



Teksti: ARI NUMMELA

# Kestävyyssuorituskykyä suorituksen taloudellisuutta parantamalla

Suorituksen taloudellisuutta kannattaa harjoittaa systemaattisesti. Se on kestävyiden osa-alue, joka kehittyy merkittävästi myös huippu-urheiluvaiheessa.

Kestävyiden kynnsominaisuudet kehittyvät hyvin aina noin 20 ikävuoteen asti. Huippuvaiheessa harjoittelun lisääminen ei enää tuo merkittävää kynnsominaisuuksien paranemista.

Suorituksen taloudellisuus kehittyy tekemällä lajisuorituksessa riittävästi toistoja: juoksijat juoksemalla, hiihtäjät hiihtämällä ja pyöräilijät pyöräilemällä.

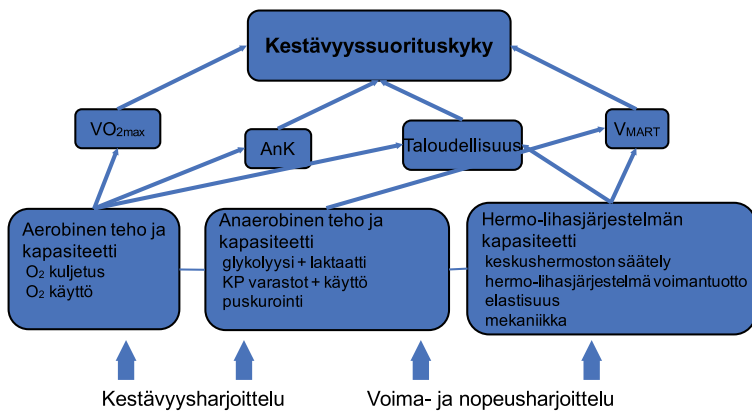
**K**estävyysuorituskykyä tarkastellaan yleensä energiantuoton ja suorituksen taloudellisuuden kautta. Bassett & Howley (2000) esittivät mallin, jonka mukaan kestävyysuorituskykyä selittävät maksimaalinen aerobinen teho ( $VO_{2max}$ ), kyky tehdä työtä pitkään lähellä maksimaalista aerobista tehoa sekä suorituksen taloudellisuus. Paavolainen ym. (1999) on liittänyt tähän malliin vielä hermo-lihasjärjestelmän kyvyn tuottaa tehoa (Kuva 1).

Kestävyysuorituskyvyn kehittymisestä pitkällä aikavälillä saa parhaan käsityksen tarkastelemalla kestävyysuorituskykyyn vaikuttavien tekijöiden kehittymistä useiden vuosien aikana. Koska useimmat harjoittelututkimukset ovat lyhyitä muutamasta viikosta puoleen vuoteen, niin tutkimuksista ei saa suoraan kuvaa harjoittelun vaikutuksesta kestävyiden pitkäaikaiseen kehittymiseen. Sen vuoksi käsitys kestävyysuorituskyvyn kehittymisestä pitää muodostaa tarkastelemalla lyhytkestoisia harjoittelututkimuksia sekä poikkileikkaustutkimuksia, jossa eri-ikäisten urheilijoiden kestävyysuorituskyky verrataan toisiinsa.

Tässä kirjoituksessa kestävyysuorituksen pitkäaikaista kehittymistä tarkastellaan Paavolaisen ym.

Kuva: GORILLA/ULF BÖRJESSON

**Tehoharjoittelun pitäisi kehittää erityisesti maksimaalista hapenottokykyä, mutta näyttää siltä, että huippuvaiheessa sen kehittyminen on olematonta tai jopa heikkenee.**



**KUVA 1. Kestävyysuorituskykyyn vaikuttavat tekijät (mukaeltu Paavolainen ym. 1999).**

(1999) esittämän mallin pohjalta. Kirjoituksessa kuvataan maksimaalisen aerobisen tehon ( $VO_{2max}$ ) ja siihen vaikuttavien fysiologisten tekijöiden kehittymistä nuoresta urheilijasta aikuiseseen. Sen lisäksi kuvataan suorituksen taloudellisuuden sekä aerobisen ja anaerobisen kynnyksen kehittymistä vuosien harjoittelun myötä. Lopuksi kuvataan vielä hermosto-lihasjärjestelmän suorituskyvyn kehittymistä nuorilla kestävyysurheilijoilla sekä pyritään yhdistämään kaikki nämä ominaisuuksien muutokset harjoiteluun.

Maksimaaliseen aerobiseen tehoon ( $VO_{2max}$ ) vaikuttaa hengitys- ja verenkiertoelimistön hapen kuljetuskyky sekä lihasten hapenkäyttökyky. Fickin kaavan mukaan  $VO_{2max}$  on sydämen minuuttitilavuuden ( $Q_{max}$ ) ja valtimon ja laskimon happieron tulo.  $Q_{max}$  voidaan puolestaan määrittää kertomalla sydämen iskutilavuus (SV) sydämen sykkeellä (HR). Vertaamalla nuoria urheilijoita tai harjoittelemattomia aikuisia kestävyysurheilijoihin havaitaan, että maksimisykkeessä ja a-vO<sub>2</sub> -erossa ei juurikaan ole eroa, vaan tärkein erottava tekijä on sydämen iskutilavuus. Lyhytkestoisissa kestävyysuorituskykyyn

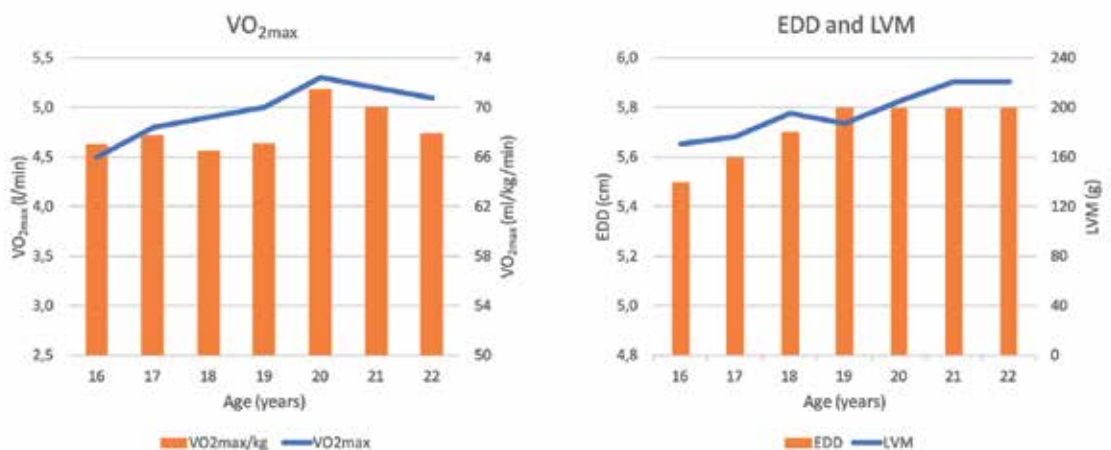
tutkimuksissa on myös havaittu, että  $VO_{2max}$  kehittyminen johtuu pääosin sydämen iskutilavuuden ja minuuttitilavuuden kehitymisestä ei niinkään a-vO<sub>2</sub>-eron kasvusta (Montero ym. 2015).

### Kestävyysuorituskyky vaikuttaa "urheilijan sydämen" kehittymiseen

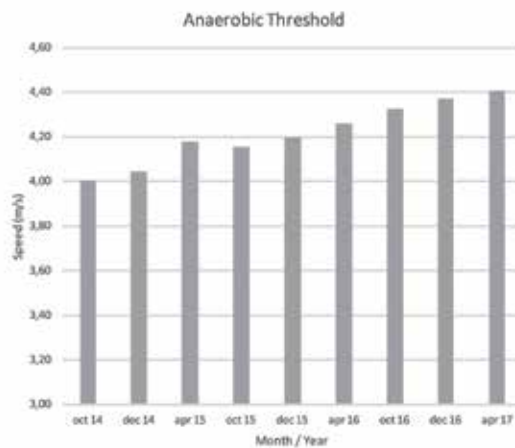
Sydänlihas kehittyy samalla tavalla kuin muutkin lihakset niiden harjoittamisen myötä. Vaikutukset näkyvät sydänlihaksen supistumiskyvyn paraneamisena, sekä rakenteellisesti erityisesti vasemman kammion seinämien paksuutumisena sekä tilavuuden kasvuna. Nämä muutokset mahdollistavat iskutilavuuden kasvun eli yhdellä mahppauksella sydän lähettää suuremman verimäärän liikkeelle sydämen vasemmasta kammioista.

**Margareetta Tummavuoren** väitöskirjatutkimuksessa (2004) seurattiin kuuden vuoden ajan nuorten maastohiihtäjien sydämen kehittymistä ultraäänitutkimuksella ja kestävyysominaisuuksien kehittymistä suoralla hapenoton testillä. Kuvan 2 mukaan urheilijoiden  $VO_{2max}$  kehittyi 16–20 ikävuoden välillä 4,5 l/min:sta 5,3 l/min:aan, mutta sen jälkeen  $VO_{2max}$  ei kehittynyt tai jopa heikkeni 20–22 ikävuosien välillä. Samanlainen tasanne on nähtävissä 20 ikävuoden jälkeen myös sydämen vasemman kammion tilavuuden (EDD) ja seinämien paksuuden (LVM) muutoksissa. Näiden tulosten mukaan urheilijan sydän kehittyi merkittävästi nuorilla kestävyysurheilijoilla harjoittelun myötä, mutta aikuisiässä kasvu hidastuu tai pysähtyy kokonaan.

Sydämen minuuttitilavuuden sekä  $VO_{2max}$  kasvuun vaikuttaa oleellisesti myös verivolyymin ja punasolumassan (tai hemoglobiinimassa) kasvu, koska hapen kuljetuskyky keuhkoista lihaksiin riippuu veren punasoluissa olevasta hemoglobiinista. Mitä enemmän punasolujen hemoglobiinia on veressä, sitä parempi on hapenkuljetuskyky ja  $VO_{2max}$ . Veren Hb-pitoisuus on huono mittari kuvaamaan veren hapenkuljetuskykyä, koska se kuvaa Hb:n suh-



**KUVA 2. Maksimaalisen hapenoton ( $VO_{2max}$ ), vasemman kammion tilavuuden (EDD) ja seinämien paksuuden (LVM) kehittyminen kuuden vuoden aikana maastohiihtäjillä (Tummavuori 2004).**



**KUVA 3. Maksimaalisen juoksunopeuden ja anaerobisen kynnysnopeuden kehittyminen seitsemällä nuorella kestävyysjuoksijalla kolmen vuoden aikana.**

teellistä osuutta litrassa verta, mutta ei ota huomioon koko veren tilavuutta. Kestävyysharjoittelu lisää pitkällä aikavälillä sekä veren tilavuutta että Hb-massaa Hb-pitoisuuden pysyessä muuttumattomana. Kestävyysharjoittelu usein jopa pienentää Hb-pitoisuutta (Schmidt & Prommer 2008). Harjoittelemattomalla henkilöllä veren tilavuus on noin viisi litraa ja Hb-massa 700–800 g, kun huippukestävyysurheilijalla vastaavat lukemat voivat olla kymmenen litraa ja 1 500 g.

Suorituksen taloudellisuus voidaan määritellä helposti submaksimaalisilla tehoilla mittaamalla hapenkulutus, koska alle anaerobisen kynnystehon olevilla suorituksilla energiaa tuotetaan lähes sata prosenttisesti hapen avulla. Kestävyysjuoksijat ovat huomattavasti taloudellisempia kuin vähän juoksua harjoitelleet. Normaalihajonta juoksun taloudellisuuden suhteen hyväntasoisienkin kestävyysjuoksijoidenkin välillä on 20–30 prosenttia (Conley & Krahenbuhl 1980). Yksilöllisiä eroja selittäviä tekijät voivat olla fysiologisia, biomekaanisia, antropometrisia, psyykkisiä tai ympäristöön liittyviä. Harjoittelun myötä suorituksen taloudellisuus kehittyi tekemällä lajisuorituksessa riittävästi toistoja: juoksijat juoksemalla, hiihtäjät hiihtämällä ja pyöräilijät pyöräilemällä.

Sen lisäksi 2000-luvun puolella on tehty paljon tutkimuksia voima- ja kestävyysharjoittelun yhteisvaikutuksesta suorituksen taloudellisuuteen. Paavola ym. (1999) olivat ensimmäisiä, jotka osoittivat, että korvaamalla 30 prosenttia kestävyysharjoittelusta voimaharjoittelulla voidaan parantaa juoksun taloudellisuutta ja kestävyysjuoksun suorituskykyä. Tuossa tutkimuksessa voimaharjoittelu sisälsi nopeusvoimaharjoittelua lisäpainoilla, hyppelyillä ja loikilla sekä submaksimaalisia nopeusvetoja.

Maksimaalinen hapenottokyky näyttää saavuttavan lisääntyvästä kestävyysharjoittelun määrästä ja tehojen kasvusta huolimatta tasanteen nuoruusvaiheen jälkeen, mutta suorituksen taloudellisuus näyttää kehittyvän edelleen nuoruusvuosien jälkeenkin. Systemaattisella ja hyvin toteutetulla harjoittelulla

suorituksen taloudellisuus näyttäisi olevan se kestävyuden osa-alue, joka kehittyy merkittävästi myös huippu-urheiluvaiheessa ja mahdollista kehittymisen myös aikuisiällä. Jones (1998) on seurannut maratonin maailmanmestarin ja ME-tuloksen haltijan **Paula Radcliffen** kehittymistä 18–22 vuoden iässä. Hänen 3 000 metrin ennätyksensä parani tuona aikana 9:23–8:37. Kehittyminen ei johtunut  $VO_{2max}$  kehittymisestä, vaan juoksun taloudellisuuden paranemisesta 199:stä 179:ään ml/kg/km.

### Aerobinen ja anaerobinen kynnysteho mittareina

Pitkäaikaista kestävyyttä kuvaavat hyvin aerobinen ja anaerobinen kynnysteho. Niiden määrittämiseen on lukuisia eri tapoja. Yleisimmin kestävyysharjoittelussa on käytössä laktaatti-tehokäyrään perustuva kynnysten määrittäminen (1. ja 2. laktaattikynnys) tai hengitysmuuttujiin perustuva kynnysten määrittäminen (1. ja 2. ventilaatiokynnys). Kestävyysharjoittelu vaikuttaa kynnystehoihin siirtämällä laktaatti-tehokäyrää oikealle, minkä vuoksi aerobinen ja anaerobinen kynnysteho siirtyvät suuremmille tehoille.

Useiden vuosien seurantatutkimusaineistojen (Rusko 1987 ja 1992) perusteella näyttää siltä, että kynnysominaisuudet kehittyvät hyvin kestävyysharjoittelun lisääntymisen myötä nuoruusvaiheessa aina noin 20 ikävuoteen asti. Huippuvaiheessa harjoittelun lisääminen ei enää saa aikaa merkittävää kynnysominaisuuksien paranemista.

Kestävyysurheilijoiden hermo-lihasjärjestelmän voimantuoton pitkäaikaisen kehittymisen osalta ei ole juurikaan olemassa tutkittua tietoa. Kuvassa 2 on esitetty seitsemän nuoren kestävyysjuoksijan maksimaalisen juoksunopeuden ja anaerobisen kynnysnopeuden keskimääräisen muutoksen kolmen vuoden harjoittelun aikana, jossa painopisteenä on ollut kestävyuden kehittäminen. Seurannan alkaessa urheilijat olivat 13–17 vuoden ikäisiä. Kuvien mukaan

nopeus kehittyi 5,0 prosenttia ja anaerobinen kynnys 16,3 prosenttia. Saman aikaisesti kestävyysuorituskyky parani 11,2 prosenttia. Tämä tarkoittaa sitä, että nuorilla kestävyysurheilijoilla kestävyysharjoittelun määrän ja tehon lisääminen kehittää erityisesti kynnystehoja hermo-lihasjärjestelmän voimantuotokyvyn kehittymisen ollessa vähäisempää vaikkakin jatkuvaa.

Matalatehoisen ja määräpainotteisen kestävyysharjoittelun on tiedetty vaikuttavan erityisesti kynnystehojen kehittymiseen vaikutuksen ollessa  $VO_{2max}$  vähäisempää (Rusko 1987). Toisaalta tehopainotteinen kestävyysharjoittelu, jossa tehdään paljon intervalliharjoittelua lähellä ja yli anaerobisen kynnystehon, vaikuttaa erityisesti  $VO_{2max}$  kehittymiseen vaikutuksen ollessa vähäisempi tai lähes olematon kynnystehoihin. Nämä kestävyysharjoittelun yleiset lainalaisuudet ovat kuitenkin hieman ristiriidassa sen kanssa, että kovatehoisen (yli aerobisen kynnystehon) kestävyysharjoittelun osuus harjoittelusta kasvaa harjoitusvuosien myötä mentäessä kohti huippuvaiheen harjoittelua. Tehoharjoittelun pitäisi kehittää erityisesti  $VO_{2max}$ , mutta näyttää siltä, että huippuvaiheessa  $VO_{2max}$  kehittymisen on olematon tai se jopa heikkenee.

#### LÄHTEET:

- Bassett, D.R. & Howley, E.T.** 2000. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32 (1), 70–84.
- Conley, D.L. & Krahenbuhl, G.S.** 1980. Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 12 (5), 357–360.
- Jones, A.M.** 1998. A five-year physiological case study of an Olympic runner. *Br. J. Sports Med.*, 32, 39–43.
- Montero, D., Diaz-Canestro, C. & Lundby C.** 2015. Endurance Training and  $VO_{2max}$ : Role of Maximal Cardiac Output and Oxygen Extraction. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 47 (10), 2024–2033.
- Paavolainen, L. Häkkinen K. Hämmäläinen I. Nummela A. & Rusko H.** 1999. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J. Appl. Physiol.*, 86 (5), 1527–1533.

Kestävyysjuoksijoiden harjoittelututkimusten mukaan huippu-urheilijoiden juoksuharjoitusmäärät vaihtelevat yleisesti 130–260 km viikossa välillä (Tjelta 2016). Suuri vaihteluväli kertoo, että harjoittelun määrä ei ole ratkaiseva tekijä kestävyysjuoksussa, mutta harjoittelua täytyy kuitenkin olla riittävästi, jotta huipputulokset olisivat mahdollisia. Riittävä määrä näyttää julkaisujen perusteella olevan 130–160 km viikossa mailereille ja muille, joiden harjoittelu perustuu harjoittelun määrän sijasta harjoittelun tehoon ja 170–220 km urheilijoilla, joiden harjoittelu perustuu harjoittelun suureen määrään.

Yhteenvetona voidaan todeta, kestävyysuorituskyvyn kehittyminen perustuu nuoruusvaiheessa kaikkien kestävyysominaisuuksien kehittymiseen hermo-lihasjärjestelmän voimantuoton kehittymisen ollessa vähäisintä.  $VO_{2max}$  ja kynnysominaisuudet näyttävät kehittyvän hyvin aina 20 ikävuoteen asti, minkä jälkeen huippu-urheiluvaiheessa suorituskyvyn kehittyminen tapahtuu pääasiassa suorituksen taloudellisuuden kehittymisen kautta.

**ARI NUMMELA, LitT**

**Dosentti**

**Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus – KIHU**

**Sähköposti: ari.nummela@kihu.fi**

**Rusko, H.** 1987. The effect of training on aerobic power characteristics of young cross-country skiers. *J. Sports Sci.*, 5, 273–286.

**Rusko, H.K.** 1992. Development of aerobic power in relation to age and training in cross-country skiers. *Med. Sci Sports Exerc.*, 24 (9), 1040–1047.

**Schmidt, W. & Prommer, N.** 2008. Effects of various training modalities on blood volume. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 18 (Suppl. 1), 57–69.

**Tjelta, L.I.** 2016. The training of international level distance runners. *Int. J. Sports Sci. Coach.*, 11 (1), 122–134.

**Tummavuori, M.** 2004. Long-term effects of physical training on cardiac function and structure in adolescent cross-country skiers, a 6.5 year long echocardiographic study. Doctoral thesis, University of Jyväskylä, Studies in Sports Physical Education and Health 97.