

Kestävyyssuorituskyvyn kehittymistä rajoittavat tekijät ja niiden harjoittelu kestävyysurheilijoilla

Heikki Rusko

LitT, emeritusprofessori, KIHUn entinen johtaja ja vanhempi tutkija

Juha Peltonen

LitT, liikuntafysiologian dosentti, HULA - Helsingin Urheilulääkäriasema ja Liikuntalääketieteen yksikkö, Clincium, Helsingin yliopisto

2022

Sisällys

Tiivistelmä.....	3
Johdanto	4
Miksi maitohappoa muodostuu ja happamuus alkaa lisääntyä nopeuden/työtehon lisääntyessä?	5
Miksi vauhti hidastuu ja/tai suoritus keskeytetään kestävyys suorituksissa?	7
Harjoitusvaikutuksen syntyminen	8
Voimantuotto ja sen harjoittelu kestävyyslajeissa/-suorituksissa	9
Ehdotuksia kestävyyslajien voima- ja nopeusharjoittelun kehittämiseksi	11
1. Voimaharjoituskerrat	12
2. Kestävän nopeusvoiman harjoitus	12
3. Lajispesifinen voimakestävyys.....	13
4. Askelpituus	14
Entä maksimaalisen hapenoton ja sydämen maksimaalisen minuuttitilavuuden kehittäminen?.....	14
Ehdotuksia kestävyys harjoittelun kehittämiseksi	16
Yhteenvetoa	17

Tiivistelmä

Perinteisesti ajatellaan, että kestävyysuoritus rajoittaa ensisijaisesti hengitys- ja verenkiertoelimistön suorituskykyä kuvaava maksimaalinen hapenotto, jota puolestaan rajoittaa sydämen maksimaalinen minuuttitilavuus, ja väsymyksen aiheuttaa hapen puutteesta johtuva maitohapon muodostuminen ja happamuuden lisääntyminen. Tässä kirjoituksessa pohditaan, mitkä tekijät rajoittavat kestävyysurheilijoiden maksimaalista hapenottoa ja kestävyysuorituskykyä ja niiden kehittymistä silloin, kun ne alkavat tasaantua yksilölliselle maksimitasolle.

Kirjoituksessa analysoidaan aluksi miksi maitohappo alkaa muodostua lihaksissa enenevässä määrin submaksimaalisissa kuormituksissa tehon/nopeuden noustessa. Analysoinnin perusteella näyttää todennäköiseltä, että useat lihaskudoksen perifeeriset supistusmekanismeihin ja energiantuottoon liittyvät ominaisuudet yhdessä tehon lisäykseen liittyvän voimistuvan stressireaktion kanssa käynnistävät lisääntyneen maitohapon muodostuksen.

Kirjoituksessa analysoidaan myös väsymiseen liittyviä tekijöitä. Maksimaalisen hapenoton paraneminen harjoittelun vaikutuksesta parantaa kestävyysuorituskykyä, mutta 'hapottaminen' ja hapenpuute eivät ainakaan yksistään selitä vauhdin hidastumista ja lihasväsymystä. Lihaskudoksen perifeeriset supistusmekanismeihin ja energiantuottoon liittyvät ominaisuudet ja vähemmän harjoitusta saaneiden lihassolujen pitkäaikainen käyttö ovat todennäköisesti mukana selittämässä lihasten voimantuoton ja suoritusnopeuden heikkenemistä.

Edellä mainittuihin analyysihin perustuen nykyistä suhteellisen pieniä toistomääriä sisältävää kestävyyslajien maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelua voitaisiin kehittää lisäämällä systemaattisesti ja progressiivisesti voimaharjoituskertoja ja/tai ottamalla käyttöön uusia kestävästi nopeusvoiman harjoituksia ja lajispesifisiä voimakestävyysharjoituksia, joilla voimakestävyysominaisuuksien taustalla vaikuttavia lihasten ja lihassolujen perifeerisiä voimantuottoon, energiantuottoon, hiilidioksidin ja happamuuden säätelyyn, lihaskudoksen happivarastoihin ja hapen diffuusioon sekä näiden toimintojen säätelyyn liittyviä tekijöitä voitaisiin kehittää. Lopuksi paneudutaan vielä varsinaisten kestävyysharjoitusten tekemiseen niin, että maksimaalista hapenottoa ja kestävyysuorituskykyä voitaisiin edelleen kehittää myös silloin, kun ne alkavat tasaantua.

Johdanto

Kestävyyssuoritusten nopeudet/ennätykset ovat vuosien mittaan vähitellen lisääntyneet/parantuneet ja viime vuosina yhä nuoremmat urheilijat ovat saavuttaneet maailman huipputason. Suomalaiset nuoret menestyvät hyvin nuorten sarjoissa, mutta nousu yleisen sarjan huipulle saattaa kestää vuosia. Kestävyyssuorituskykyä rajoittavista tekijöistä, samoin kuin väsymisestä kestävyys-suorituksessa, on lukuisia teorioita. Perinteisesti ajatellaan, että kestävyysuoritusta rajoittaa ensisijaisesti hengitys- ja verenkiertoelimistön suorituskykyä kuvaava maksimaalinen hapenotto (VO_{2max}), jota puolestaan rajoittaa sydämen maksimaalinen minuuttitulavuus (Cardiac Output, CO_{max}), ja väsymyksen aiheuttaa hapen puutteesta johtuva maitohapon muodostuminen ja happamuuden lisääntyminen.

Nykyään tunnustetaan jo yleisesti, että kestävyysuorituskykyä ja sen kehittymistä rajoittavat hengitys- ja verenkiertoelimistön lisäksi myös hermo-lihasjärjestelmän voima- ja nopeusominaisuudet. Jo 1980-luvulla Suomen maastohiihdossa oltiin siinä tilanteessa, että hiihtäjillä oli hyvä VO_{2max} , mutta kestävyysuorituskyky ei välttämättä ollut niin hyvä kuin VO_{2max} antoi odottaa. Tuolloin urheilijat tekivät Jyväskylässä VO_{2max} -testin jälkeen toisen testin VO_{2max} :a vastaavalla nopeudella, jolloin uupumisaika vaihteli 1–6 minuutin välillä osoittaen hyvin suuria eroja kyvyssä kestää työskentelyä maksimiteholla. Tutkimusten perusteella tiedettiin, että pelkkä kestävyysharjoittelu heikentää lihasten voima-nopeusominaisuuksia ja silloin alettiin aikaisempaa enemmän painottaa voima- ja nopeusharjoittelua ja lisättiin hiihtäjien pitkäkestoisiin kestävyysharjoituksiin myös lyhyitä noin kilpailuvauhtisia spurttuja ('ruskot') nopeusominaisuuksien ja kovavauhtisen hiihtotekniikan ylläpitämiseksi ja kehittämiseksi.

Kestävyyslajien voimaharjoittelun kehittämiseksi on 1990-luvulta alkaen tehty sekä Suomessa että ulkomailla lisää tutkimuksia, joissa on selvitetty voima-nopeusominaisuuksien merkitystä kestävyysuorituskykyyn. Harjoittelututkimuksissa keskityttiin nopean voimantuoton, maksimaalisen nopeusvoiman ja nopeuden kehittämiseen ensisijaisesti erilaisten loikkien, hyppyjen ja spurttien avulla. Samalla kehitettiin kevennyshypyn lisäksi kestävyysurheilijoillekin sopiva juoksumattotesti voima- ja nopeusominaisuuksien mittaamiseksi, eli ns. MART-testi (maximal anaerobic running test), jossa myös havaittiin suuria eroja hyvienkin kestävyysurheilijoiden välillä. Lähivuosina voidaan suoritustehoa mitata perinteisten pyöräilyn ja soudun ohella myös juoksussa ja hiihdossa ja laskea Kriittisen tehon (Critical power) ja sen yläpuolella olevan energiareservin (W') arvoja harjoittelun ja sen vaikutusten seurannassa yhä useammassa kestävyyslajeissa.

Tässä kirjoituksessa pohditaan mitkä tekijät rajoittavat kestävyysurheilijoiden VO_{2max} :a ja kestävyysuorituskykyä ja niiden kehittymistä silloin, kun sekä VO_{2max} että kestävyysuorituskyky alkavat tasaantua yksilölliselle maksimitasolle. Aluksi/taustaksi analysoidaan maitohapon muodostukseen ja väsymykseen liittyviä fysiologisia tekijöitä ja kestävyyslajien voima- ja nopeusharjoittelua. Sitten analyysiin perustuen pohditaan mahdollisia uusia kestävyyslajien voimaharjoituksia. Lopuksi pohditaan, miten VO_{2max} :a CO_{max} :a ja kestävyysuorituskykyä voitaisiin parantaa, erityisesti silloin, kun voima- ja nopeusominaisuuksia on saatu kehitettyä aikaisempaa paremmiksi.

Miksi maitohappoa muodostuu ja happamuus alkaa lisääntyä nopeuden/työtehon lisääntyessä?

Kun urheilija työskentelee asteittain suurenevalla teholla/nopeudella, lihakset alkavat tuottaa maitohappoa, joka hajoaa vetyioniksi ja laktaatiksi, ja laktaattia alkaa kertyä vereen lisääntyvässä määrin noin 60–70 % työtehon ylityttyä. 1960–70-luvuilla tätä ilmiötä alettiin yleisesti kutsua 'anaerobiseksi kynnykseksi', koska lihasten hapenpuutteen arveltiin olevan syynä maitohapon muodostumiseen. Sittemmin tutkimukset ovat osoittaneet, että lihaksissa on submaksimaalisessa kuormituksessa riittävästi happea oksidatiivisen fosforylaation ylläpitämiseksi ja joidenkin tutkijoiden mukaan jopa ns. Wingate-testin tai MART-testin aikana, jolloin työteho on reilusti yli 100 % VO_{2max} :sta. Niinpä jo 1990-luvulla maailmalla tutkijoiden piirissä luovuttiin 'anaerobisesta kynnyksestä' ja alettiin käyttää muita termejä, kuten laktaattikynnys, ventilaatiokynnys.

Mutta miksi maitohappoa sitten alkaa muodostua lihaksissa enenevässä määrin jo submaksimaalisissa kuormituksissa tehon/nopeuden noustessa, vaikka verenvirtausta pystyttäisiin lisäämään, happea on näyttäisi olevan riittävästi käytettävissä, ja harjoittelun myötä hapenkulutus submaksimaalisissa kuormituksissa ei kasva vaan pikemminkin pienenee hyötysuhteen parantuessa?

Kestävyysurheilijoiden lihasten hapenkäyttökyky on erittäin suuri runsaan kestävyysharjoittelun vaikutuksesta eikä se voi olla syy maitohapon muodostukselle submaksimaalisessa kuormituksessa. Hapen saannilla tiedetään olevan merkittävä vaikutus maitohapon tuotantoon, sillä hypoksia ja hyperoksia tutkimukset osoittavat yksiselitteisesti, että hypoksiassa eli hapen puutteessa valtimoveren happikyllästeisyys on matalampi, ja syke, veren laktaattipitoisuus ja rasiuksen tuntemus ovat korkeampia kuin normoksiassa. Hyperoksiassa puolestaan korkeampi valtimoveren happikyllästeisyys heijastuu matalampana veren laktaattipitoisuutena, sykkeenä ja rasiuksen tuntemuksena, mutta **silti kaikissa näissä tilanteissa hapenkulutus (VO_2) on submaksimaalisilla vakiokuormilla sama**. Signaalina saattaisi olla lihassolujen hapen osapaine, jolla on keskeinen vaikutus lihassolujen supistustoimintaan ja metaboliaan. Sen laskiessa hetkellisestikin lihassolunadenosiinidifosfaatti- (ADP) ja epäorgaaninen fosfaatti (P_i) -pitoisuudet nousevat ja aiheuttavat glykolyysin kiihtymisen. Lihaskudosten myoglobiinilla on merkittävä vaikutus (sekä happivarastona että hapen diffuusiota edistävänä tekijänä) lihassolujen hapen osapaineen ylläpitäjänä. Harjoittelun vaikutuksesta hapen jakelun paraneminen ja myoglobiinin lisääntyminen auttavat ylläpitämään lihassolujen hapen osapainetta koko ajan korkeammalla, mutta silti lihasten verenvirtaus ja hapenkulutus vakiokuormituksessa pysyvät samana. Maitohapon muodostuksen monitahoisuutta kuvastaa se, että kestävyysurheilijoilla yksi suorituskykyä selittävä tekijä on se, että parhailla urheilijoilla hapen osapaine laskee maksimikuormituksessa enemmän kuin alemman tason urheilijoilla, mikä saattaisi johtua lihassolujen energiantuottoon, myoglobiiniin, lihasten supistustoiminnan ylläpitoon sekä maitohapon muodostukseen ja happamuuden poistoon liittyvistä tekijöistä. Mielenkiintoista on myös se havainto, että **hypoksian/hyperoksian vaikutuksesta VO_{2max} pienenee/suurenee paljon enemmän, kuin maksimaalinen suorituskyky vastaavasti pienenee/suurenee**. **Kaikki em. tutkimustulokset viittaavat siihen, että lihaskudoksen hapen saannista riippumattomat ominaisuudet vaikuttavat myös maitohapon tuottoon ja kestävyysurituskykyyn.**

Lihaksen sisäiset energiantuottomekanismit voisivat olla yksi selitys maitohapon tuoton kiihtymiselle. Työtehon noustessa käytetään aikaisempaa nopeammin/enemmän ATP:tä ja kreatiinifosfaattia (KP). ATP- ja KP-varastojen vähentyessä/loppuessa ADP:n ja epäorgaanisen fosfaatin (P_i)

lisääntyminen stimuloi lisää sekä oksidatiivista fosforylaatiota että glykolyysiä ATP:n tuottamiseksi. Tällöin pienikin tehon lisäys saattaa aiheuttaa lyhyen lihassolujen hapen osapaineen laskun ja lisääntyneen glykolyysin, jolloin maitohappoa muodostuu nopeammin kuin sitä ehditään käyttää/poistaa. Työtehon edelleen kasvaessa KP vähenee ja P_i lisääntyy entistä enemmän, ja maitohappoa muodostuu myös entistä enemmän. Myös ”liian nopea kiihdytys” suorituksen alussa tai kriittisissä vaiheissa suorituksen aikana saattaa hetkellisesti pienentää ATP- ja KP-varastoja ja kiihdyttää maitohapon muodostusta.

Toinen selitys voisi olla vähemmän harjoitusta saaneiden ja varsinkin nopeiden lihassolujen rekrytointi. Joidenkin tutkimusten perusteella kynnysominaisuuksia vastaavilla tehoilla lihasten EMG-aktiivisuus alkaa lisääntyä nopeammin kuin pelkkä tehon lisäys edellyttäisi, ja tämä liittyisi nopeiden lihassolujen lisääntyneeseen rekrytointiin. Nopeissa lihassoluissa verenvirtaus/hapensaanti (vähäisempi kapillarisaatio), ja hapen käyttöön liittyvät entsyymit ym. ominaisuudet eivät välttämättä ole kovin hyvin kehittyneitä, ja niissä muodostuu maitohappoa nopeammin, kuin sitä ehditään käyttää/poistaa, ja laktaattia alkaa vähitellen kasaantua vereen. Uusien lihasten ja lihassolujen rekrytointi aiheuttanee myös sellaisia lihasten välisen ja sisäisen verivirtauksen muutoksia, joihin säätelymekanismit eivät ole tottuneet. Tällöin pienikin tehon lisäys saattaa aiheuttaa lyhyen akuutin verenvirtauksen tai hapen puutteen ja lisääntyneen glykolyysin, ja maitohappoa muodostuu nopeammin kuin sitä ehditään käyttää/poistaa.

Kolmas selitys voisi liittyä elimistön stressireaktioihin, joita tarvitaan lihasten aktivoiminnin, työtehon ja energiantuoton lisäämiseksi. Jo kymmeniä vuosia on tiedetty, että työtehon noustessa stressihormonien erityis ja pitoisuus veressä alkaa lisääntyä voimakkaasti suunnilleen samalla teholla veren laktaattipitoisuuden lisääntymisen kanssa. Myös sykevaihtelututkimukset ovat vahvistaneet, että sydämen parasympaattisen säätelyn kapasiteetti loppuu ja sympaattinen aktivaatio alkaa lisääntyä merkittävästi suunnilleen samoilla työtehoilla, kuin laktaattipitoisuus veressä alkaa lisääntyä. Stressihormonien tiedetään aktivoivan glykolyysiä, ja maitohappoa saattaa tästäkin syystä alkaa muodostua enemmän/nopeammin työtehon noustessa. Stressihormonit vaikuttavat lähes kaikkiin elimistön toimintoihin, jotka parantavat kykyä selvitä lisääntyvästä työtehosta, esim. sydänlihaksen kontraktiiviteettiin tehostaen sydämen pumppaustoimintaa. Siksi myös muut stressireaktioihin ja lihasten aktivaatioon ja voimantuottoon yhteydessä olevat tekijät saattavat vaikuttaa glykolyysin lisääntymiseen.

Neljäs selitys voisi liittyä siihen, miksi nopeuskestävyysslajien urheilijat kertovat, ettei yli 10 mmol/l laktaattipitoisuus ei tunnu 'hapottavalta', vaikka kestävyysurheilijoilla samat lukemat tuntuvat. Nopeuskestävyysslajien urheilijoilla maksimaalinen maitohappopitoisuus on suurempi kuin kestävyyslajien urheilijoilla ja tuntemus olisi suhteessa yksilölliseen maksimilaktaattiin. Kuitenkin monet kestävyyslajien urheilijat pystyvät myös saavuttamaan erittäin korkeita laktaattipitoisuuksia. Vaikka happamuus ei ole lihasten toimintaa haittaava tekijä submaksimaalisilla työtehoilla, voivat erilaiset happamuuden puskurointi- ja poistomekanismien ominaisuudet myös selittää sitä, että nopeuskestävyysslajien urheilijat pystyvät tuottamaan ja käsittelemään suuria maitohappopitoisuuksia. Nopeuskestävyysslajien urheilijoiden hyvät voima-nopeusominaisuudet saattaisivat myös selittää tuntemuseroja. Voima-nopeusominaisuuksien merkitystä vahvistaa se, että maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelu on muiden vaikutusten lisäksi parantanut kestävyysurheilijoiden kynnysominaisuuksia.

Yhteenvedon työtehon/nopeuden lisääntyessä tehon ollessa vielä suhteellisen matala (laktaattikynnys), **hapen saanti verenkierron kautta ei ole ainoa syy lihasten maitohapon muodostukselle**. Mikään muukaan yksittäinen tekijä ei todennäköisesti selitä maitohapon tuoton lisääntymistä, vaan **useat lihaskudoksen voiman ja nopeuden tuottoon, energiantuottoon, hiilidioksidin ja happamuuden puskurointiin ja poistoon, lihassolujen hapen osapaineen ja diffuusion ylläpitoon sekä säätelymekanismeihin liittyvät ominaisuudet yhdessä voimistuvan stressireaktion kanssa käynnistävät lisääntyneen maitohapon muodostuksen**. Miten näitä muita maitohapon muodostukseen liittyviä ominaisuuksia voitaisiin kehittää?

Miksi vauhti hidastuu ja/tai suoritus keskeytetään kestävyys suorituksissa?

Lyhytkestoisissa suorituksissa, esimerkiksi 400 m juoksussa, nopeus alkaa heiketä 200 m juoksun jälkeen, vaikka lihaksissa on vielä ATP:tä ja lihaksen laktaattipitoisuus on noussut vain noin 50 %:iin maksimitasosta. Tällöin erityisesti KP :n vähäisyys, P_i :n kertyminen ja lihasten happamuus alkavat vaikuttamaan nopeuteen heikentämällä voimantuotto-ominaisuuksia. Myös lihasten kyky ylläpitää varsinaisia voima-nopeusominaisuuksia koko suorituksen ajan saattaa olla riittämätön.

Pitempiketoisissa suorituksissa, esim. keski- ja pitkän matkan juoksu, lihasten happamuuden lisääntymistä ('hapottaminen') on pidetty suurimpana syynä lihasväsymykselle, mutta nykyisen tutkimustiedon mukaan happamuudella on vähäinen suora vaikutus lihasten toimintaan. Tällöinkin KP :n väheneminen ja siihen liittyvä P_i :n lisääntyminen ja lihaskudoksen supistusmekanismien ylläpito (esim. Ca, Na, K, Mg -pitoisuuksien säätely) saattaisivat olla tärkeimmät syyt lihasväsymykselle, kontaktiajan pitenemiselle ja askelpituuden lyhenemiselle. Happamuuden puskurointi- ja poistomekanismien erot voisivat myös selittää erilaista lihasväsymystä.

Pitkäkestoisissa kestävyys suorituksissa lihasten ja veren laktaattipitoisuus ja happamuus säilyvät matalana, ja jos maitohappoa/laktaattia muodostuu, se on erinomaista "ravintoa" energian muodostamiseen aivoissa, lihaksissa ja sydämessä. **Maitohappopitoisuuden mataluudesta huolimatta kestävyys suorituksen aikana voimantuottonopeus alkaa heiketä, kontaktiaika pitenee ja askelpituus lyhenee, vaikka samanaikaisesti uusia (myös nopeita) lihassoluja aletaan rekrytoida**. Kestävyys suorituksen loppuvaiheissa saattaa ongelmana olla myös lihaskrampin lisääntyminen ilman, että veren laktaattipitoisuus olisi korkea tai happamuus olisi lisääntynyt. Lihasten hermo-lihasjärjestelmän supistusmekanismien ylläpitäminen (esim. Ca, Na, K, Mg -pitoisuuksien säätely) heikkenee suorituksen aikana ja saattaa olla päätekijä vauhdin hidastumiselle/väsymiselle ja krampin taipumukselle. Koko koordinoitujen rekrytointijärjestelmän toimintamekanismien heikentyminen ml. keskushermoston toimintaan liittyvät tekijät saattavat myös vaikuttaa.

Työskenneltäessä laboratorio-olosuhteissa tasaisella 80–100 % teholla maksimaalisesta hapenotosta uupumukseen saakka stressihormonien tasot ja veren laktaattipitoisuus lisääntyvät ja myös esimerkiksi reisilihasen EMG-aktiivisuus lisääntyy melko tasaisesti suorituksen aikana, kunnes suoritus joudutaan keskeyttämään. Kenttäolosuhteissa 5 km aikakokeen aikana EMG aktiivisuus saattaa laskeakin suorituksen aikana loppukiriin asti ja kokeneemmat juoksijat säilyttävät EMG-aktiivisuuden suhteessa korkeammalla tasolla kuin kokemattomat juoksijat. Kilpailujen ja/tai kovatehoisten laboratoriokuormitusten jälkeen lihasten rekrytointikyky ja voimantuotto

ovat myös alentuneet ja heti kuormituksen jälkeen mitattu VO_{2max} :kin jää pienemmäksi kuin ennen suoritusta tehdyssä maksimitestissä. Voimakestävyys (strength-endurance performance) myös heikkenee sitä enemmän, mitä pitempikestoinen edeltävä kestävyysuoritus on ollut.

Lihasten glykogeenipitoisuuden tutkimukset osoittivat aikanaan, että yksi syy väsymiseen saattaisi olla hiilihydraattien tarjonnan hiipuminen suorituksen aikana, mutta lyhytkestoisissa kestävyysuorituksissa glykogeenin loppuminen on epätodennäköistä. Toisaalta hyvin pitkäkestoisten kestävyysuoritusten työteho on sellainen, että energiaa pystytään tuottamaan riittävällä nopeudella myös rasvoista. Triathlon- ym. vastaavat ultrapitkät kilpailut ovat tästä hyvä esimerkki. Glykogeenitutkimukset ovat myös osoittaneet, että lihassoluja ja myös nopeita lihassoluja rekrytoidaan vähitellen lisää kestävyysuorituksen jatkuessa. Glykogeenitutkimusten toinen tärkeä anti saattaakin olla siinä, että kestävyysuorituksissa joudutaan rekrytoimaan pitkäksi aikaa vähemmän harjoitusta saaneita lihassoluja, joiden kestävyysominaisuudet verenvirtauksen, hapen käytön ja supistusmekanismien ylläpidon suhteen ovat rajalliset. Uupumukseen johtavan pitkäkestoisen kuormituksen aikana elimistön ja lihasten toimintakykyä, sydänlihas mukaan lukien, pyritään ylläpitämään myös veren stressihormonipitoisuuksia nostamalla, ja vaikka uupumukseen johtavan pitkäkestoisen kuormituksen aikana stressihormonitasot veressä nousevat, ne laskevat niitä tuottavissa kudoksissa lisämunuaisissa huomattavastikin. Hyvin pitkäkestoisissa suorituksissa stressihormonitaso laskee veressäkin, laskien vakiokuormituksessa sykettä ja lisäten iskutilavuutta.

Yhteenvetona kestävyysuorituksen jatkuessa pitkään kovalla teholla/nopeudella 'hapottaminen' ja hapenpuute eivät ainakaan yksistään selitä vauhdin hidastumista ja lihasväsymystä. **Lihaskudoksen perifeeriset supistusmekanismeihin ja energiantuottoon liittyvät mekanismit, glykogeenin väheneminen, vähemmän harjoitusta saaneiden lihassolujen pitkäaikainen käyttö ja sentraaliset tekijät ovat todennäköisesti mukana selittämässä lihasten voimantuoton ja suoritusnopeuden heikkenemistä.** Voidaanko näitä lihaskudoksen voimantuoton ylläpitoon liittyviä ominaisuuksia kehittää ja jos voidaan, niin millaisella harjoittelulla?

Harjoitusvaikutuksen syntyminen

Overload ja progressio ovat kaksi tärkeintä periaatetta harjoitusvaikutuksen syntymisessä. Jotta harjoitusvaikutus syntyisi, on harjoittelun vaativuutta pyrittävä jatkuvasti ja systemaattisesti lisäämään niin, että se aiheuttaa overloadin. Vaativuutta voidaan lisätä monella tavalla, teholla, frekvenssillä, kestolla ja niiden erilaisilla yhdistelmillä. Yksinkertaistettuna jotakin on tehtävä sellaisella tavalla, että se signaloi elimistölle, että nykyinen "kunto" ei riitä. Mitä parempi kunto urheilijalla on, sitä vaikeampaa hänen on tehdä tällaisia overload-harjoituksia. Muista harjoitusvaikutuksen syntyyn liittyvistä teorioista symmorfoosi-teoria saattaisi myös selittää, miksi kestävyysuorituskyky, VO_{2max} , CO_{max} alkavat tasaantua. Teorian mukaan elimistön rakenteelliset ja toiminnalliset ominaisuudet, ml. VO_{2max} , CO_{max} ja lihasten perifeeriset verenvirtaukseen, energiantuottoon ja supistusmekanismien toimintaan liittyvät ominaisuudet ovat kaikki kehittyneet sellaiselle tasolle, että kaikkien ominaisuuksien 'ylikuormittaminen' yhtä aikaa on vaikeaa. Tällöin **mikä tahansa uusi riittävän ylikuormittava muutos 'normaalissa' harjoittelussa voisi aiheuttaa muutoksia suorituskyvyssä ja sitä rajoittavissa tekijöissä.** Tällaisia kestävyysurheilijoiden kestävyysvaikuttavia harjoittelutekijöitä on ollut jonkin tarvittavan ominaisuuden harjoittelun

painottaminen joksikin aikaa (jaksotus), esim. harjoitusmäärän runsas lisäämien, muutaman viikon harjoitustehoa painottava 'ylikuormitusharjoittelu' (overreaching) ja voimantuotto-ominaisuuksia painottava maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelu, joilla kaikilla on saatu merkittäviä parannuksia kestävyysurheilijoiden suorituskykyyn suhteellisen lyhyessä ajassa. Samoin vuoristo- ja alppimajaharjoittelulla voidaan lisätä veren hapenkuljetuskapasiteettia, mikä mahdollistaa myös VO_{2max} :n kehittymisen.

Symmorfoosi-teorian ei kuitenkaan ajatella pitävän paikkaansa kestävyysurheilijoilla, joilla lihaskudoksen hapenkäyttökapasiteetti ja kyky virtauttaa verta lävitseen on suurempi kuin maksimaalisen sydämen minuuttivolyymin aikana toteutuva lihasten verenvirtaus ja lihasten hapenkulutus. Esimerkiksi silloin, kun maksimaalista työtä tehdään pienellä lihasmassalla (yhdellä jalalla) verta virtaa lihaksen läpi enemmän ja lihaksen hapenkulutus on suurempi kuin suurella lihasmassalla (kahdella jalalla) maksimaalisesti työskenneltäessä. Näitä tuloksia voisi tulkita siten, että lihaskudoksen hapenkäyttökyky saa paljon harjoitusta perinteisistä matalatehoisista kestävyysharjoituksesta ilman, että CO_{max} ja VO_{2max} kehittyvät ja että sentraalinen säätely joutuu rajoittamaan perifeeristä verenvirtausta, koska CO_{max} ei ole riittävän suuri. Siksi kestävyysurheilijan, jonka maksimaalinen hapenottokyky ja kestävyysuorituskyky ovat tasaantuneet, pitäisi harjoituksillaan pyrkiä kehittämään paitsi kilpailuvauhtiaan, erityisesti myös sydämen maksimaalista minuuttivolyyymiä (CO_{max}).

Edellä oleviin analyysihin perustuen, suorituskyvyn kehittymisen tasaantuessa, harjoituksissa pitäisi ensin pystyä rekrytoimaan aikaisempaa enemmän kilpailusuorituksen kannalta oikeita lihaksia ja lihassoluja, jotta ne pystyisivät tuottamaan vähän aikaisempaa suurempaa voimaa ja nopeutta, lisäämään askelpituutta (tai liukupituutta) ja lyhentämään kontaktiaikaa (esim. maksimi- ja nopeusvoima-harjoittelu). Tämän jälkeen tätä vähän suurempaa voimaa/nopeutta/askelpituutta pitäisi pystyä tuottamaan/ylläpitämään vähän pitempään kuin aikaisemmin, ja sitä kautta parantamaan muita lihasten perifeerisiä ominaisuuksia (ks. edellisten kappaleiden yhteenvedot). Tällöin olisi mahdollista tehdä varsinaisia kestävyysharjoituksia aikaisempaa kovemalla teholla, mikä toimisi signaalina CO_{max} :n kasvattamiselle. Tämän lisäksi pitäisi vielä pyrkiä kehittämään suuremman voiman ja nopeuden vaatimaa tekniikkaa ja hyötysuhdetta/taloudellisuutta. Toisin sanoen **kestävyysuorituskyvyn, maksimaalinen hapenoton ja sydämen minuuttivolyymin kasvu riippuisi urheilijan kyvystä lisätä kilpailusuorituksessa tarvittavien lihasten rekrytointia ja voimantuottoa aikaisempaa enemmän aikaisempaa pitemmäksi/riittävän pitkäksi aikaa.** Yhtäältä kyseessä on siis voiman ja nopeuden tuottoon liittyvät mekanismit, ja toisaalta hapen saantiin ja käyttöön liittyvät mekanismit, joiden kehittäminen näyttäisi monelta osin olevan toisistaan riippuvaisia. Tässä pohdinnassa painotetaan voiman ja nopeuden tuottoon ja suorituskykyyn liittyviä tekijöitä ja lopussa pohditaan myös hapen käyttöön ja saantiin liittyvien tekijöiden kehittämistä.

Voimantuotto ja sen harjoittelu kestävyyslajeissa/-suorituksissa

Kestävyyslajien voima- ja nopeusharjoittelua suunniteltaessa on otettava huomioon lajisuorituksessa tarvittavan voiman taso, voimantuottonopeus, lajissa tehtävien toistojen määrä ja lajisuorituksen kesto aika. Voimantuottoaika ja -nopeus ovat lajispesifisiä (vrt. soutu ja kestävyysjuoksu) ja osittain riippuvaisia lajisuorituksen kestosta. Kestävyysuorituksessa käytettävä voimataso

riippuu siitä, minkä tehoinen ja kestoinen kestävyysasuoritus on. Esimerkiksi poljettaessa ergometriä nopeudella 60 polkaisua/min, on voimataso maksimaalisen hapenoton teholla noin 35–40 % ja laktaattikynnyksen teholla noin 25–30 % kyseisen polkemisnopeuden maksimivoimasta. Jos voimatasoa verrataan maksimaaliseen isometriseen maksimivoimaan tai yhden toiston maksimivoimaan, ollaan vielä pienemmissä prosentissa.

Juoksunopeus on askelpituuden ja askelfrekvenssin tulo. Kestävyysjuoksussa vauhtia lisätään ensisijaisesti askelpituutta lisäämällä ja loppukirivaiheissa myös askelfrekvenssiä lisäämällä. Askelpituus puolestaan riippuu lihasten voima-nopeusominaisuuksista. Yksilöllisesti urheilijoilla voi olla vähän lyhempi tai pidempi askelpituus, mutta useissa eri urheilulajeissa (esimerkiksi pika- ja kestävyysjuoksussa, uinnissa, hiihdossa, soudussa) hyvillä urheilijoilla on keskimäärin pitempi askelpituus tai liukupituus kuin huonommilla urheilijoilla. Useissa tutkimuksissa on myös voitu osoittaa, että saman maksimaalisen hapenottokyvyn omaavilla on kestävyysasuorituskyvyssä eroja, joita selittävät lihasten voima-nopeusominaisuudet (esim. kevennyshypyn korkeus, lihasten preaktivaation suuruus, kontaktiajan kesto, MART-testin tulokset ym.).

Useissa tutkimuksissa on lisäksi osoitettu, että yhdistetyllä kestävyys- ja voimaharjoittelulla voidaan parantaa sekä kestävyysurheilijoiden että ei-urheilijoiden lihasten maksimivoimaa, nopeaa voimantuottoa, juoksun taloudellisuutta ja kestävyysasuorituskykyä. Sen sijaan VO_{2max} ei yleensä ole parantunut mutta toisaalta ei myöskään huonontunut. Joissakin tutkimuksissa kestävyysominaisuuksiltaan parantuneiden nopeiden lihassolujen (IIA-tyypin solujen) osuuden on myös todettu lisääntyvän samalla tavalla yhdistetyllä kestävyys- ja voimaharjoittelulla kuin intervallityyppisessä kovatehoisessa kestävyysharjoittelussa. Pudotushyppyharjoittelun on myös todettu parantavan kestävyysasuorituskykyä paitsi merenpinnan tasolla, myös akuutisti vuoristo-olosuhteissa, vaikka vuoristossa hapensaanti lihaksiin on alentunut. Viime vuosina on osoitettu myös HIIT-harjoittelun kehittävänsä maksimaalista hapenottoa, lihasten voima- ja nopeusominaisuuksia (esim. kevennyshyppy) sekä sprinttimatkan triathlonsuoritusta muiden vaikutustensa lisäksi. Kun voimantuotto-ominaisuudet kehittyvät erilaisten voima- ja nopeusharjoitusten avulla, ne mahdollistavat suuremman askelpituuden ja paremman kestävyysasuorituksen ja myös voima-nopeusreserviä on vähän enemmän.

Voimaharjoittelun tavoitteena tulisi siis olla nykyistä suurempi ja nopeampi voimantuotto, jota olisi myös pystyttävä jatkamaan pitempään kuin aikaisemmin, eli toistettava vähän suurempaa ja vähän nopeampaa voimantuottoa satoja tai tuhansia kertoja lajin mukaan koko kestävyysasuorituksen ajan. Esimerkiksi, jos juoksuaskelpituus on 2 m, tulee 10000 m juoksussa 5000 askelta ja 5000 m juoksussa 2500 askelta. Aikaisemmissa kestävyyslajien maksimi- ja nopeusvoiman harjoittelututkimuksissa toistomäärät ovat vaihdelleet paljonkin, mutta suhteutettuna em. kestävyysjuoksun askelmääriin toistomäärät ovat olleet melko vähäisiä, esim. 5–10*20–100 m sprinttejä ja yhteensä 30–200 toistoa erilaisissa voimaharjoituksissa 5–20 toiston sarjoina.

Myös käytännössä kestävyyslajien maksimi- ja nopeusvoimaharjoituksissa toistomäärät ovat melko pieniä. Tyypillisesti voimaharjoittelua on kaksi kertaa viikossa (esim. ma ja to), ja silloin tehdään sekä dynaamisia että isometrisiä liikkeitä, koska isometrisillä maksimivoimaharjoituksilla on todettu olevan rakenteita (jänteet, ligamentit, lihasten väliset kudokset) vahvistavia vaikutuksia. Harjoituksissa on 2–4 pääliikettä, jotka kohdistuvat alaraajoihin ja lantion seutuun, ja saman verran tukevia liikkeitä, jotka kohdistuvat keskivartaloon ja ylävartaloon. Pääliikkeissä progressio

menee kevyemmistä painoista raskaampiin (ei kuitenkaan juurikaan ykkösmaksimeja) ja vähän myös sarjoja lisäämällä, mutta yleisesti ottaen progressio vaikuttaisi vähäiseltä. Dynaamisissa liikkeissä toistot rajoittuvat 4–10/sarja ja sarjoja 3–6. Jos juoksuvoimaa kehittäviä liikeitä on 4, sarjoja 6 ja toistoja 10/sarja, tulee toistojen kokonaismääräksi yhdellä harjoituskerralla 240. Usein viikossa on lisäksi nopeuspäivä, jolloin juostaan ei-maksimaalisella teholla mäkipetoja ja loikkia tai radalla/hallissa tehdään submaksimaalisia nopeusvetoja lisäten vauhteja kauden edetessä oman lajin nopeusvaatimukset huomioiden.

”More specifically, endurance training consists of several thousand submaximal contractions per training session in contrast to resistance training, which consists of 10–30 high-intensity muscle (maximal) contractions per training session.” *”Therefore sport scientists and practitioners should implement long-term training strategies that promote the greatest muscular strength within the required context of each sport/event.”* Nämä lainaukset kirjallisuudesta osoittavat, että eri puolilla maailmaa on varmaan paljonkin pohdittu mahdollisuuksia kehittää edelleen nykyistä kestävyyslajien voimakestävyys- ja voima- ja nopeusharjoittelua.

Varsinaisten voima- ja nopeusharjoitusten lisäksi toki tehdään intervalliharjoituksia ja pitempikes- toisia vetoja kestävyys- ja VO_{2max}:n kehittämiseksi, mutta silloin ensisijaisena tavoitteena ei ole parantaa voima-nopeusominaisuuksia ja suoritusta rajoittavat kaikki muutkin tekijät kuin lihasten voima-nopeusominaisuudet (symmorfoositeoria). Tällainen harjoittelu voi kehittää hyvin myös voima-nopeusominaisuuksia, jos/kun niitä tehdään riittävän intensiivisesti ja riittävän paljon (’ylikuormitus/overreaching-periaatteella’). Voidaan kuitenkin kysyä, voitaisiinko lihasten voimanopeus- ja voimakestävyysominaisuuksia kehittää paremmin, jos vähän suurempia voimia/nopeuksia toistettaisiin ja ylläpidettäisiin aikaisempaa pitempään koko harjoituksen ajan, ilman että hengitys- ja verenkiertoelimistö toimisi rajoittavana tekijänä? Samoin voitaisiinko jat- kossa VO_{2max}:n vetoharjoituksilla kehittää kestävyys- ja VO_{2max}:a paremmin, jos lihasten voimanopeus- ja voimakestävyysominaisuudet olisivat paremmat?

Ehdotuksia kestävyyslajien voima- ja nopeusharjoittelun kehittämiseksi

Edellä olevien analyysien perusteella näyttää ilmeiseltä, että nykyistä suhteellisen pieniä toisto- määriä sisältävää maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelua voidaan tehostaa koko kilpailusuorituksen keston aikaisten nopeusvoima- ja voimakestävyys-ominaisuuksien kehittämiseksi. Alla olevat eh- dotukset perustuvat suurelta osin edellä esitettyyn tutkimustietoon ja siihen pohjautuvaan päät- telyyn. Niiden tavoitteena on kilpailusuorituksessa tarvittavan **lihaskudoksen voiman ja nopeu- den tuoton, energiantuoton, hiilidioksidin ja happamuuden puskurointi- ja poistomekanismien, lihaskudoksen happivarastojen ja hapen diffuusion sekä säätelymekanismien kehittäminen niin, että maitohapon tuotto käynnistyisi aikaisempaa suuremmalla teholla/nopeudella, ja että vähän aikaisempaa suurempaa/nopeampaa voimaa jaksettaisiin tuottaa aikaisempaa pitem- pään.** Yksi helposti toteutettava vaihtoehto on sekä voima- ja nopeusharjoitusten että kestävyyttä kehittävien teoharjoitusten nousujohteisuuden (progressiivisuuden) lisääminen nykyistä syste- maattisemmin ja kontrolloidummin sekä yhden harjoitusvuoden sisällä että harjoitusvuodesta seuraavaan siirryttäessä! Tarkoituksena ei ole, että kaikki alla ehdotetut harjoitukset otettaisiin heti käyttöön, vaan jokainen urheilija/valmentaja analysoisi minkälaista harjoittelua kyseinen

urheilija tarvitsee nyt ja jatkossa parantaakseen kestävyysuorituskykyään ja miten tuo nousujohteisuus olisi järkevimmin toteutettavissa!

1. Voimaharjoituskerrat

Voisiko nykyisiä maksimi- ja nopeusvoimaharjoituskertoja lisätä? Voimaharjoittelun alkuvaiheessa havaittavan kehittymisen jälkeen nykyinen määrä kaksi kertaa viikossa on hyvin todennäköisesti liian pieni jatkokehittymistä ajatellen! Useissa kokeellisissa tutkimuksissa urheilijoilla on ollut 3 voimaharjoitusta/vk.

Ehdotus: Lisätään viikko-ohjelmaan **kolmas maksimi- ja nopeusvoimaharjoitus**. Se voi olla joko yksi lisäharjoitus viikossa tai se voidaan yhdistää johonkin muuhun viikon harjoitukseen.

2. Kestävän nopeusvoiman harjoitus

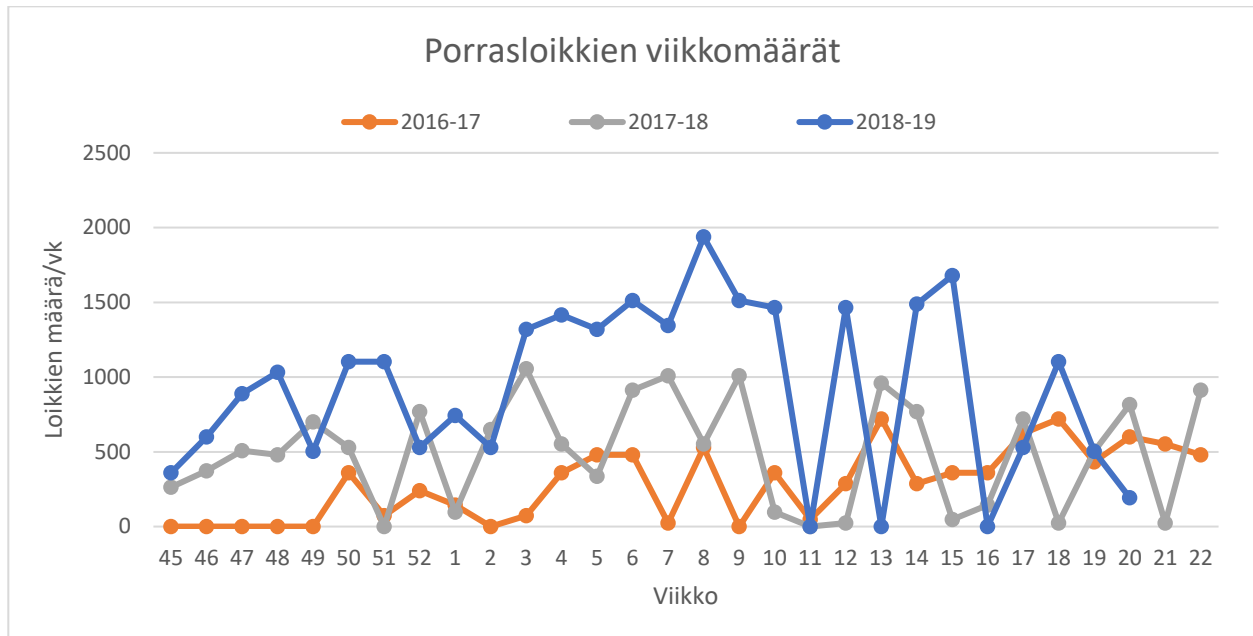
Voisiko nopeusvoimaharjoitusten toistomääriä lisätä niin, että niistä olisi enemmän hyötyä koko kilpailusuorituksen kestoja ajatellen (esim. 5000 toistoa)?

Ehdotus: Lisätään viikko-ohjelmaan **uusi kestävän nopeusvoiman harjoitus**. Tämä harjoitus olisi keskeisin harjoitus, jolla vähän aikaisempaa suurempaa/nopeampaa voimaa jaksettisiin tuottaa aikaisempaa pitempään ja se voisi olla em. viikon kolmas voima- ja nopeusharjoitus.

Kestävän nopeusvoiman harjoituksissa keskitytään systemaattisesti ja progressiivisesti suurenevaan nopeusvoimaharjoituksen toistojen määrään. Esimerkiksi nopeusvoimaa kehittävien loikkien määrää tasaisella, portaissa tai ylämäkeen lisätään vähitellen moninkertaiseksi verrattuna nykyiseen määrään. Aluksi kerran viikossa $2 \times 5 \times 25-30$ loikkaa = 250–300 loikkaa ja vähitellen loikkien määrää lisätään esim. $2 \times 20 \times 30-50$ loikkaan = 1200–2000 loikkaan. Toistomäärien kasvettua voidaan suoritustehoa/nopeutta lisätä loikkimalla pitempiä loikkia ja/tai portaissa vähän nopeammin. Palautukseksi riittänee mäen tai portaiden alas kulku rauhallisesti. Kun loikkia pystytään tekemään 500–1000 yhdessä loikkaharjoituskerrassa, voidaan progressiivisuutta lisätä ottamalla ohjelmaan toinen loikkamäärään keskittyvä harjoitus viikossa esimerkiksi maksimi- ja nopeusvoiman harjoituksen yhteydessä tai tekemällä sen yhdessä jonkun kestävyysharjoituksen kanssa. **Harjoituksessa on pidettävä huolta siitä, että kyseessä on nopeusvoimaharjoitus, jossa kehitetään useita lihaskudoksen supistumekanismien ja säätelymekanismien ominaisuuksia, energiantuottomekanismeja, puskurointi- ja hiilidioksidin ja happamuuden poistomekanismeja. Viimeksi mainitusta syystä harjoituksessa saa/pitää siksi myös hengästyä, mutta se ei silti ole maitohapon ja happamuuden sietokyvyn harjoitus.** Tutkimusten mukaan 10–15 sekunnin mittaisia kovatehoisia 'vetoja' voidaan tehdä puolikin tuntia lyhyelläkin palautusajalla ilman, että laktaattipitoisuus kohoaa maksimaaliseksi.

Toisen kirjoittajan kokemusten mukaan 500–1000 loikkaa voidaan hyvin tehdä kaksi kertaa viikossa ilman yllirasitusongelmia, kun loikkaharjoitukset toteutetaan nopeusvoimaperiaatteella ja riittäväällä palautuksella! Alla olevassa kuvassa on yhteenveto kyseisen melko hyvin menestyneen veteraanisuunnistajan v. 2016 aloittamista porrasloikista, aluksi kerran ja sitten 2 kertaa viikossa

nelinpelitennisvuorojen yhteydessä. Ensimmäinen loikkasarja (x kertaa 24 loikkaa = 48 askeleen portaita 2 porrasta kerrallaan) on juostu ennen tennisvuoroa ja toinen sarja kahden tunnin tennisvuoron jälkeen (myöhemmin kolmas sarja puolivälissä tauon aikana). Yhteenvedon tarkoituksena on osoittaa, että veteraaniurheilijakin voi lisätä progressiivisesti loikkamääriä pienistä määristä lähtien huomattavasti ilman ongelmia. Samalla näkyy kauden sisäinen ja kausien välinen melko systemaattinen progressio toistomäärissä. Ks. myös kohta 3. painoliivin käyttö.



3. Lajispesifinen voimakestävyys

Voisiko lajispesifejä kestävyysharjoituksia pohtia uudelleen niin, että voimakestävyys- ja/tai nopeusvoima-ominaisuuksia ylläpitäviä harjoitteita tehtäisiin paljon aikaisempaa enemmän. Esimerkiksi nopeutta painottavissa lajeissa noin kilpailuvauhtisia 'nopeusruskoja' tehtäisiin aikaisempaa enemmän ja/tai lisäksi tehtäisiin suurempaa voimantuottoa vaativia lajispesifejä voimakestävyysharjoituksia ('voimaruskot')?

Ehdotus: Lisätään nopeusruskojen määrää nykyistä suuremmaksi ja/tai otetaan käyttöön **painoliivi** jo(i)ssakin oman lajin kestävyysharjoitukse(i)ssa. Aikaisempien tutkimusten ja kokemusten perusteella tiedetään, että noin 5 % painosta (= noin 3 kg) oleva painoliivi mahdollistaa sekä voimakestävyden että lajinomaisen kestäväen nopeusvoiman harjoittelun ilman yllirasitusongelmia ja mm. ampumahiihdossa asean paino on noin 3,5 kg. Esimerkiksi yksi lajikestävyysharjoitus viikossa toteutetaan painoliivin kanssa. Aluksi vähän lyhempänä ja/tai vähän hitaammalla vauhdilla ja elimistön totuttua lisätään vähitellen vauhtia ja/tai kestoa. Suomalaiset ampumahiihtäjät tekivät aikanaan yhdessä tutkimuksessa 2–4 harjoitusta viikossa 3–5 kg painoliivillä 3,5 kuukauden ajan (Long-slow-distance, fast distance and strength training session). Puolet paransi maksimaalista hapenottoa ja suorituskykyä mutta muilla oli yllirasitusongelmia eikä suorituskyky parantunut. Kolme-neljä kertaa viikossa 5 kg:n painoliivillä 3,5 kk oli varmaankin liikaa.

4. Askelpituus

Erilaisten nopeusvoimaharjoitusten tavoitteena on askelpituuden lisääminen koko kilpailusuorituksen ajaksi.

Ehdotus: Kaikissa em. harjoituksissa on muistettava, että tavoitteena on kilpailusuorituksen askel-/liukupituuden ja kilpailunopeuden lisääminen. Kestävän nopeusvoiman harjoitusten lisäksi askelpituutta voi pyrkiä tietoisesti lisäämään esim. nopeuspäivän submaksimaalisissa nopeusveidoissa, kestävyysharjoituksissa ruskojen toteutuksessa tai juoksemalla tasavauhtisissa kestävyysharjoituksessa 1–2 km tietoisesti vähän pitemmällä askeleella. Askelpituutta kehittäviä harjoituksia voi tehdä myös edestakaisin loivaan ylämäkeen / alamäkeen, jolloin kehittyy sekä ponnistusvoima (ylämäki) että törmäysvoima (alamäki), ja tällaisessa harjoituksessa voi myös kokeilla painoliiviä, jolloin sekä ponnistusvoiman että törmäysvoiman kehittyminen korostuu. Kun elimistö on tottunut em. painoliivilenkeillä koventuneeseen voimankäyttöön, voidaan tehdä myös 'voimaruskoja' painoliivilenkillä, painoliiviloikkia ylämäkeen/tasaisella ja mahdollisesti joitakin pitempiäkin vetoja (luonnollinen intervalli) keskittyen askelpituuden ylläpitoon.

Edellä olevia voimakestävyysharjoituksia on pyrittävä tekemään niin, että ensisijaisesti hermolihaskäytön nopeusvoima- ja voimakestävyys-ominaisuudet ja niitä määrittelevät välittömät energiantuotto-, elektrolyyttitasapainon ylläpito-, ja happamuuden puskurointi ja poistomekanismit kehittyisivät. Maitohappoa/happamuutta saa muodostua lihaksiin mutta ei liikaa, ettei se häiritse em. voima- ja nopeusominaisuuksien kehittymistä. Kestävän nopeusvoiman harjoituksissa on syytä hengittää heti alusta alkaen mahdollisimman paljon, jotta hapen saanti, happamuuden puskurointi ja hiilidioksidin poistomekanismit kehittyisivät. Tärkeää on lisäksi hyvä alku- ja loppuverryttely ja lihahuolto sekä riittävä totuttelu uusiin harjoituksiin, eli ei liian nopeasti liian suuria määriä. Urheilijat ovat ominaisuuksiltaan ja harjoituskestävyydeltään erilaisia ja myös lajit ovat erilaisia. Siksi jokaisen olisi analysoitava, minkälaista nopeusvoima- ja voimakestävyysominaisuutta tarvitsee ja valittava harjoituksia ohjelmaansa sen mukaan. Jos oireita ylläkirjitetusta tai vammasta alkaa esiintyä on hyvä heti keventää harjoittelua. Uusia voimakestävyysharjoituksia voidaan kokeilla aluksi lyhyen jakson ajan ja kokemusten mukaan lisätä niitä ko. urheilijalle sopivalla tavalla.

Entä maksimaalisen hapenoton ja sydämen maksimaalisen minuuttitilavuuden kehittäminen?

Edellä olevat voima- ja nopeusharjoitteluun liittyvät asiat eivät tietenkään poista sitä, että VO_{2max} ja CO_{max} ovat edelleen erittäin tärkeitä tekijöitä kestävyysuorituskykyä rajoittavina tekijöinä. **Sydämen maksimaalisen minuuttitilavuus** (CO_{max}) on tärkein ominaisuus, joka rajoittaa maksimaalista hapenottoa ja lihasten verenvirtausta maksimaalisessa kuormituksessa, ja johon kestävyysharjoittelulla voidaan vaikuttaa. Tutkimukset osoittavat, että kestävyysurheilijoilla on luonnostaan suuri ja joustava (suuri komplianssi) sydän ja kyky saavuttaa suuri CO_{max} , joka kasvaa vähitellen harjoittelun lisääntymisen ja tehostumisen myötä. Keskeistä on pohtia, miksi CO_{max} ja VO_{2max} kasvavat harjoittelun vaikutuksesta ja mikä on se harjoittelusta syntyvä stimulus, joka johtaa CO_{max} :n ja VO_{2max} :n kasvuun? Tässä kirjoituksessa olettamuksena on, että hengitys- ja verenkiertoelimistö on tavallaan palvelu- ja huoltojärjestelmä, ja että **ennen em. ominaisuuksien**

tasaantumista urheilija on tehnyt sellaisia harjoituksia, joissa lihakset ovat vaatineet enemmän verta, kuin sen hetkinen CO_{max} mahdollistaa, mutta vähitellen tällaisten harjoitusten määrä on vähentynyt. Harjoittelemattomilla tehdyt tutkimukset osoittavat, että aluksi sydäntä ja sen suorituskkyä kehittää kaikenlainen kestävyys harjoittelu ja sen määrän lisääminen, mutta harjoittelun edetessä näyttäisi kovatehoisen harjoittelun merkitys kasvavan. Kun kestävyys suorituskyky alkaa tasaantua yksilölliselle maksimitasolle, on harjoitusmäärä ja sydämen tekemä kokonaistyömäärä jo erittäin suuri, ja määrän lisäämisellä ei todennäköisesti enää pystytä tekemään riittävästi sellaisia harjoituksia, joilla CO_{max} ja VO_{2max} edelleen kehittyisivät, vaikka suorituskyky pitkäkestoisissa kestävyys suorituksissa paranisikin. Tällöin em. voimakestävyys- ja kestävä nopeusvoiman harjoitusten avulla kehittyneet lihaskudoksen voima- ja nopeus- ym. ominaisuudet voisivat mahdollistaa sellaisia kestävyys harjoituksia, jotka vaatisivat lihaksiin enemmän verenvirtausta, mikä toimisi stimuluksena CO_{max} :n edelleen kehittämiseksi. **Parantuneet voima- ja nopeusominaisuudet on siis saatava jalostettua suuremmaksi CO_{max} :ksi, VO_{2max} :ksi ja paremmaksi kestävyys suoritukseksi, eli on tehtävä riittävän paljon myös varsinaisia VO_{2max} :a ja kestävyys suorituskykyä kehittäviä harjoituksia.** Harjoitusvaikutusta voidaan tehostaa tekemällä harjoituksia suuremmalla lihasmassalla kuin tavallisesti (yhdistetty käsi- ja jalkatyö).

Maksimaalisen sydämen minuuttitilavuuden lisäksi pitäisi **lihasten verenvirtausta ja sen jakautumista sekä lihasten perifeerisiä supistusominaisuuksia** kehittää myös nopeissa lihassoluissa. Tästä ei juuri ole tutkimustietoa, mutta intervallityyppisen VO_{2max} -harjoittelun on osoitettu kehittävä myös nopeiden lihassolujen hapenkäyttökykyä. Joissakin tutkimuksissa lihasten supistusominaisuuksia ja 'lihaskestävyttä' on saatu kehitettyä 30 s pituisilla nopeuskestävyys harjoituksilla enemmän kuin 6 s nopeus harjoituksilla. Tämä viittaisi siihen, että 10–30 s pituiset kestävä nopeusvoiman harjoitukset saattaisivat olla hyödyllisiä myös lihasten perifeeristen ominaisuuksien kehittämisessä. Lisäksi olisi tehtävä sellaisia harjoituksia, joissa vaatimukset suuremmalle lihasten verenvirtaukselle kestävät kauan.

Sydämen maksimaalisen minuuttivolyymien kasvua selittää ensisijaisesti **sydämen iskutilavuuden** kasvu. Iskutilavuus on sitä suurempi, mitä suuremmalla teholla työskennellään, vaikka aikaisemmin on arveltu iskutilavuuden saavuttavan maksiminsa jo 50–80 % teholla maksimista. Tutkimukset osoittavat lisäksi iskutilavuuden kohoavan hetkellisesti intervalliharjoittelun palautusjaksojen aikana. Pitkissä kestävyys harjoituksissa stressihormonit pitävät yllä sydämen kontraktiiteettiä ja sydämen iskutilavuus pystytään pitämään korkeana, mutta hyvin pitkäkestoisissa harjoituksissa stressihormonien tuotto alkaa laskea, sydämen kontraktiiteetti alkaa heiketä, syke hidastua ja iskutilavuus kasvaa, jos vauhti pystytään pitämään vakiona. Hyviä harjoituksia voisivat siten olla sekä intervallityyppiset VO_{2max} -harjoitukset, että eritehoiset ja pituiset kesto harjoitukset.

Hengityselimistön osalta keskeisiä kehittymistä rajoittavia tekijöitä voisivat olla maksimaalinen hengitysvolyymi, jonka kasvaessa happea voitaisiin saada ja hiilidioksidia voitaisiin poistaa enemmän (happamuuden säätely). Toinen tekijä voisi olla hengityslihasten väsyminen kilpailusuorituksen aikana. Kumpaankin näistä soveltuisi tehokas intervalliharjoitus ja riittävän pitkäkestoinen vauhti- tai maksimikestävyys harjoitus, sekä erikseen toteutettava hengityslihasten harjoittaminen sitä varten kehitetyillä laitteilla.

Veri-, punasolu- ja hemoglobiinimäärä eli veren hapenkuljetuskyky on yksi tärkeimmistä VO_{2max} :a rajoittavista tekijöistä. Harjoittelun alkuvaiheessa plasma- ja verimäärä kasvavat ja ovat

keskeinen sydämen isku- ja minuuttitilavuutta kohottava tekijä. Kestävyysurheilijoilla on jopa kymmeniä prosentteja suurempi Hb-massa kuin harjoittelemattomilla ja myös hyvin harjoitteleilla maajoukkue-tason kestävyysurheilijoilla Hb-massa korreloi voimakkaasti VO_{2max} :n ja suorituskyvyn kanssa. Hb-massaa, verimäärää ja VO_{2max} :a voidaan kehittää asumalla ja harjoittelemalla hypoksia-ssa oikeassa vuoristossa ja/tai alppimajassa ja/tai hypoksiateltassa. Säännöllisen hypoksia-altistuksen ajatellaan olevan lähes välttämätöntä huipulle tähtäävillä kestävyysurheilijoilla. Kuten edellä todettiin, ovat myös sydämen maksimaalinen isku- ja minuuttitilavuus ja niiden kehittämisen suuresti riippuvaisia verimäärästä. Kun parantuneen hapensaannin vaikutuksia on tutkittu mm. hyperoksian avulla, ei voimantuotto, lihasten rekrytointi eikä kestävyysuorituskyky ole parantunut niin paljon kuin lisääntyneestä hapensaannista voisi päätellä. Siksi vuoristoharjoittelun hyödyn saamiseksi on lisäksi tehtävä riittävän paljon varsinaisia VO_{2max} :a, CO_{max} :a ja muita kestävyysuorituskykyä kehittäviä harjoituksia meren pinnan olosuhteissa vuoristojakson jälkeen. Varsinkin alppimajan käyttö avaa tähän hyvät mahdollisuudet, kun kestävyysurjoituksia voidaan tehdä sekä suuren tehon ja vauhdin mahdollistavissa meren pinnan tason että hypoksiaolosuhteissa.

Ehdotuksia kestävyysurjoittelun kehittämiseksi

Tyypillisiä VO_{2max} :a ja kestävyysuorituskykyä kehittäviä kestävyysurjoituksia ovat intervallityyppiset VO_{2max} -harjoitukset ja kovatehoiset vauhti- ja maksimikestävyysurjoitukset, joita olisi tehtävä 2–3 kertaa viikossa (niiden kehittämisyksiköllä). Vaikka tässä pohdinnassa keskitytään voimanopeusharjoittelun kehittämiseen, on muistettava, että riittävän kova kestävyysurjoittelulla voidaan myös päästä maailman huipulle, mutta silloin harjoittelu pitää toteuttaa sellaisena, että se kehittää kaikkia voimanopeus-, voimakestävyys- ja kestävyysominaisuuksia. **Intervallityyppisessä VO_{2max} -harjoittelussa** pystytään työskentelemään suurella intensiteetillä, mikä on edullista myös voimantuoton ja kilpailuvauhdin kehittämisen kannalta ja saattaisi selittää, miksi intervallityyppinen harjoittelu kehittää hyvin kestävyysuorituskykyä, lihasten perifeerisiä ominaisuuksia, maksimaalista hapenottoa ja maksimaalista minuuttivolyyymiä. Toisaalta **kovatehoiset vauhti- ja maksimikestävyysurjoitukset** voivat myös kehittää VO_{2max} :a, sydämen minuuttivolyyymiä, hengityselinten kestävyyttä ja kestävyysuorituskykyä. Tämä edellyttää kuitenkin riittävän pitkiä kovavauhtisia kestävyysurjoituksia, vähintään noin 10–30 minuuttia kilpailusuorituksen pituudesta, urheilijan tasosta ja iästä riippuen. Vauhtikestävyysurjoitusten määrän kokoaminen useista lyhyistä pätkistä esimerkiksi luonnollisessa intervalliharjoituksessa ylä- ja alamäkineen kehittää myös maksimaalista isku- ja minuuttitilavuutta ja VO_{2max} :a, mutta ei välttämättä kehittä kilpailusuorituksessa tarvittavaa maksimaalista vauhtikestävyyttä (= kykyä mennä kilpailuvauhtia pitkän aikaa) ja hengityselinten kestävyyttä riittävästi. Toisaalta jotkut keskimatkojen huippu-urheilijat ovat huomanneet vauhtikestävyysurjoittelun lisäämisen (ns. double threshold -harjoittelu, eli 2 vauhtikestävyysurjoitusta päivässä, 2 kertaa viikossa) maksimikestävyysurjoitusten kustannuksella soveltuvan heille paremmin. Norjalaiset Ingebritsenin veljekset ovat puolestaan tehneet 140–160 km/vk harjoituksistaan 23–25% ns. anaerobisella kynnyksellä tai sitä suuremmalla teholla. Yksilöllisten vasteiden seuranta ja oman linjan löytäminen onkin ensi arvoisen tärkeää. **Pitkäkestoisissa harjoituksissa** lihasten perifeeriset verenvirtaukseen ja sen jakautumiseen (nopeat lihassolut) liittyvät ominaisuudet ja palautumista edistävä autonominen säätely todennäköisesti

kehittyvät, ja hyvin pitkäkestoisissa harjoituksissa saattaa sydämen iskutilavuus ja sitä kautta myös CO_{max} myös kasvaa.

Maksimaalisen hapenoton harjoittelua koskee myös em. systemaattisuuden ja progressiivisuuden periaate. On ilmeistä, että kestävyysurheilijatkin pystyvät tekemään kovatehoista overreaching-harjoittelu (useita kovatehoisia harjoituksia viikossa) viikossa 2–4 viikon ajan, kunhan viikossa on ainakin yksi lepo- tai varmasti palauttava päivä, ja tehdään varmasti palauttava harjoitusviikko overreaching-jakson jälkeen. Tutkimuksissa systemaattista progressiivisuutta on esimerkiksi käytetty siten, että intervalliharjoitusten juoksunopeutta/tehoa on pidetty 3 viikon ajan samana ja palautusjakson jälkeen seuraavien kolmen viikon ajan vähän suurempana jne.

Maksimaalisen hapenoton tehoharjoitusten ja erilaisten voimaharjoitusten sijoittelu viikko-ohjelmaan on yksilöllistä ja urheilijan muusta viikko-ohjelmasta riippuvaa. VO_{2max} :n harjoitukset voidaan ajoittaa viikko-ohjelmassa esimerkiksi voima-nopeusharjoituksen jälkeen voima-nopeusominaisuuden 'superkompensaatiovaiheeseen'. Esimerkiksi tehdään VO_{2max} :a kehittäviä veto-/ylämäkiharjoituksia yksilöllisten tuntemusten perusteella 2–3 vrk voimaharjoituspäivän jälkeen. Toinen vaihtoehto on yhdistää harjoituksia, eli tehdä joskus koko VO_{2max} :n vetoharjoitus lisäpainoa käyttäen, jolloin sillä kerralla vaikutus kohdentuu todennäköisesti VO_{2max} :n harjoituksessa tarvittavaan lihasvoimaan. Samalla kestävyysuorituksen aikainen voimantuottokyky kehittyy.

Yhteenvetoa

- 1) Kestävyysuorituskykyä ja sen kehittymistä ei rajoita pelkästään VO_{2max} ja CO_{max} , vaan myös useat lihasten voimantuottoon, energiantuottoon ja eri toimintojen säätelyyn liittyvät tekijät. Myös maitohapon tuotannon kiihtymiseen vaikuttavat verenvirtauksen ja hapen saannin lisäksi useat lihaskudoksen sisäiset ominaisuudet ja niiden säätelyyn liittyvät tekijät.
- 2) Kestävyysurheilijan voimaharjoittelua voidaan kehittää lisäämällä systemaattisesti ja progressiivisesti voimaharjoituskertoja ja/tai ottamalla käyttöön uusia kestävästä nopeusvoiman harjoituksia ja lajispesifisiä voimakestävyysharjoituksia, joilla lihasten perifeerisiä voimantuottoon, energiantuottoon, hiilidioksidin ja happamuuden säätelyyn, lihaskudoksen happivarastojen ja hapen diffuusioon sekä näiden toimintojen säätelyyn liittyviä tekijöitä voidaan kehittää.
- 3) Voimakestävyys- ja nopeusvoima-ominaisuuksien kehittyminen parantaa kestävyysuorituskykyä ja edellytyksiä tehdä vaativia kestävyyttä ja maksimaalista hapenottoa kehittäviä harjoituksia, joita myös pitäisi tehdä systemaattisesti ja progressiivisesti.
- 4) Harjoitusvaikutuksen aikaansaamiseksi on tehtävä sellaisia overload-harjoituksia, jotka järkyttävät homeostaasia, mikä on sitä vaikeampaa, mitä hyväkuntoisempi urheilija on.
- 5) Kestävyysuorituskyvyn tasaantuessa voidaan jatkokehitystä saada myös tekemällä ns. overreaching-kestävyysjaksoja, joissa tehdään runsaasti kovatehoisia kestävyysharjoituksia.
- 6) Progressiivisuuden varmistamiseksi harjoittelua on seurattava toistomääriä, harjoitusnopeuksia, askel-/liukupituuksia ja aikakokeita kirjaamalla ja niitä systemaattisesti seuraamalla.

7) Kehittäviä harjoituksia lisättäessä/tehtäessä, on koko ajan pidettävä tasapaino palautumiskykyä lisäävien harjoitusten kanssa (pitkäkestoiset PK- ja lyhytkestoiset rauhalliset palauttavat harjoitukset ja lepopäivät).