringud (Hackett, 2010; Armstrong, 2002; Fulco *et al.*, 1994; Spriet 2014) on näidanud, et mõõdukas kofeiini tarbimine (140-210 mg 70 kg kaaluga indiviidi kohta päevas) parandab rasvade ainevahetust ja suurendab aega kurnatuseni 10-20%, parandades ka kognitiivset funktsiooni ja reaktsiooniga, omamata diureetilist efekti.

5. MÄESTIKUTINGIMUSTES AKLIMATISEERUMINE

Kõrgusega kohanemise ehk aklimatiseerumise efektiivsus sõltub kahest põhilisest faktorist (House ja Johnston, 2014):

- Kui suur on organismi võime transportida hapnikku lihasteni;
- Kui suur on lihaste hapnikutarbimise efektiivsus.

Organismi hapniku transportimise võime paraneb mäestikutingimustes organismi loomuliku adaptatsioonina (vere Hgb massi suurenemine). Lihaste hapnikutarbimise efektiivsust saab aga mõjutada vaid sihipäraste vastupidavustreeningutega enne merepinnast kõrgele minekut (House ja Johnston, 2014).

5.1. Muutused verenäitajates

Juba mõni tund pärast mäestikutingimustesse sattumist suureneb organismis erütropoetiini süntees, mis omakorda stimuleerib punases luuüdis punaste vererakkude tootmist. Uute punaste vererakkude küpsemine võtab 7-10 päeva ning ühtlasi toimub esimese 1-2 päeva jooksul vereplasma mahu vähenemine (Bärtsch ja Gibbs, 2007). Vere hapnikutranspordi võime paraneb aga siiski alles uute punaste vererakkude küpsemisega. Väärib märkimist, et levinud dopingaine – sünteetilise erütropoetiini (EPO) – kasutamine kõrgmäestiku tingimustes sooritusvõime parandamiseks oleks äärmiselt ohtlik. Järsk punaste vereliblede kontsentratsiooni tõus suurendaks vere viskoossust ja tooks kaasa väga kõrge trombi tekke riski. Sel põhjusel pole seda tõenäoliselt alpinismis kunagi üritatud (House ja Johnston, 2014). Teised olulised füsioloogilised muutused suurtesse kõrgustesse sattudes on vere pH tõus, mille põhjuseks on suurenenud hingamismaht ja hüperventilatsioon, millega väljutatakse organismist tavapärasest suurem kogus süsihappegaasi (Bärtsch ja Gibbs, 2007; House ja Johnston, 2014).

5.2. Muutused skeletilihastes

Uuringus (Mizuno *et al.*, 2008), mis jälgis katsealuseid 75 päeva 5250 meetri kõrgusel, tõestati, et pikemaajalise kõrgmäestiku tingimustes veetmisega kaasneb skeletilihaskude mõõtmete vähenemine, millega käib omakorda kaasas kapillaaride võrgustiku tiheduse kasv

ning mitokondrite arvu suurenemine. Need adaptatsioonid parandavad hapnikutarbimise efektiivsust, parandades seeläbi indiviidi aeroobset võimekust.

5.3. Kardiorespiratoorsed muutused

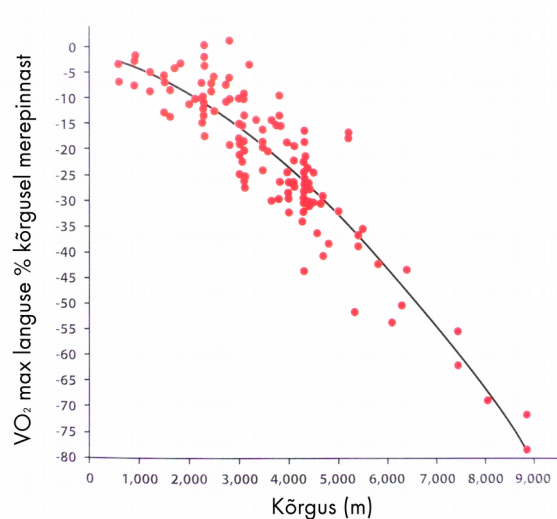
Mida kõrgemale tõusta, seda madalamale langeb maksimaalne võimalik südamelöögisagedus ja südame löögimaht (Bärtsch ja Gibbs, 2007). Olulised muutused leiavad aset ka hingamislihastes (peamiselt diafragmas), mis vajavad kõrgmäestiku tingimustes suhteliselt rohkem hapnikku kui skeletilihased. Kui merepinnal läheb hingamislihastesse vaid 5,5% südamelöögimahust, siis 5000 meetri kõrgusel suureneb see näitaja kuni 26%-ni (House ja Johnston, 2014). Sellest järeldub, et mida kõrgemale inimene merepinnast tõuseb, seda väiksem osa südamelöögimahuga kehasse laiali pumbatavast verest jõuab skeletilihasteni, piirates oluliselt kehalist võimekust (House ja Johnston, 2014). Diafragma tehtud tööd peegeldav näitaja on maksimaalne ventilatsioon. Tabel 2 näitab, et kõrguse kasvades suudab diafragma üha vähem tööd teha ning seda väiksemat võimsust suudab individ genereerida (Milledge, 2010; West *et al.*, 1983).

Tabel 2. Max ventilatsioon kõrgmäestiku oludes (House ja Johnston, 2014; Milledge, 2010, West *et al.*, 1983)

Kõrgus	Maksimaalne ventilatsioon	Võimsus
5800 meetrit	173 l/min	196 W
6400 meetrit	161 l/min	147 W
7440 meetrit	122 l/min	98 W
8300 meetrit	107 l/min	--

5.4. Muutused aeroobses võimekuses

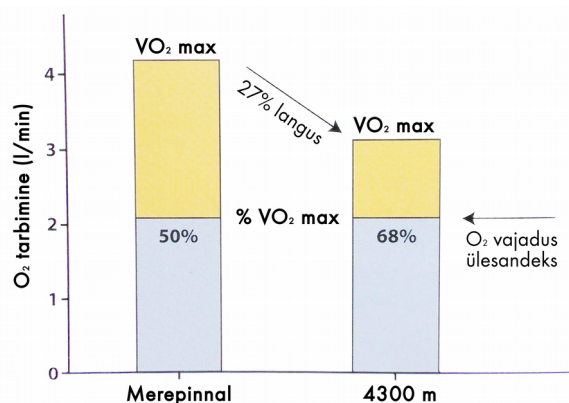
Joonis 10 näitab selget seost kõrguse kasvamise ning VO_2 max languse vahel. Kuna mäestikutingimustes väheneb nii maksimaalne ventilatsioon kui ka südame maksimaalne löögisagedus ja -maht, langeb kokkuvõttes ka indiviidi VO_2 max näitaja (US Army Technical Bulletin, 2010).



Joonis 10. Kõrguse ja VO_2 max seos (House ja Johnston, 2014; US Army Technical Bulletin, 2010)

Punased täpid tähistavad katsealuste ronijate individuaalseid VO_2 max näitajaid. Juba 10-15% langus aeroobses võimsuses, mida peegeldab VO_2 max, väljendub oluliselt langenud ronimiskiiruses. Kõrgusel 6100 meetrit merepinnast on aga organismi aeroobne võimsus langenud juba 50%. Kõrgusega kohanenud ehk aklimatiseerunud ronija VO_2 max Mount Everesti tipus (8848 m) on aga vaid 20% tema VO_2 max näitajast merepinnal.

Sõltumata sellest, mis kõrgusel kehaline töö aset leiab, lihased vajavad selle töö tegemiseks absoluutväärtuses ikka sama palju hapnikku. Seda illustreerib joonis 11, mis näitab, et 4300 meetri kõrgusel on VO_2 max võrreldes merepinnaga langenud 27% ning ülesanne, mis merepinnal nõudis 50% VO_2 max pingutust, nõuab 4300 meetri peal 68% VO_2 max pingutust. Et kõrguse kasvades väheneb maksimaalne ventilatsioon ja organismi jõuab vähem hapnikku, nõuab iga tegevus suuremat protsenti organismi aeroobsest võimekusest (House ja Johnston, 2014).



Joonis 11. Langenud VO_2 max tagajärjed (House ja Johnston, 2014)

5.5. Geneetiliste tegurite roll kõrgustega kohanemises

Uurimaks geneetiliste tegurite rolli aklimatiseerumises, võrdles Chen *et al.* 1997. aasta uuringus omavahel 4700 meetri kõrgusel elavaid kohalikke tiibetlasi ($n = 17$) ja sinna hiljuti migreerunud hiinlasi ($n = 14$). Kuigi hiinlastel oli keskmiselt kõrgem VO_2 max näitaja kui tiibetlastel (36 ml/kg/min vs 30 ml/kg/min), suutsid kohalikud tiibetlased teha maksimaalsel koormusel vähema ajaga rohkem tööd (176 W vs 150 W). Bigham ja Lee (2014) ning Yang *et al.* (2017) tõid välja, et tiibetlastel on toimunud funktsionaalsed mutatsioonid hüpoksiat indutseerivate faktorite (HIF) geenides, mille abil sünteesitakse valke, mis on vajalikud hüpoksiatingimustes funktsioneerimiseks. Samas pole edukate ronijate peal seni läbiviidud uuringud näidanud, et nad erineksid geneetiliselt oluliselt tavapopulatsioonist, mis võimaldaks neil paremini kõrgusega kohaneda (Houston, 2005). Põhierinevus tuleneb sellest, et kogenud ronija organism on elu jooksul läbi korduvate aklimatiseerumiste füsioloogiliselt adapteerunud (kõrge aeroobne võimekus), mis aitab kõrgusega kohanemise protsessi võimalikult täiuslikult läbi viia (House ja Johnston, 2014). Ning loomulikult ei saa alahinnata kogemusega kaasnevat oskusi ja teadmisi: optimaalne energiakasutus ja toitumine, ökonoomne liikumine ning õige aklimatiseerumisstrateegia valik (House ja Johnston, 2014).

5.6. Aklimatiseerumise strateegiad

5.6.1. Houstoni seadus ja Nõukogude süsteem

Charles Houston on sõnastanud põhilise aklimatiseerumise rusikareegli järgnevalt: „*Roni kõrgele, maga madalal*”. Selle järgi võib ööbimiskoha kõrgus kasvada võrreldes eelmise päevaga mitte rohkem kui 300 meetrit (House ja Johnston, 2014).

Teine konkureeriv aklimatiseerumisstrateegia arendati välja Nõukogude Liidu perioodil Kasahstanis, mis on koduks viiele maailma põhjapoolseimale üle 7000-meetrisele mäetipule. Selle meetoodika järgi tuleb tõusta kindlale kõrgusele ning ööbida seal. Järgmine hommik tuleb aga laskuda täiesti alla, baaslaagrisse. Iga aklimatisatsiooniring võtab aega 2-4 päeva ning järgnev puhkus on sama kestusega (House ja Johnston, 2014). Kõrgel veedetud öö annab organismile impulsi aklimatiseerumiseks, kuid füsioloogilised muutused leiavad aset madalamal baaslaagris puhates, kus organismil on rohkem energiat (House ja Johnston, 2014).

Samast põhimõttest lähtudes tutvustas Anatoli Bukrejev, vene päritolu Kasahstani kõrgalpinist, kes oma eluajal astus üle 8000-meetristele tippudele kokku 22 korda, Himaalajas ronides Lääne alpinistidele aklimatiseerumisstrateegiat, mida nüüd nimetatakse Vene puhkuseks. Selle järgi tuleb pärast ööbimist kõrgeimas laagris, mis asub mäetipust keskmiselt 1000 meetrit madalamal, laskuda tunduvalt allapoole, soovitatavalt vähemalt 4000 meetri kõrgusele, et seal 3 päeva täielikult välja puhata, enne kui otsustavale tipuüritusele minnakse (House ja Johnston, 2014).

5.6.2. Alpitelgi kasutamine

Vahelduv hüüpoksia treening (IHT) on vastupidavussportlaste seas levinud treeningmetoodika, mis kujutab endast madalatel kõrgustel elamist, simuleerides perioodiliselt mäestiku tingimusi. See tähendab enamasti magamist nn alpitelgis, kuhu pumbatakse madala hapnikusisaldusega õhku (House ja Johnston, 2014). Enamus uuringuid, mis IHT metoodikat on käsitlenud, pole hõlmanud kontrollgruppi, mistõttu ei saa nende põhjal paikapidavaid järeldusi teha. Samuti pole üheski uuringus vaatlusalusteks võetud kõrgmäestiku tingimustesse (üle 4900 meetri kõrgusele) minevaid alpiniste. Seega pole hetkel mitte mingisugust teaduslikku alust IHT kasutamiseks kõrgmäestiku tingimustesse mineva alpinisti aklimatiseerumise parandamiseks (House ja Johnston, 2014).

KOKKUVÕTE

Bakalaureusetöö „Tehnilise alpinismi treening: meetodika ja füsioloogilised aspektid” eesmärgiks oli anda terviklik ülevaade tehnilise alpinismi sooritust mõjutavatest põhilistest teguritest: vastupidavusest, jõust, kõrgusega kohanemisest ja organismi ainevahetusest.

Tööst järeldus, et tehnilises alpinismis on oluline esmalt arendada I tüüpi aeglase lihaskiudude aeroobset võimekust läbi pikkade ja madala intensiivsusega treeningute allpool aeroobset läve. Nii paraneb indiviidi aeroobne võimekus ja tekivad ainevahetuslikud eeldused laktaadisüstiku protsessi täiustumiseks (Brooks, 1986). Seejärel saab hakata suurendama treeningkoormuste intensiivsust, et parandada indiviidi võimekust anaeroobse läve piiril (House ja Johnston, 2014). Jõu arendamise füsioloogilisi aluseid analüüsid oli olulisemaks järelduseks see, et suurendades maksimaalse jõu reservi, paraneb ka vastupidavus (Helgerud *et al.*, 2002). Seda seletab maksimaalse jõu treeninguga kaasnev neuraalne adaptatsioon, mis seisneb selles, et aju suudab rekruteerida rohkem motoneuronpuulis paiknevaid motoorseid ühikuid rotatsiooni baasil (Fallentin *et al.*, 1993).

Ainevahetuse füsioloogia peatükist järeldus, et kuna tehniline alpinism käib valdavalt intensiivsusel 60-70% max SLS, on alpinistile kõige efektiivsem viis ATP sünteesiks aeroobne rasvade lõhustamine (Romijn, 1993; House ja Johnston, 2014), mistõttu selle ainevahetusraja prioritseerimine organismis on nii treeningute kui ka toitumise keskseks eesmärgiks. Mäestikutingimustes aklimatiseerumise peatüki olulisim järeldus oli see, et kuigi kõrgusega kohanemise puhul on näidatud ka seost geneetiliste teguritega (Bigham ja Lee, 2014; Yang *et al.*, 2017), sõltub aklimatiseerumise efektiivsus põhiliselt ikkagi sellest, kui suur on organismi võime transportida hapnikku lihasteni ning sellest, kui suur on vastupidavustreeningutega omandatud lihaste hapnikutarbimise efektiivsus (House ja Johnston, 2014).

Kokkuvõttes ilmnes, et kõik analüüsitud tegurid on omavahel tihedas seoses. Mida kõrgem on alpinisti treeningutega omandatud jõureserv ning rasvade lõhustamisel baseeruv aeroobne võimekus, seda efektiivsem on tema kohanemine kõrgusega ning seda suurem on ta liikumiskiirus. Alpinismis tähendab kiirus aga tihtipeale maksimaalselt maandatud riske ja ohutust: mida vähem aega veedame potentsiaalselt ohtlikus tsoonis, seda suurem on tõenäosus ohutult mäe pealt alla jõuda.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Allen DG, Lamb GD, Westerblad H. (2008). Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiological Reviews*, 88(1), 287–332. <https://doi.org/10.1152/physrev.00015.2007>
2. Altitude acclimatization and illness management, September 2010. *US Army Technical Bulletin, Medical #505*. Washington, DC: Headquarters, Department of the Army.
3. Anderson ML. *The Rock Climber's Training Manual: A guide to Continuous Improvement*. Boulder, California: Fixed Pin Publishing; 2014.
4. Armstrong LE (2002). Caffeine, body fluid-electrolyte balance, and exercise performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 12(2), 189–206.
5. Bigam AW, Lee FS. (2014). Human high-altitude adaptation: forward genetics meets the HIF pathway. *Genes & Development*, 28(20), 2189–2204. <https://doi.org/10.1101/gad.250167.114>
6. Billat V, Lepretre PM, Heugas AM, Laurence MH, Salim D, Koralsztein JP. (2003). Training and bioenergetic characteristics in elite male and female Kenyan runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(2), 297–304; discussion 305-306. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000053556.59992.A9>
7. Bompa TO, Haff G. *Periodization: Theory and Methodology of Training*. Human Kinetics Publishers; 2009.
8. Brooks GA. (1986). The lactate shuttle during exercise and recovery. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 18(3), 360–368.
9. Bärtsch P, Gibbs JSR. (2007). Effect of altitude on the heart and the lungs. *Circulation*, 116(19), 2191–2202. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.650796>
10. Chen QH, Ge RL, Wang XZ, Chen HX, Wu TY, Kobayashi T, Yoshimura K. (1997). Exercise performance of Tibetan and Han adolescents at altitudes of 3,417 and 4,300 m. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 83(2), 661–667. <https://doi.org/10.1152/jappl.1997.83.2.661>
11. Costill D, Trappe SW. *Running: The Athlete Within*. Traverse City, Michigan: Cooper Publishing Group; 2002.
12. Coyle EF, Jeukendrup AE, Wagenmakers AJ, Saris WH. (1997). Fatty acid oxidation is directly regulated by carbohydrate metabolism during exercise. *The American Journal of Physiology*, 273(2 Pt 1), E268-275. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1997.273.2.E268>
13. Davies, KJ, Packer L, Brooks GA. (1981). Biochemical adaptation of mitochondria, muscle, and whole-animal respiration to endurance training. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 209(2), 539–554. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(81\)90312-X](https://doi.org/10.1016/0003-9861(81)90312-X)
14. Dirks ML, Wall BT, Valk B van de, Holloway TM, Holloway GP, Chabowski A, Loon LJC van. (2016). One week of bed rest leads to substantial muscle atrophy and induces whole-

- body insulin resistance in the absence of skeletal muscle lipid accumulation. *Diabetes*, 65(10), 2862–2875. <https://doi.org/10.2337/db15-1661>
15. Enoka RM, Duchateau J. (2008). Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. *The Journal of Physiology*, 586(Pt 1), 11–23. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.139477>
 16. Fallentin N, Jørgensen K, Simonsen EB. (1993). Motor unit recruitment during prolonged isometric contractions. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 67(4), 335–341.
 17. Fulco CS, Rock PB, Trad LA, Rose MS, Forte VA, Young PM, Cymerman A. (1994). Effect of caffeine on submaximal exercise performance at altitude. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 65(6), 539–545.
 18. Hackett PH. (2010). Caffeine at high altitude: java at base cAMP. *High Altitude Medicine & Biology*, 11(1), 13–17. <https://doi.org/10.1089/ham.2009.1077>
 19. Hargreaves M, Spriet L. Exercise Metabolism. Human Kinetics Publishers; 2006.
 20. Harms SJ, Hickson RC (1983). Skeletal muscle mitochondria and myoglobin, endurance, and intensity of training. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 54(3), 798–802. <https://doi.org/10.1152/jappl.1983.54.3.798>
 21. Hickson RC. (1981). Skeletal muscle cytochrome c and myoglobin, endurance, and frequency of training. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 51(3), 746–749. <https://doi.org/10.1152/jappl.1981.51.3.746>
 22. Hoff J, Gran A, Helgerud, J. (2002). Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 12(5), 288–295.
 23. House S, Johnston S. Training for the New Alpinism: A Manual for the Climber as Athlete. Ventura, California: Patagonia Books; 2014.
 24. Houston C. Going Higher: Oxygen, Man, and the Mountains. The Mountaineers; 2005.
 25. Humphreys PW, Lind AR. (1963). The blood flow through active and inactive muscles of the forearm during sustained hand-grip contractions. *The Journal of Physiology*, 166, 120–135.
 26. Kenney WL, Wilmore JH, Costill DL. Physiology of Sport and Exercise. Human Kinetics Publishers; 2015.
 27. Kisner C, Colby LA. Therapeutic Exercise. F A Davis Company; 2007.
 28. Lind AR, Williams CA. (1979). The control of blood flow through human forearm muscles following brief isometric contractions. *The Journal of Physiology*, 288, 529–549.
 29. Mainwood GW, Renaud JM. (1985). The effect of acid-base balance on fatigue of skeletal muscle. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 63(5), 403–416.
 30. Mairbäurl, H. (2013). Red blood cells in sports: effects of exercise and training on oxygen supply by red blood cells. *Frontiers in Physiology*, 4. <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00332>

31. Martin WH, Dalsky GP, Hurley BF, Matthews DE, Bier DM, Hagberg JM, Holloszy JO. (1993). Effect of endurance training on plasma free fatty acid turnover and oxidation during exercise. *The American Journal of Physiology*, 265(5 Pt 1), E708-714. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1993.265.5.E708>
32. Milledge JS. (2010). The Silver Hut expedition, 1960-1961. *High Altitude Medicine & Biology*, 11(2), 93–101. <https://doi.org/10.1089/ham.2009.1087>
33. Mizuno M, Savard GK, Areskog NH, Lundby C, Saltin B. (2008). Skeletal muscle adaptations to prolonged exposure to extreme altitude: a role of physical activity? *High Altitude Medicine & Biology*, 9(4), 311–317. <https://doi.org/10.1089/ham.2008.1009>
34. Noakes T. *Lore of Running*. Oxford University Press; 2001.
35. Olbrecht J. *The Science of Winning: Planning, Periodizing and Optimizing Swim Training*. F&G Partners; 2015.
36. Pette D, Vrbová G. (1999). What does chronic electrical stimulation teach us about muscle plasticity? *Muscle & Nerve*, 22(6), 666–677.
37. Phillips S. *Fatigue in Sport and Exercise*. Routledge; 2015.
38. Ringholm S, Biensø RS, Kiilerich K, Guadalupe-Grau A, Aachmann-Andersen NJ, Saltin B. (2011). Bed rest reduces metabolic protein content and abolishes exercise-induced mRNA responses in human skeletal muscle. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism*, 301(4), E649-658. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00230.2011>
39. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Gastaldelli, Horowitz JF, Endwert E, Wolfe RR. (1993). Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism to exercise intensity and duration. *The American Journal of Physiology*, 265(3 Pt 1), E380-391. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1993.265.3.E380>
40. Rusko HK. (1992). Development of aerobic power in relation to age and training in cross-country skiers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(9), 1040–1047.
41. Spriet LL. (2014). Exercise and sport performance with low doses of caffeine. *Sports Medicine (Auckland, N.z.)*, 44(Suppl 2), 175–184. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0257-8>
42. Spriet LL, Söderlund K, Bergström M, Hultman E. (1987). Skeletal muscle glycogenolysis, glycolysis, and pH during electrical stimulation in men. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 62(2), 616–621. <https://doi.org/10.1152/jappl.1987.62.2.616>
43. Twight MF. *Extreme Alpinism: Climbing Light, High, and Fast*. Mountaineers Books; 1999.
44. Wang YX, Zhang CL, Yu RT, Cho HK, Nelson MC, Bayuga-Ocampo CR, Evans RM. (2004). Regulation of muscle fiber type and running endurance by PPARdelta. *PLoS Biology*, 2(10), e294. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0020294>
45. West JB, Hackett PH, Maret KH, Milledge JS, Peters RM, Pizzo CJ, Winslow RM. (1983). Pulmonary gas exchange on the summit of Mount Everest. *Journal of Applied Physiology*:

- Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 55(3), 678–687.
<https://doi.org/10.1152/jappl.1983.55.3.678>
46. Wright JR, McCloskey DI, Fitzpatrick RC. (1999). Effects of muscle perfusion pressure on fatigue and systemic arterial pressure in human subjects. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 86(3), 845–851. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.86.3.845>
47. Ööpik V, Port K, Jalak R, Schneider S, Männik G, Eller A, Nurmekivi A, Loko J, Thomson K, Hannus A, Raudsepp L, Randmaa T, Tõnise T. Spordi üldainete õpik - Abitreener, tase 3. Tallinn; Spordikoolituse ja -Teabe Sihtasutus: 2017.
48. Yang J, Jin ZB, Chen J, Huang XF, Li XM, Liang YB, Qu J. (2017). Genetic signatures of high-altitude adaptation in Tibetans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(16), 4189–4194. <https://doi.org/10.1073/pnas.1617042114>

SUMMARY

The aim of writing „Training for Technical Alpinism: Methodology and Physiological Aspects” was to give a thorough overview about the four principal factors that affect performance in technical alpinism: endurance, strength, metabolism and acclimatization.

Since technical alpinism is an endurance sport, the athlete’s first priority is to enhance the aerobic capacity of the slow-twitch type I muscle fibres through long low intensity training below the individual’s aerobic threshold. That’s the ultimate way to increase aerobic capacity and establish a metabolic base of support for improving the lactate shuttle process (Brooks, 1986). After that the volume of training spent at moderate intensities can be increased, helping to improve performance at the anaerobic threshold (House and Johnston, 2014). Analyzing the physiological principles of strength training in technical alpinism, the most important conclusion was that by increasing the maximal strength reserve, the individual’s endurance also increases (Helgerud *et al.*, 2002). This phenomenon is explained by the fact that maximal strength training causes a neural adaptation that increases the brain’s capability of recruiting more motor units in the motor pool on a rotational basis (Fallentin *et al.*, 1993).

Regarding the physiology of metabolism: since most of the activity in technical alpinism takes place at the intensity of 60-70% of max heart rate, the most efficient way for ATP synthesis is the aerobic oxidation of fatty acids (Romijn, 1993; House and Johnston, 2014), which is why prioritization of this aerobic metabolic pathway is the central goal of the technical alpinist’s training and nutrition. Analyzing altitude acclimatization, it became clear that although there is some evidence of a genetical predisposition to high altitude adaptation (Bigham and Lee, 2014; Yang *et al.*, 2017), acclimatization is still mainly dependent on how well oxygen is transported to the muscles and furthermore, how efficient is the individual’s oxygen consumption capacity, attained by structured endurance training (House and Johnston, 2014).

It became evident that all the factors analyzed in the thesis are in close relation. The higher the strength reserve and fatty acid based aerobic capacity that the technical alpinist has acquired by training, the more efficient the athlete’s adaptation to high altitude and the greater the individual’s speed of movement. And in alpinism, speed often means maximal safety: the less time one spends in a potentially dangerous zone, the bigger the likelihood of returning home safe from the mountains.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Rees Juurmaa, (sünnikuupäev: 20.01.1993)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Tehnilise alpinismi treening: meetoodika ja füsioloogilised aspektid“, mille juhendaja on Vahur Ööpik,

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, 07.05.2018