

Kestävyys suorituskyvyn kehittymistä rajoittavat tekijät ja niiden harjoittelu

Emeritusprofessori, veteraanisuunnistaja Heikki Rusko

Kestävyysvalmennusseminaari

21. – 22.11. 2022 Pajulahti

Historiaa

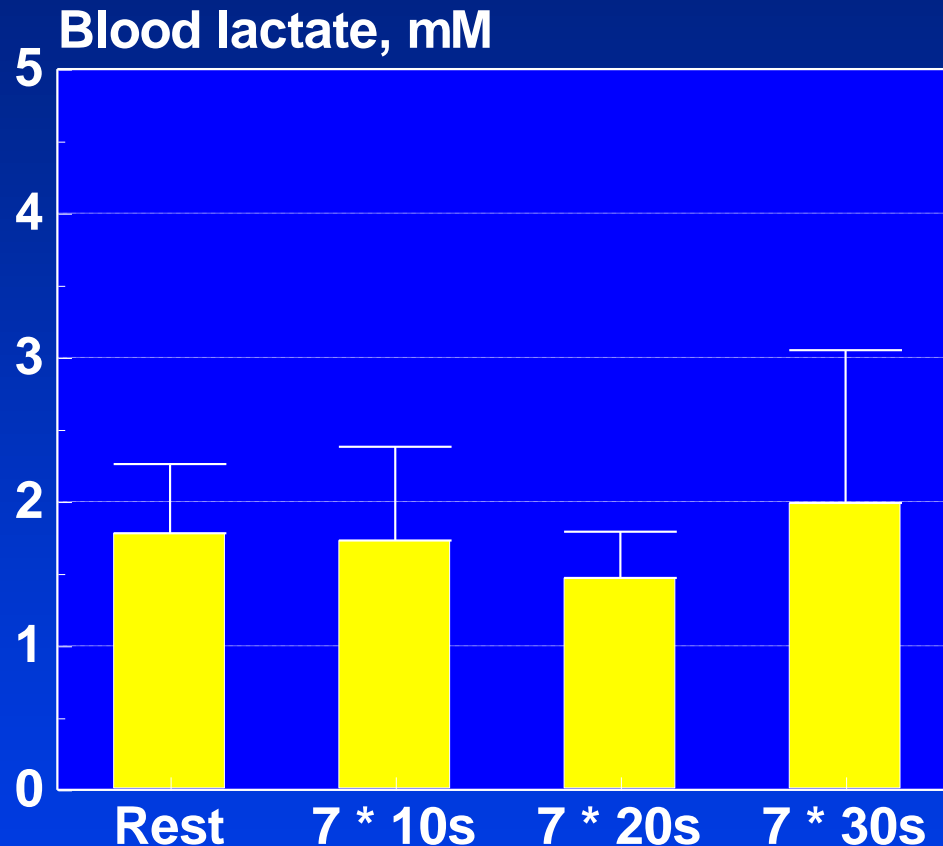
- **1980 luvulla**

- kestävyysharjoittelu heikentää voima- ja nopeusominaisuuksia
- VO_{2max} -testin jälkeen toinen testi vVO_{2max} :a vastaavalla nopeudella uupumukseen, jolloin uupumisaika vaihteli 1-6 minuutin välillä: neuromuskulaariset ominaisuudet
- ”Ruskot” 1980 –luvun lopulla
- Lahden MM-hiihdot 1989

- **1990-luvulla**

- MART testi neuromuskulaaristen ominaisuuksien mittaamiseen
- Maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelu 2krt/vk (Leena Paavolaisen väitöskirjan artikkeli 1999 melko kauan eniten referoitu artikkeli J Appl Physiol –lehdessä)

Veren laktaatti hiihtospurteissa kilpailunopeudella peruskestävyys- ja voimaharjoittelun aikana pitkällä palautuksella



**”Kilpailuvauhtista rekryointiharjoittelua” voidaan helposti lisätä
Voima- ja nopeusominaisuuksien heikkenemisen estyksi**

Suorituskykyä rajoittavat tekijät?

Heikki Rusko

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus

Jyväskylä

IX Kestävyysvalmennusseminaari

26. – 28.11. 2004 Pajulahti

Johtopäätöksiä

- Kestävyyssuoritusta ei rajoita pelkästään hapenkuljetus ja VO_{2max} , vaan myös neuromuskulaariset tekijät ja CNS:n kyky rekrytoida lihaksia ja vastustaa väsymystä (Central Governer?)
- VO_{2max} :a rajoittaa sydämen maksimaalinen minuuttivolyymi (Cardiac Output, CO_{max}) ja neuromuskulaariset tekijät
- Maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelulla krt/vk voidaan parantaa kestävyysurheilijoiden maksimivoimaa, nopeaa voimantuottoa, juoksun taloudellisuutta, kynnsominaisuuksia ja kestävyysuorituskykyä. VO_{2max} ei yleensä parantunut mutta toisaalta ei myöskään huonontunut

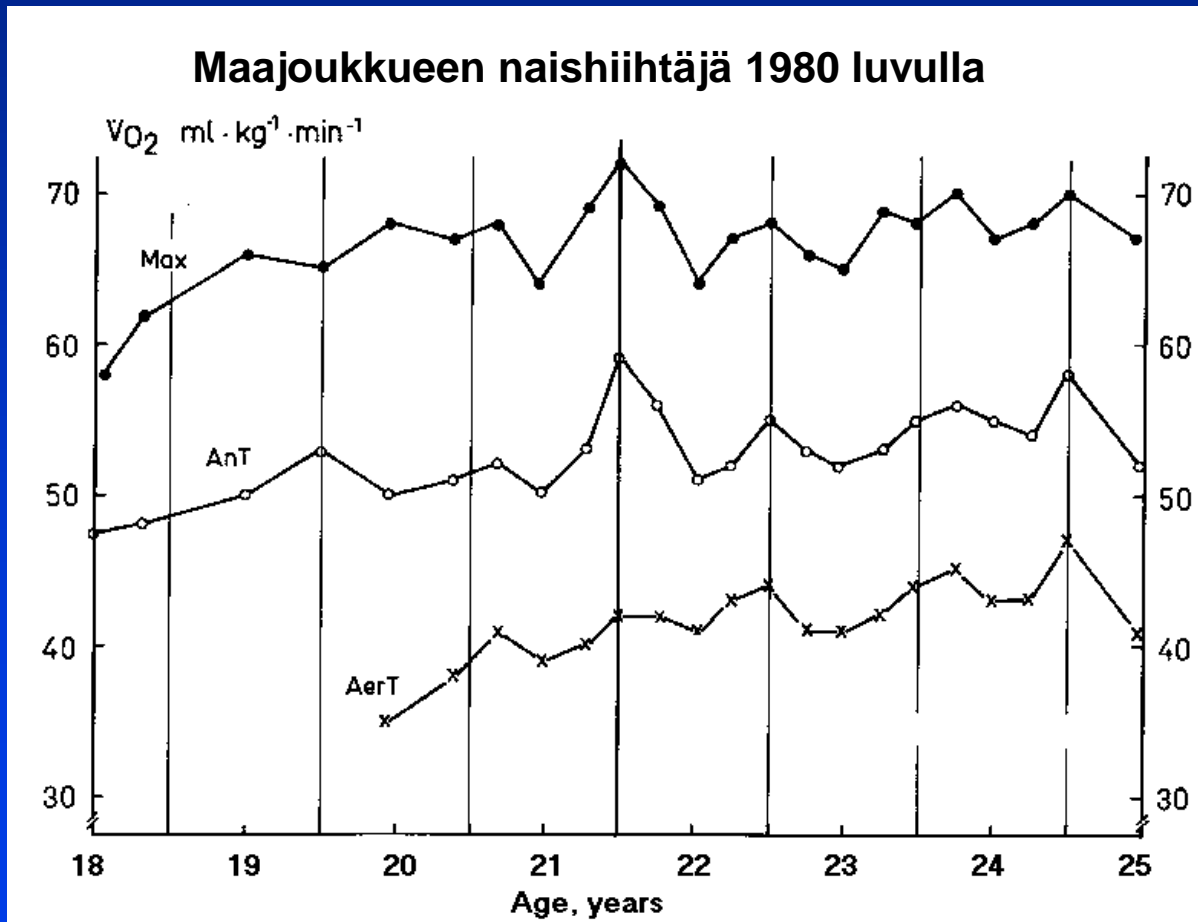
Jussi Mikkola, Pajulahden Kestävyysseminaari 25.11.2019: yhteenvetoa

Voima/nopeusharjoittelun avulla voi mahdollisesti:

- Parantaa kestävyys suorituskykyä ja suorituksen taloudellisuutta (ja ”siirtää” väsymistä kisan aikana)
 - $\text{MaxF} \uparrow$ -submaxF tuottamiseen vähemmän MU
 - Relax/työaika-suhde kasvaa
 - Elastisuus \uparrow
- Lisätä ”kirireserviä” (anaerobista kapasiteettia ja maksimaalista suoritusnopeutta kehittämällä)
- Optimoida lajitekniikkaa - parantuneet ”työasennot” (erityisesti keskivartalon voima/hallinta)
- Ehkäistä vammoja (”siedetään voimat”, linjaukset, ryhti, lihastasapaino, keskivartalo)
- $\text{VO}_{2\text{max}}$ ei yleensä ole parantunut mutta toisaalta ei myöskään huonontunut

Lisäksi paljon tarkennuksia harjoittelun käytännön toteutukseen

Miksi suorituskyky ja VO_{2max} tasaantuvat? Mikä rajoittaa kehittymistä? Mitä voitaisiin tehdä?



Tärkeitä Kysymyksiä / uusia näkökulmia avattava

- Miksi maitohappoa/laktaattia muodostuu ja happamuus alkaa lisääntyä submaksimaalisessa kuormituksessa Kynnysominaisuuksia vastaavilla tehoilla nopeuden/työtehon lisääntyessä?
- Miksi väsyttään, vauhti hidastuu ja/tai suoritus keskeytetään kestävyys suorituksissa?
- Miksi VO_{2max} :a rajoittava sydämen maksimaalinen minuuttivolyymi (Cardiac Output, CO_{max}) kasvaa (tai miksi ei kasva) harjoittelun vaikutuksesta

Laktaatin muodostus 1: Happi ja sen käyttö

- Submaksimaalisissa kuormituksissa verenvirtausta pystyttäisiin lisäämään ja happea näyttäisi olevan riittävästi käytettävissä
- **Harjoittelun myötä laktaatin muodostus vähenee, mutta hapenkulutus ei kasva** vaan pikemminkin pienenee hyötysuhteen parantuessa?
- Kestävyyssurheilijoiden lihasten hapenkäyttökyky?
- **Hypoksiassa** eli hapen puutteessa valtimoveren happikyllästeisyys on matalampi, ja syke, veren laktaattipitoisuus ja rasituksen tuntemus ovat korkeampia kuin normoksiassa.
- **Hyperoksiassa** päinvastoin
- Mutta: kaikissa näissä tilanteissa hapenkulutus (VO_2) on submaksimaalisilla vakiokuormilla sama ja VO_{2max} pienenee/suurenee paljon enemmän, kuin maksimaalinen suorituskyky vastaavasti pienenee/suurenee.
- **Verenvirtaus ja Hapen on erittäin tärkeä, mutta mikä muu vaikuttaa?**

Laktaatin muodostus 2: Lihasten energiantuottomekanismit

- ATP- ja KP-varastojen vähentyessä/loppuessa ADP:n ja epäorgaanisen fosfaatin (P_i) lisääntyminen stimuloi sekä oksidatiivista fosforylaatiota että glykolyysiä ATP:n tuottamiseksi.
- Tällöin pienikin tehon lisäys saattaa aiheuttaa lyhyen lihassolujen hapen osapaineen laskun ja lisääntyneen glykolyysin
- ”liian nopea kiihdytys” suorituksen alussa tai kriittisissä vaiheissa suorituksen aikana saattaa hetkellisesti pienentää ATP- ja KP-varastoja ja kiihdyttää maitohapon/happamuuden muodostusta
- **Voidaanko energiantuottomekanismeja kehittää?**

Laktaatin muodostus 3: Vähemmän harjoitusta saaneiden lihassolujen rekrytointi

vrt kilpailuvauhdissa käytettävät lihakset ja lihassolut

- Kynnysominaisuuksia vastaavilla tehoilla lihasten EMG-aktiivisuus alkaa lisääntyä nopeammin kuin pelkkä tehon lisäys edellyttäisi (nopeiden lihassolujen lisääntynyt rekrytointi?)
- Nopeissa lihassoluissa kapillarisaatio, verenvirtaus/hapen saanti ja hapen käyttöön liittyvät entsyymit ym. ominaisuudet eivät välttämättä ole kovin hyvin kehittyneitä, ja niissä muodostuu laktaattia nopeammin
- Uusien lihasten ja lihassolujen rekrytointi aiheuttanee myös lihasten välisen ja sisäisen verivirtauksen muutoksia. Tällöin pienikin tehon lisäys saattaa aiheuttaa lyhyen akuutin verenvirtauksen tai hapen puutteen ja lisääntyneen glykolyysin, ja laktaattia muodostuu nopeammin kuin sitä ehditään käyttää/poistaa.
- **Voidaanko kehittää harjoittelulla?**

Laktaatin muodostus 4: Elimistön stressireaktiot?

- Stressihormonien erityis ja pitoisuus veressä alkaa lisääntyä voimakkaasti suunnilleen samalla teholla veren laktaattipitoisuuden lisääntymisen kanssa, **MIKSI?**
- tarvitaan **lihasten aktivoinnin** ja energiantuottomekanismien aktivoimiseksi/lisäämiseksi
- Stressihormonien tiedetään aktivoivan glykolyysiä, ja maitohappoa saattaa tästäkin syystä alkaa muodostua enemmän/nopeammin työtehon noustessa
- sydämen parasympaattisen säätelyn kapasiteetti loppuu ja sympaattinen aktivaatio alkaa lisääntyä merkittävästi suunnilleen samoilla työtehoilla (parasympaattinen kapasiteetti?)
- **Voidaanko stressireaktiota siirtää suuremmille tehoille?**

Laktaatin muodostus 5: Voima-nopeusominaisuudet

- Nopeuskestävyyslajien urheilijat kertovat, ettei yli 10 mmol/l laktaattipitoisuus ei tunnu 'hapottavalta', samoin joillakin kestävyysurheilijoilla
- Nopeuskestävyyslajien urheilijoiden
 - **Voima-nopeusominaisuudet erittäin hyvät**
 - Nopeiden lihassolujen kapillarisaatio, myoglobiini???
 - **Happamuuden puskurointi- ja poistomekanismien ominaisuudet?**
- **Maksimi- ja nopeusvoimaharjoittelu on muiden vaikutusten lisäksi parantanut kestävyysurheilijoiden kynnysominaisuuksia**
- **Voidaanko voima-nopeusominaisuuksia kehittää?**

Yhteenvetoa maitohapon/laktaatin muodostukseen johtavista tekijöistä

- Hapen saanti verenkierron kautta ei ole ainoa syy lihasten maitohapon muodostukselle
- **Vähemmän harjoitusta saaneiden lihasten ja lihassolujen rekrytointija niiden ominaisuudet**
 - voiman ja nopeuden tuotto,
 - energiantuottomekanismit,
 - happamuuden puskurointi ja poisto, (hiilidioksidi – hengitys)
 - lihassolujen hapen osapaineen ja diffuusion ylläpito
 - lihasten ja lihassolujen verenvirtauksen säätely
 - voimistuva stressireaktio
- **Miten näitä ominaisuuksia voitaisiin harjoittaa?**

Miksi väsyttään ja vauhti hidastuu kestävyyssuorituksissa 1: Lihasten rekrytointi

- Työskenneltäessä laboratorio-olosuhteissa uupumukseen 80–100 % teholla maksimaalisesta hapenotosta
 - stressihormonien tasot ja veren laktaattipitoisuus lisääntyvät
 - reisilihasten EMG-aktiivisuus lisääntyy melko tasaisesti suorituksen aikana, kunnes suoritus joudutaan keskeyttämään.
- Kilpailujen ja/tai kovatehoisten laboratoriuormitusten jälkeen
 - lihasten rekrytointikyky ja voimantuotto ovat alentuneet
 - heti kuormituksen jälkeen mitattu VO_{2max} jää pienemmäksi kuin ennen suoritusta tehdyssä maksimitestissä
 - Voimakestävyys (strength-endurance performance) myös heikkenee sitä enemmän, mitä pitempikestoinen edeltävä kestävyysuoritus on ollut.

Vauhdinjako 10 000m ME-juoksussa



Paradoksi:

Miten Gebrsellasie voi juosta nopeiten silloin, kun hän on kaikkein väsynein?

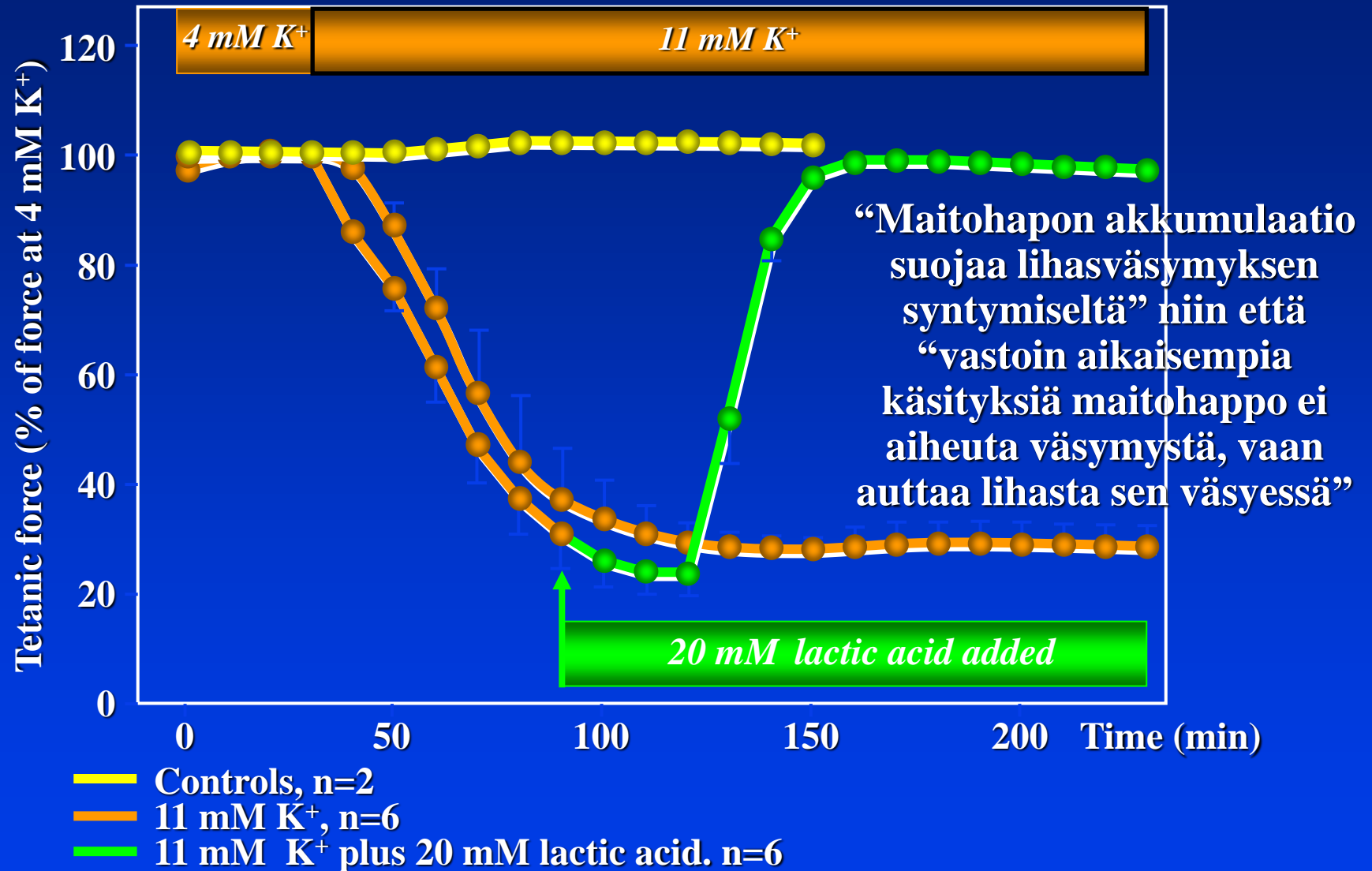


Miksi väsyään/vauhti hidastuu kestävyysuorituksissa

2: Laktaatti ja happamuus?

- **Pitkäkestoisissa kestävyysuorituksissa** Laktaatilla ja happamuudella on vähäinen suora vaikutus lihasten supistustoimintaan
- Laktaattipitoisuuden ”mataluudesta” huolimatta kestävyysuorituksen aikana voimantuottonopeus alkaa heiketä, kontaktiaika pitenee ja askelpituus lyhenee
- **Lihaskudoksen supistusmekanismien ylläpidon (Natrium-Kalium-pumppu** entsyymeineen, Kalsium- ja Magnesium-pitoisuuksien säätely) ja koordinoitun rekrytointijärjestelmän **heikentyminen** ml. keskushermoston toiminta
- KP:n väheneminen ja siihen liittyvä P_i :n lisääntyminen
- Happamuuden puskurointi- ja poistomekanismit (ml hengitys)
- Laktaatti erinomaista substraattia väsymyksen vastustamiseen

Kaliumin ja Maitohapon/laktaatin vaikutus väsymykseen



O. Nielsen, F. de Paoli and K. Overgaard. Protective effects of lactic acid on force production in rat skeletal muscle. Journal of Physiology, 536, 161-166, 2001.

Miksi väsyttään ja vauhti hidastuu kestävyysuorituksissa 3: Glykogeeni tärkeä, mutta...

- Lyhytkestoisissa kestävyysuorituksissa glykogeenin loppuminen on epätodennäköistä.
- Hyvin pitkäkestoisten kestävyysuoritusten työteho on sellainen, että energiaa pystytään tuottamaan riittäväällä nopeudella myös rasvoista. Triathlon- ym. vastaavat ultrapitkät kilpailut ovat tästä hyvä esimerkki.
- **Urheilija väsyä (voimantuotto) vaikka glykogeenia on varastoissa ja vaikka glukoosia infusoidaan vereen**
- Glykogeenitutkimusten mukaan **kestävyysuorituksissa joudutaan rekrytoimaan pitkäksi aikaa vähemmän harjoitusta saaneita lihassoluja, joiden kestävyysominaisuudet verenvirtauksen, hapen käytön ja supistusmekanismien ylläpidon suhteen ovat rajalliset.**

Yhteenvetoa väsymisestä ja vauhdin hidastumisesta

- Kestävyyssuorituksen jatkuessa pitkään kovalla teholla/nopeudella hapenpuute ja 'hapottaminen" eivät täysin selitä vauhdin hidastumista ja lihasväsymystä
- **Kilpailuvauhdissa käytettävien lihasten-lihassolujen voima- nopeus- ja kestävyysominaisuudet!**
 - Lihaskudoksen perifeerisen supistusmekanismien ylläpito (Na/K pumppu)
 - energiantuottoon liittyvät mekanismit, glykogeenin väheneminen,
 - vähemmän harjoitusta saaneiden lihassolujen verenvirtaus ja hapen osapaineen ylläpito
 - Happamuuden puskurointi ja poistomekanismit
- **Voidaanko em perifeerisiä ominaisuuksia kehittää**

Suorituskyvyn kehittymisen tasaantuessa

- Harjoituksissa pitäisi pystyä rekrytoimaan kilpailusuorituksen kannalta oikeita lihaksia ja lihassoluja, jotta ne pystyisivät tuottamaan **vähän aikaisempaa suurempaa voimaa ja nopeutta**, lisäämään askel- tai liukupituutta ja lyhentämään kontaktiaikaa (esim. maksimi- ja nopeusvoima-harjoittelu).
- Tämän jälkeen tätä vähän suurempaa voimaa, nopeutta ja askelpituutta pitäisi pystyä **ylläpitämään vähän pitempään kuin aikaisemmin**, ja sitä kautta parantamaan muita lihasten perifeerisiä ominaisuuksia väsymyksen vastustamiseksi (esim verenvirtauksen lisääntyminen ja jakautuminen, hapen osapaineen ylläpito ko lihaksissa, puskurointi jne)
- **Tällöin olisi mahdollista tehdä varsinaisia kestävyysharjoituksia aikaisempaa kovemalla teholla, mikä toimisi signaalina VO_{2max} :n ja CO_{max} :n kasvattamiselle.**
- Tämän lisäksi pitäisi vielä pyrkiä kehittämään suuremman voiman ja nopeuden vaatimaa tekniikkaa ja hyötysuhdetta/taloudellisuutta.

Kestävyysslajien voimaharjoittelu?

- Voimaharjoittelun tavoitteena tulisi siis olla nykyistä suurempi ja/tai nopeampi voimantuotto, jota olisi myös pystyttävä toistamaan satoja tai tuhansia kertoja lajin mukaan koko kestävyysuorituksen ajan. Esimerkiksi, jos juoksuaskelpituus on 2 m, tulee 10000 m juoksussa 5000 askelta ja 5000 m juoksussa 2500 askelta.
- Aikaisemmissa kestävyysslajien maksimi- ja nopeusvoiman harjoittelututkimuksissa voimaharjoituksia on ollut 2 (-3) krt/vk ja 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 voimanopeusharjoituksissa 5–20 toiston sarjoina.
- Myös käytännössä kestävyyslajien maksimi- ja nopeusvoimaharjoituksissa toistomäärät ovat melko pieniä suhteessa kilpailun toistomääriin.

Kehittämisehdotuksia 1

- Maksimi- ja nopeusvoimaharjoitusten **nousujohteisuuden (progression) lisääminen nykyistä systemaattisemmin ja kontrolloidummin** sekä yhden harjoitusvuoden sisällä että harjoitusvuodesta seuraavaan siirryttäessä!
- Lisätään viikko-ohjelmaan **kolmas maksimi- ja nopeusvoimaharjoitus** (yksi mahdollisuus progressioon)
 - Jos harjoitusohjelmaan on kuulunut kaksi maksimi- ja nopeusvoimaharjoitusta 1-2 vuoden ajan, ja samalla kestävyysharjoittelua on paljon, niin paranevatko voima-nopeusominaisuudet samalla harjoittelulla seuraavana vuonna tai sitä seuraavana vuonna?
- Kestävyys suorituskyvyn ja VO_{2max} :n kehittämiseksi tehtävissä harjoituksissa voivat myös voima-nopeusominaisuudet, riippuu siitä miten harjoituksia tehdään

Kestävä nopeusvoima?

- Kilpailuvauhdissa käytettävien lihasten ja lihassolujen nopeusvoima-ominaisuuksien ja ”kestävyysominaisuuksien” ylläpito ja kehittäminen
- Supistusmekanismien ylläpidon kehittäminen
- Hapen osapaineen ja diffuusion ylläpidon kehittäminen, myoglobiini
- Verenvirtauksen parantaminen, lihasten välisen ja sisäisen verivirtauksen säätelymekanismit, kapillarisaatio
- Nopeiden lihassolujen hapenkäyttökyky
- Välittömien energiantuottomekanismien kapasiteetti ja säätely (ATP, KP, P_i)
- Elektrolyyttitasapainon säätely (Natrium-Kalium-pumppu ym)
- Puskurikapasiteetti ja happamuuden poistomekanismit

Kehittämisehdotuksia 2

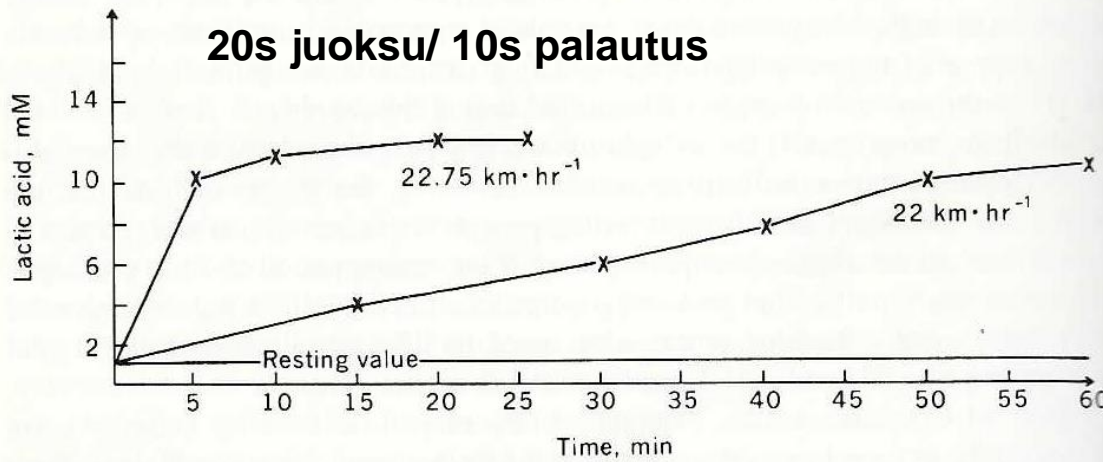
”Kestävän nopeusvoiman” harjoitus

- Lajinomaisten **nopeusvoimaharjoitusten toistomääriä lisätään** systemaattisesti ja progressiivisesti niin, että niistä olisi enemmän hyötyä koko kilpailusuorituksen kestoja ajatellen (esim. 5000 toistoa)
- Esim **loikkien määrää tasaisella, ylämäkeen ja/tai portaissa lisätään vähitellen moninkertaiseksi** verrattuna nykyiseen määrään. Aluksi kerran viikossa $2 \cdot 5 \cdot 25\text{--}30$ loikkaa = 250–300 loikkaa ja vähitellen loikkien määrää lisätään esim. $2 \cdot 20 \cdot 30\text{--}50$ loikkaan = 1200–2000 loikkaa.
- Progressio ja systemaattisuus
 - loikkimalla pitempiä ja/tai nopeampia loikkia
 - lisäämällä edelleen loikkamääriä/harjoituskerta
 - Tehdään kaksi kestävän nopeusvoiman harjoitusta viikossa, joko omana harjoituksenaan tai tekemällä toisen yhdessä maksimi- ja nopeusvoiman harjoituksen tai jonkun kestävyysharjoituksen kanssa
 - Lisätään ”**nopeusruskojen**” määrää peruskestävyysharjoituksessa nykyistä paljon suuremmaksi

Toteutusohjeita

- Harjoituksessa on pidettävä huolta siitä, että **kyseessä on nopeusvoimaharjoitus**, jossa kehitetään useita lihaskudoksen supistusmekanismien ja säätelymekanismien ominaisuuksia, energiantuottomekanismeja, happamuuden puskurointi- ja poistomekanismeja.
- Viimeksi mainitusta syystä harjoituksessa **saa/pitää siksi myös hengästyä ja maitohappoa/laktaattia saa muodostua**, mutta harjoitus ei silti ole maitohapon/happamuuden sietokyvyn harjoitus
- Harjoituksessa **saa myös väsyä**, mutta jos nopeusvoimantuotto heikkenee liikaa, kannattaa harjoitus keskeyttää tai pitää pitempiä palautuksia
- Tutkimusten mukaan 10-15 sekunnin mittaisia kovatehoisia 'vetoja' voidaan tehdä puolikin tuntia lyhyelläkin palautusajalla ilman, että laktaattipitoisuus kohoaa maksimaaliseksi.

20s juoksu/ 10s palautus



Pulmonary ventilation
liters · min⁻¹

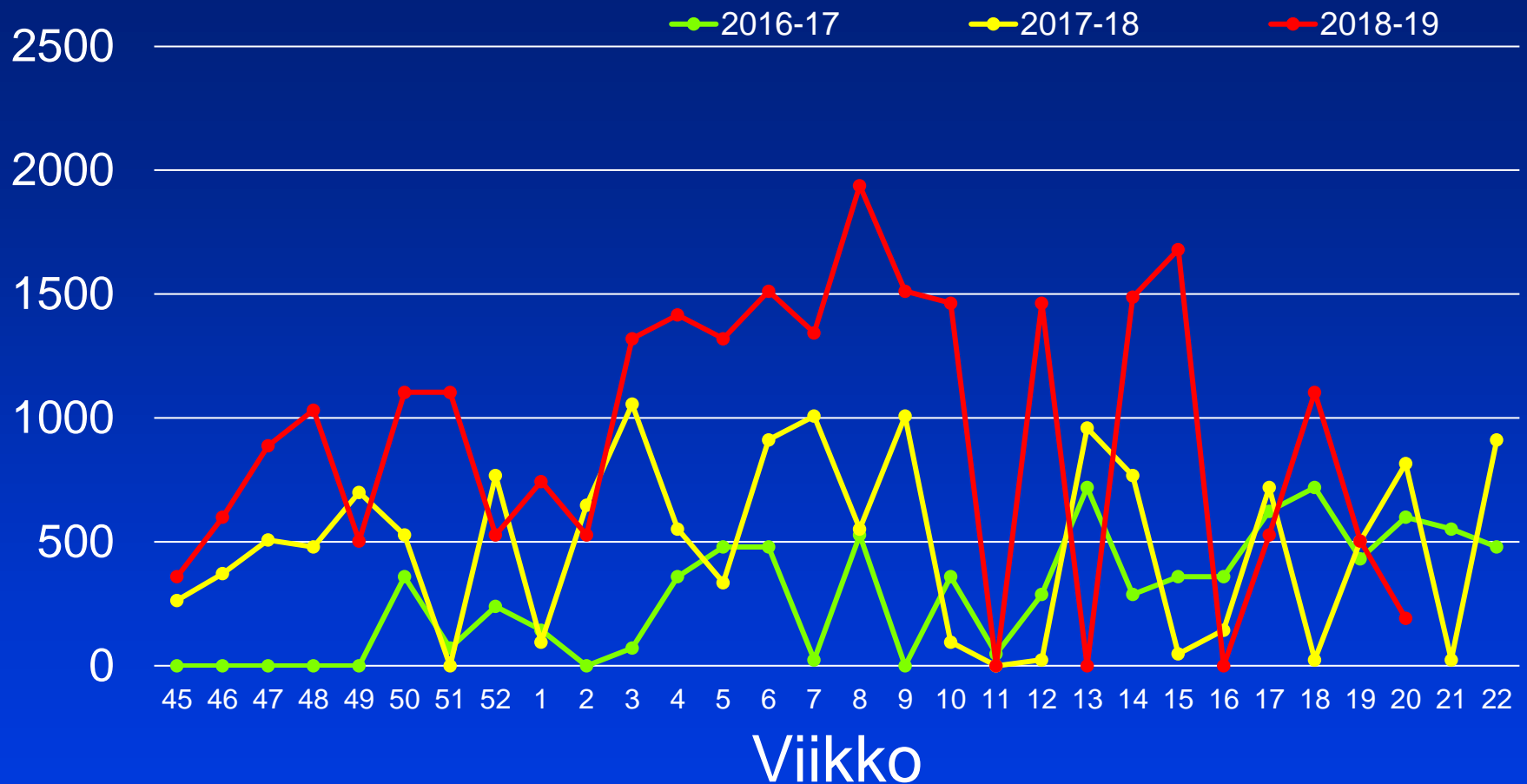
Exercise rest, s	Distance, m	Exercise			Exercise			Blood lactate, mM
		Highest	Average	Rest	Highest	Average	Rest	
5-5	5,000	...	4.3	4.5	...	101	101	2.5
5-10	3,330	...	3.4	3.0	...	81	77	1.8
10-5	6,670	5.6	5.1	4.9	157	142	140	4.8
10-10	5,000	4.7	4.4	3.8	109	104	95	2.2
15-10	6,000	5.3	5.0	4.5	140	130	144	5.6
15-15	5,000	5.3	4.6	3.8	110	90	95	2.3
15-30	3,330	3.9	3.6	2.8	96	79	64	1.8

Source: Data from Christensen et al., 1960.

72 * 15s / 10s

10-30s kovavauhtisia spurtteja voidaan tehdä paljon, kun palautusaika on 10-30s

Heikin porrastoikkien viikkomäärät



Veteraaniurheilijakin voi lisätä loikkia progressiivisesti huomattavasti ilman ongelmia. Ks kauden sisäinen ja kausien välinen melko systemaattinen progressio toistomäärissä.

Lihasten verenvirtaus, sen jakautuminen sekä lihasten perifeeriset supistusominaisuudet

- Joissakin tutkimuksissa lihasten supistusominaisuuksia ja 'lihaskestävyyttä' on saatu kehitettyä 30 s pituisilla nopeuskestävyysharjoituksilla enemmän kuin 6 s nopeusharjoituksilla.
- Tämä viittaisi siihen, että 10-30 s pituiset kestävän nopeusvoiman loikkaharjoitukset ovat hyödyllisiä myös lihasten perifeeristen ominaisuuksien kehittämässä.
- Intervallityyppisen VO_{2max} -harjoittelun on osoitettu kehittävän myös nopeiden lihassolujen hapenkäyttökykyä.

Kehittämisehdotuksia 3

Painoliivi

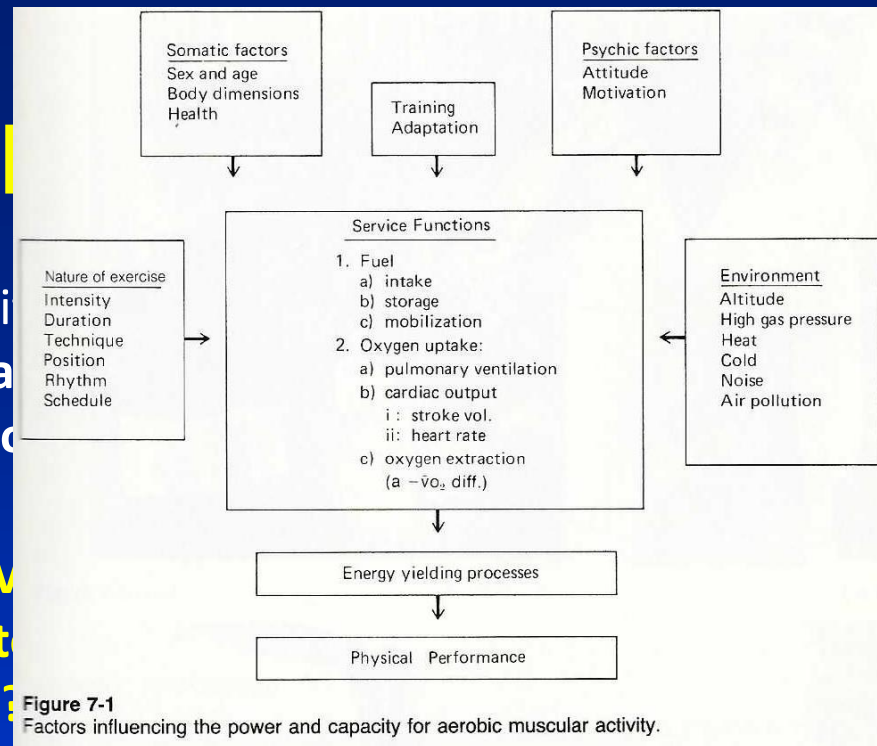
- Käytetään painoliiviä jossakin oman lajin kestävyysharjoituksessa.
- Noin 3kg painoliivi (5% painosta) mahdollistaa sekä voimakestävyuden että lajinomaisen kestäväen nopeusvoiman harjoittelun, esim. ampumahiihdossa aseiden paino on noin 3,5 kg.
- Aluksi vähän lyhempikestoisena ja/tai vähän hitaammalla vauhdilla kerran viikossa ja elimistön totuttua lisätään vähitellen vauhtia ja/tai kestoja ja sitten suurennetaan
- Suomalaiset ampumahiihtäjät tekivät aikanaan 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 yllirasittumisongelmia eikä suorituskyky parantunut. Kolme-neljä kertaa viikossa 5 kg:n painoliivillä 3,5 kk oli varmaankin liikaa.

Askelpituus

- Kaikissa em. harjoituksissa on muistettava, että yhtenä tavoitteena on kilpailusuorituksen askel-/liukupituuden ja kilpailunopeuden lisääminen.
- Kestävän nopeusvoiman harjoitusten lisäksi askelpituutta voi pyrkiä tietoisesti lisäämään muissakin harjoituksissa, esim. 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 painoliivilenkeillä koventuneeseen voimankäyttöön, voidaan tehdä myös **'voimaruskoja'** painoliivilenkillä keskittyensamalla askelpituuden ylläpitoon.

Entä kestävyys

- Edellä olevat voima- ja nopeusharjoitukset eivät tietenkään poista sitä, että VO_{2max} ja CO_{max} ovat tärkeitä kestävyysuorituskykyä rajoittavia tekijöitä, joihin on pystyttävä kehittämään.
- Keskeistä on pohtia, miksi CO_{max} ja VO_{2max} kasvavat harjoittelun vaikutuksesta ja mikä on se harjoittelun vaikutus, joka johtaa CO_{max} :n ja VO_{2max} :n kasvuun?
- Hengitys- ja verenkiertoelimistö on tavallaan palvelu- ja huoltojärjestelmä, ja ennen em. ominaisuuksien tasaantumista urheilija on tehnyt sellaisia kestävyysharjoituksia, joissa lihakset ovat vaatineet enemmän verta, kuin sen hetkinen CO_{max} mahdollistaa, tämä kasvanut vaatimus on se stimulus!
- Kun suurempaa CO_{max} :a vaativien harjoitusten määrä vähitellen laskee tai heikkenee, alkavat kestävyysuorituskyky, VO_{2max} ja CO_{max} vähitellen tasaantua. VÄHENEKÖ ja MIKSI???



Symmorfoosi-teoria

Weibel and Taylor 1981

- “**Close match** between various structural and functional parameters. Hence, **no single parameter in the system has unnecessary excess capacity**, beyond the requirements of the system“
- VO_{2max} , CO_{max} ja lihasten perifeeriset verenvirtaukseen, energiantuottoon ja supistusmekanismien toimintaan liittyvät ym ominaisuudet ovat **kaikki kehittyneet sellaiselle tasolle, että niiden kaikkien 'overload-ylikuormittaminen' yhtä aikaa on vaikeaa (Central Governor - Aivoissa olevat mallit).**
- Kestävyyssurheilijoilla **Lihaskudoksen hapenkäyttökapasiteetti ja kyky virtauttaa verta lävitseen on ”ylikehittynyt”**, eli ne ovat saaneet paljon harjoitusta perinteisistä matalatehoisista kestävyysharjoituksista ilman, että CO_{max} ja VO_{2max} kehittyvät

Overload CO_{max} :n harjoittelussa?

- Kun kestävyysuorituskyky ja $\text{VO}_{2\text{max}}$ alkavat tasaantua yksilölliselle maksimitasolle, on harjoitusmäärä ja sydämen tekemä kokonaistyömäärä jo erittäin suuri, ja määrän lisäämisellä on vaikea (mutta ei mahdotonta) kehittää edelleen CO_{max} :a ja $\text{VO}_{2\text{max}}$:a
- Harjoittelun alussa sydäntä ja sen suorituskykyä kehittää kaikenlainen kestävyys harjoittelu ja sen määrän lisääminen, mutta **harjoittelun ja ”kunnon” kehittyessä näyttäisi kovatehoisen harjoittelun merkitys kasvavan.**
- Lihasten voima- ja nopeusominaisuuksien kehittyminen mahdollistaa kovempitehoiset kestävyys harjoitukset ja suuremmat vaatimukset lihasten verenvirtauksen lisäämiseksi ja CO_{max} :n kehittämiseksi
- **Parantuneet voima- ja nopeusominaisuudet on siis saatava jalostettua suuremmaksi CO_{max} :ksi, $\text{VO}_{2\text{max}}$:ksi ja paremmaksi kestävyysuoritukseksi, eli on tehtävä riittävän paljon varsinaisia CO_{max} :a, $\text{VO}_{2\text{max}}$:a ja kestävyysuorituskykyä kehittäviä harjoituksia.**

CO_{max} –kasvu harjoittelun vaikutuksesta???

- CO_{max} on maksimi-iskutilavuuden ja maksimisykkeen tulo
- kestävyysharjoittelun vaikutuksesta iskutilavuus kasvaa ja maksimisyke pysyy samana tai laskee (miksi maksimisyke laskee???,
- Mikä harjoittelu saa kasvatettua CO_{max} :a ja iskutilavuutta?
- Mikä voisi estää iskutilavuuden kasvun???

Iskutilavuus ja harjoittelu

- Iskutilavuus on sitä suurempi, mitä suuremmalla teholla työskennellään ja iskutilavuus kohoaa hetkellisesti intervalliharjoittelun palautusjaksojen aikana => **Intervalliharjoittelu vaikuttaisi erittäin hyvältä**
- VK-kestävyys harjoituksissa stressihormonit pitävät yllä sydämen kontraktiiviteettiä ja sydämen iskutilavuus pystytään pitämään korkeana => riittävän pitkät **vauhtikestävyys harjoitukset**
- Hyvin pitkäkestoisissa harjoituksissa stressihormonien tuotto alkaa laskea, sydämen kontraktiiviteetti alkaa heiketä, syke hidastua ja **iskutilavuus kasvaa**, jos vauhti pystytään pitämään vakiona.
- ”Overreaching” 2-4 vk jakso, jossa on useita sekä intervalli- että vauhtikestävyys harjoituksia, lisää kestävyysurheilijoiden VO_{2max} :a ja todennäköisesti myös CO_{max} :a
- **Hyviä harjoituksia voisivat siten olla intervallityyppiset VO_{2max} -harjoitukset, mutta myös eritehoiset ja pituiset kesto harjoitukset ja overreaching-jaksot.**

Hengityselimistö kilpailuvauhtisen suorituksen kehittymistä rajoittava tekijä

- maksimaalinen hengitysvolyymi, jonka kasvaessa happea voitaisiin saada ja hiilidioksidia voitaisiin poistaa enemmän (happamuuden säätely).
- Hengityslihasten kestävyys ja väsyminen suorituksen aikana.
- Kumpaankin näistä soveltuisi tehokas intervalliharjoitus ja riittävän pitkäkestoinen vauhti- tai maksimikestävyysharjoitus
- Erikseen toteutettava hengityslihasten harjoittaminen sitä varten kehitetyillä laitteilla.

Veri-, punasolu- ja hemoglobiinimäärä

- **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.
- Hb-massaa, verimäärää ja VO_{2max} :a voidaan kehittää asumalla ja harjoittelemalla hypoksiassa oikeassa vuoristossa ja/tai alppimajassa ja/tai hypoksiateltassa.
- Sydämen maksimaalinen isku- ja minuuttitilavuus ja niiden kehittäminen ovat suuresti riippuvaisia verimäärästä.
- 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.

Johtopäätöksiä 1

- Kestävyyssuorituskykyä ei rajoita pelkästään VO_{2max} ja CO_{max} , vaan myös useat lihasten voimantuottoon, energiantuottoon ja eri toimintojen säätelyyn liittyvät tekijät.
- Kestävyyssurheilijan voimaharjoittelua voidaan kehittää lisäämällä systemaattisesti ja progressiivisesti nykyisiä voimaharjoituksia ja/tai ottamalla käyttöön uusia kestävän nopeusvoiman harjoituksia ja lajispesifisiä voimakestävyysarjoituksia

Johtopäätöksiä 2

- Voimakestävyys- ja nopeusvoima-ominaisuuksien kehittyminen parantaa kestävyysuorituskykyä ja edellytyksiä tehdä vaativia kestävyysuorituskykyä, VO_{2max} :a, ja CO_{max} :a kehittäviä harjoituksia, joita myös pitäisi tehdä systemaattisen progressiivisesti.
- Kestävyysuorituskyvyn ja VO_{2max} :n tasaantuessa niitä rajoittaa CO_{max} , jonka kehittymistä rajoittaa lihasten kyky vaatia kestävyysuorituksissa aikaisempaa suurempaa verenvirtausta lihaksiin CO_{max} :n kehittämiseksi

Johtopäätöksiä 3

- Harjoitusvaikutuksen aikaansaamiseksi on tehtävä sellaisia overload-harjoituksia, jotka järkyttävät homeostaasia, mikä on sitä vaikeampaa, mitä hyväkuntoisempi urheilija on (Symmorfoosi).
- Useammilla kestävyysharjoituksilla voidaan kehittää kestävyys suorituskykyä, maksimaalista hapenottoa ja sydämen maksimaalista minuuttitilavuutta, vaikutus riippuu siitä, miten urheilija tekee ko. harjoituksia
- Valmentajan tärkein tehtävä on vaikuttaa urheilijan ajatteluun (aivoihin) miten hän tekee harjoitukset käytännössä
- Urheilijan pitäisi ymmärtää, tekeekö todella rajoittavaa tekijää kehittävän harjoituksen, RAJOJA RIKOTTAVA!

KIITOS

Mikä rajoittaa VO_{2max} :n ja kestävyysuorituksen kehittymistä?

1. RESPIRATION

Maximum ventilation

Alveolar ventilation:perfusion ratio

Alveolar – arterial O_2 diffusion

Haemoglobin – O_2 affinity

5. MOTOR UNIT RECRUITMENT

Number

Frequency

4. CENTRAL CIRCULATION

Coronary blood flow

Myocardial contractility

Cardiac output

Pulmonary capillary pressure

VO_{2max} :n, CO_{max} :n ja kestävyysuorituksen kasvua rajoittaa urheilijan aivot

Muscle blood flow

Muscle vasodilatory capacity

Muscle capillary density

Capillary O_2 diffusion

Mitochondrial O_2 extraction

Haemoglobin- O_2 affinity

Flow to non-exercising regions

Muscle mass

Muscle fiber type

Muscle contractility

Mitochondria – size and number

[Myoglobin]

Energy stores

Substrate delivery

Hormonal response

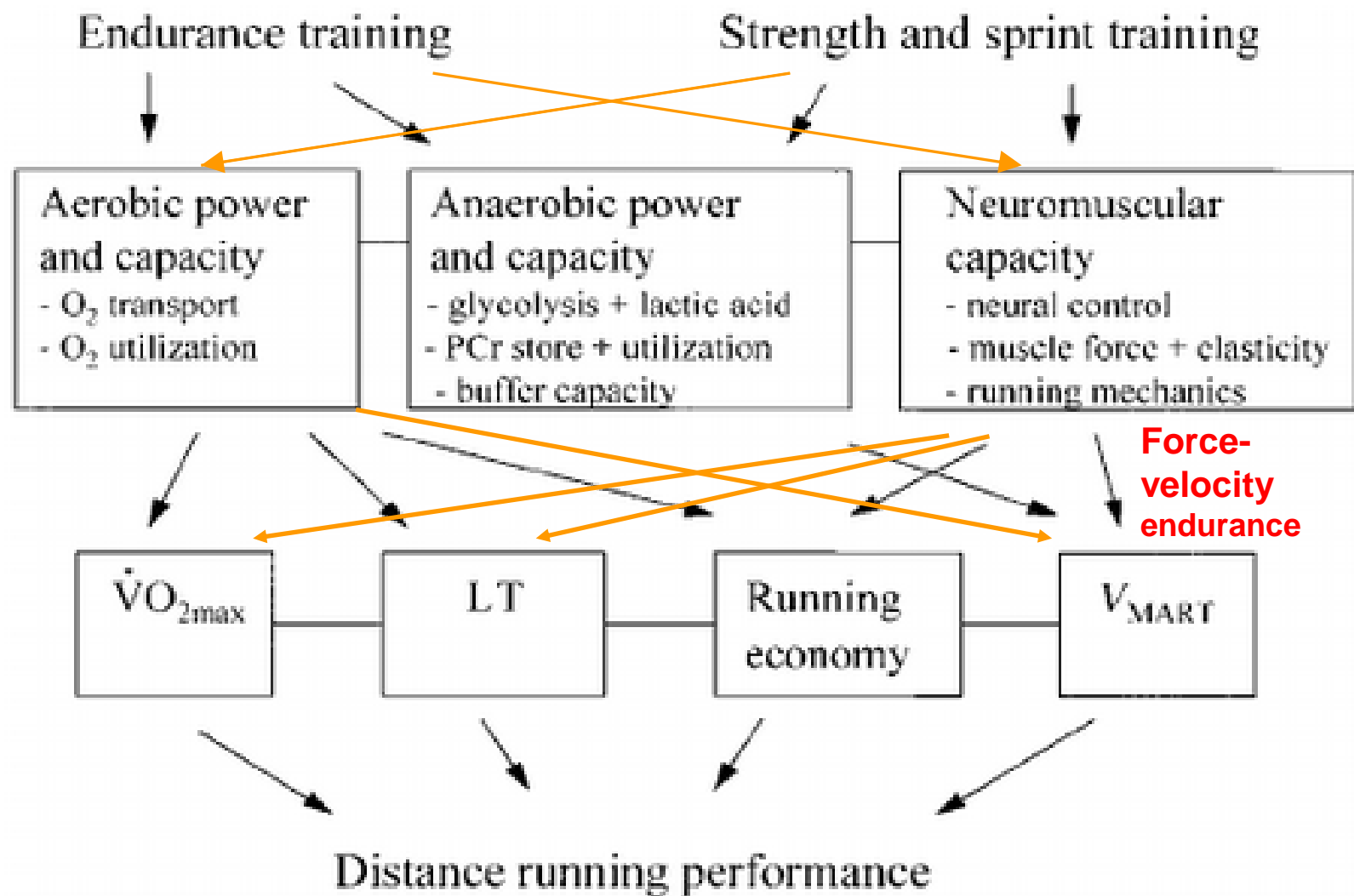


Fig. 6. Hypothetical model of determinants of distance running performance in well-trained endurance athletes as influenced by endurance and strength training. PCr, phosphocreatine; VO_{2max} , maximal O_2 uptake; LT, lactate threshold; V_{MART} , peak velocity in MART.

Peltonen ja Nummela 2018, Rusko 2022

