

Juha Hulmi

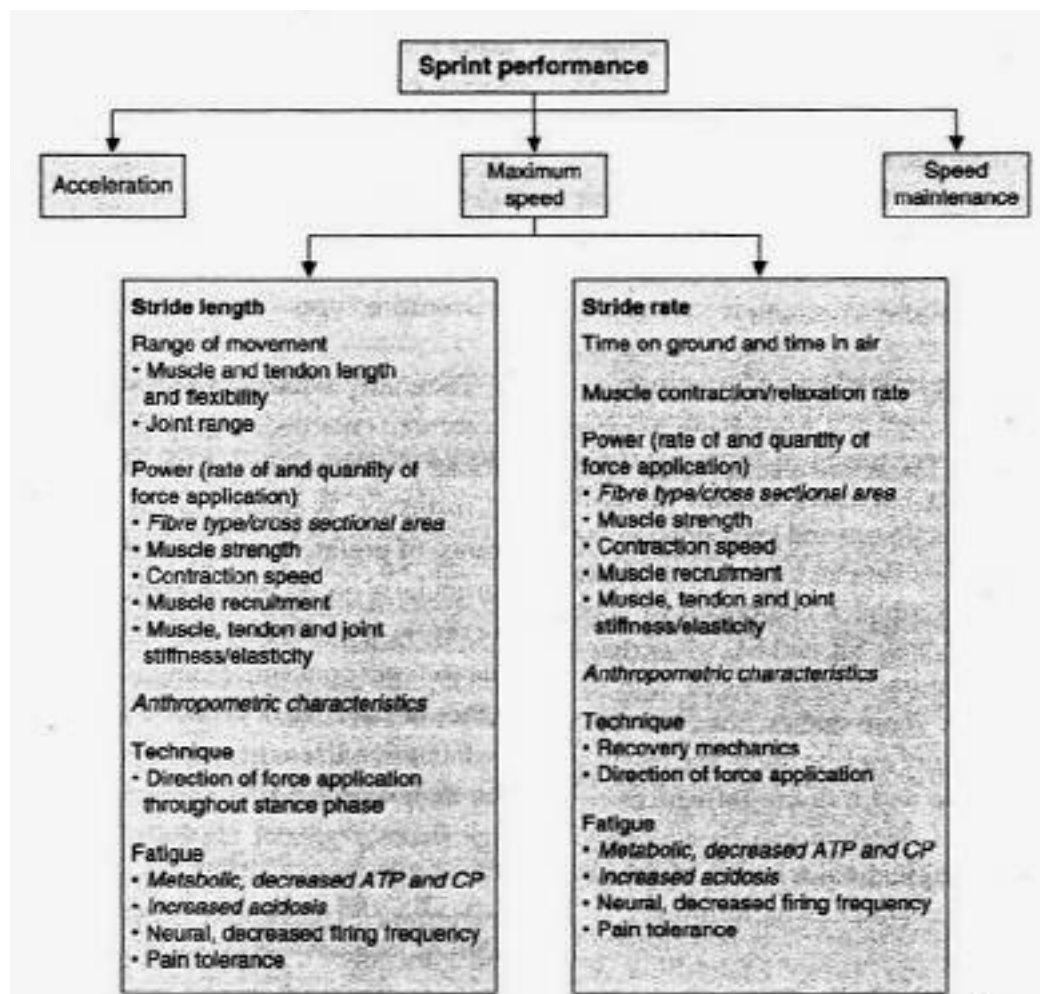
## Neural Influences on Sprint Running: Training Adaptations and Acute Responses

Ross, A., Leveritt, M. & Riek, S. 2001. Sports Medicine 31, 6, 409 - 425

### Johdanto

Pikajuoksu voidaan määritellä nopeaksi, sykliseksi ja tauottomaksi, enintään 15 sekunnin suorituksiksi maksimaalisella intensiteetillä, jossa suoritusten välillä on täydellinen palautuminen. Pikajuoksussa suorituskyky riippuu askeltiheyden ja askelpituuden tulosta, joihin molempiin vaikuttaa monet tekijät (kuvio 1). Pikajuoksussa suorituskyvyn on ajateltu riippuvan erityisesti geneettisistä tekijöistä, kuten lihassolukoostumuksesta. Oletettavasti harjoittelun vaikutuksesta lähinnä entsymaattiset adaptaatiot ja hypertrofia tärkeissä lihaksissa ovat vastuussa parantuneesta suorituskyvystä. Viime aikoina on kuitenkin osoitettu, että muutoksiin em. tekijöissä harjoittelun vaikutuksesta ei kuitenkaan välttämättä liity parantunut suorituskyky pikajuoksussa. On selkeästi olemassa myös muita tekijöitä, kuten neuraaliset mekanismit, jotka voivat adaptoitua. Voimaharjoittelun on todettu aiheuttavan merkittäviä neuraalisia adaptaatioita. Pikajuoksuharjoittelun seurauksena lajin monimutkaisesta luonteesta johtuen adaptaatiot saattavat tulla hitaammin, kuin voimaharjoittelussa.

Maksimaalisen intensiteetin pikajuoksu vaatii äärimmäisen kovan neuraalisen aktivaation tason. Ei ole



KUVIO 1. Suorituskykyyn pikajuoksussa vaikuttavat tekijät. Kursivoituna tekijät, jotka eivät ole neuraalisia.

tehty tutkimuksia, joissa olisi mitattu pikajuoksuharjoittelun vaikutusta neuraalisen aktivaation määrään. Mitattavista neurologisista muuttujista hermon johtumisnopeuden (HJN), maksimaalisen EMG:n, motoristen yksiköiden rekrytointistrategian ja H-refleksin on todettu muuttuvan harjoittelun seurauksena. Näissä muuttujissa on myös löydetty eroja nopeus- ja kestävyyslajien urheilijoiden ja harjoittelemattomien väliltä. Ei tiedetä, että onko neuraalisilla adaptaatioilla kausaalisia vaikutuksia parantuneeseen suorituskykyyn pikajuoksussa.

Mahdollisia neuraalisia mekanismeja parantuneen pikajuoksun suorituskyvyn takana ovat muutokset ajallisessa lihaksen aktivoinnin jaksottamisessa tehokkaamman liikkeen saamiseksi, muuttunut motoristen yksiköiden rekrytointistrategia (nopeiden ensisijainen rekrytointi), lisääntynyt HJN ja lihasten aktivaation suuruus tai frekvenssi sekä parantunut kyky ylläpitää lihasten rekrytointia ja nopeata syttymistä koko pikajuoksuosuituksen ajan. Tämän kirjallisuuskatsauksen tarkoitus on keskustella näistä em. neuraalisista mekanismeista ja niiden mahdollisista vaikutuksista suoritukseen pikajuoksussa.

## **1 Lihasten aktivaatio ja rekrytointistrategia**

Pikajuoksussa pitää aktivoita suuri määrä lihaksia oikeina aikoina ja sopivilla intensiteeteillä, kun yritetään maksimoida nopeus. Agonistien ja antagonistien ajoituksen optimoinnilla mahdollistuu vähentynyt yhteissupistusten määrä (co-contraction), jolloin liikenopeus paranee.

### **1.1 Tekniikkaerot**

Huippu-urheilijoiden ja muiden urheilijoiden väliltä on juoksuosuituksissa löydetty eroja lonkan ja polven ojennuksien nivelkulmissa ja raajasegmenttien liikenopeuksissa lonkan ojennuksessa. Osa näistä havaituista eroista saattaa johtua harjoittelun aiheuttamista hermotusmallien muutoksista. Huippu-urheilijoilla motoriset ohjelmat, ja mahdollisesti adaptaatiokyky korkean intensiteetin neuraalisille harjoituksille, ovat tehokkaampia kuin muilla urheilijoilla. Tämä on osoitettu supramaksimaalisilla juoksuopeuksilla, joissa huiput pystyivät lisäämään sekä askeltiheyttä, että askelpituuksia toisin kuin muut. Yksityiskohtainen pitkittäistutkimus juoksuharjoittelun aiheuttamista adaptaatioista kuitenkin edelleen puuttuu!

### **1.2 EMG tutkimukset**

On hyvin vähän pitkittäistutkimuksia, joissa on käytetty EMG:tä, koska elektrodien toistuva samanlainen asettaminen on vaikeaa. EMG:n avulla on kuitenkin osoitettu, että lihasten aktivointi muuttuu merkittävästi ajallisesti ja suhteellisesti nopeutta lisättäessä. Lihassupistuksen nopeuden muuttuessa myös synergistilihasten panosten on osoitettu muuttuvan. Tutkimusten mukaan harjoittelun vaikutuksesta lihasten aktivaatiossa tapahtuu ajallisia muutoksia ja venymis-lyhenemisykluksen käyttö lisääntyy. Pikajuoksuharjoittelu saattaa aiheuttaa kaikkia näitä muutoksia, jolloin suorituskyky myös ehkä paranee.

### **1.3 Lihassolutyypin rekrytointi**

Kyky valikoivasti rekrytoida nopeita motorisia yksiköitä saattaa olla merkitsevä pikajuoksuosuituksen kannalta. On viitteitä siitä, että nopeita lihassyitä voitaisiin rekrytoida valikoivasti erityisesti eksentrisessä harjoituksessa. Ei ole osoitettu, että edes nopeissa konsentrisissa supistuksissa voitaisiin pystyä vastaavaan. Erään tutkimuksen mukaan pikajuoksijoilla saattaa olla parempi kyky valikoivasti rekrytoida nopeita motorisia yksiköitä verrattuna kestävyysurheilijoihin tai harjoittelemattomiin nähden. Tutkimus oli tehty kuitenkin vain tibialis anterior -lihakselle ja yksityiskohtia su-

pistustyyppistä annettiin hyvin vähän. Lisäksi nopeusurheilijan suurempi nopeiden motoristen yksiköiden määrä saattaa häiritä tulosta. Joka tapauksessa nopeasti supistuvien ja rentoutuvien lihasten valikoitu rekrytointikyky on edelleen mahdollinen pikajuoksuharjoittelun aiheuttama adaptaatio.

## 2 Lihasten aktivoinnin nopeus ja suuruus

Lihasten aktivaation suuruuden on osoitettu iEMG:n avulla lisääntyvän juoksunopeuden kasvaessa. Harjoitteleilla urheilijoilla lihasten aktivaatio ja askeltiheys saattavat lisääntyä jopa vielä kun nopeus kasvatetaan supra-maksimaaliseksi. Kaikki ihmiset eivät pysty tahdonalaisesti maksimaalisesti aktivoimaan lihaksiaan. Voimaharjoittelun alkuvaiheessa on osoitettu iEMG:n, ja mahdollisesti näin ollen lihasten aktivoinnin, lisääntyvän samanaikaisesti voiman kanssa. Lihasten aktivaation muutoksia eri mittauskertojen välillä on kuitenkin mahdotonta luotettavasti mitata EMG:n avulla ilman normalisointia. EMG amplitudien muutosten vertailu onnistuu hyvin vain suhteuttamalla ne johonkin referenssiin kuten M-aaltoon. Juoksussa käytettävien lihasten suuri määrä kuitenkin aiheuttaa ongelmia edellisen toteuttamiselle.

### 2.1 Hermon johtumisnopeus (HJN)

HJN tarkoittaa impulssin kulkunopeutta motoneuronia pitkin, mikä liittyy vahvasti lihaksen supistusaikaan. HJN:n ollessa nopea, myös refraktoriaika on yleensä lyhyt, mikä sallii suuremman impulssitaajuuden ja täten lihaksen aktivaatiotaso suurenee. Kirjallisuudessa on ristiriitaisia löytöjä HJN:sta eri ryhmillä kuten nopeus- ja kestävyyslajin urheilijoilla ja harjoitteleilla / ei-harjoitteleilla. Ongelmana on tutkimuksissa käytetyt erilaiset menetelmät ja kykenemättömyys standardoida olosuhteet ja koehenkilön tyyppi. Hermon johtumisnopeutta on lähinnä mitattu kahden stimulaatiopisteen tekniikalla, joka määrittää vain nopeimpien syiden johtumisnopeutta. Toinen tekniikka, jolla voi mitata johtumisnopeutta hermossa on ns. ”törmästekniikka”. Siinä stimuloidaan hermoa distaalaisesti submaksimaalisella ja proksimaalisesti maksimaalisella intensiteetillä, jolloin voidaan määrittää HJN:t kaikille aksoneille hitaista nopeisiin. Tämä voi olla parempi menetelmä, koska vain nopeimpien aksonien HJN:n mittaaminen ei kerro koko totuutta, koska niiden johtumisnopeus saattaa olla jo alun alkaen maksimaalinen. Törmästekniikkaa ei ole käytetty pikajuoksututkimuksissa, joissa on selvitetty HJN:a.

Ainoassa HJN:n muutosten selvittämiseksi tehdyssä pitkittäistutkimuksessa saatiin tulokseksi, että HJN lisääntyi 14 viikon nopeusharjoittelun seurauksena. Samaan aikaan mitattu iEMG ei muuttunut. Koska iEMG:n mittaus tehtiin kuitenkin isometrisessä tilanteessa, niin on mahdotonta määrittää lihaksen aktivaation ja HJN:n yhteyksiä tämän tutkimuksen perusteella.

Harjoittelun frekvenssi ja volyymi saattavat myös vaikuttaa HJN:een. Lihaksen myosiinin raskasketjun siirtymä ja ehkä myös neuraalinen adaptaatio vaihtelee nopeusharjoittelun frekvenssin mukaan. Eräissä eläinkokeissa korkea päivittäinen harjoittelumäärä kovalla intensiteetillä aiheutti laskea aksonin halkaisijassa ja myeliinin määrässä. Toisissa tutkimuksissa on liikunta aiheuttanut aksonin halkaisijan suurentumista. Näyttääkin siltä, että on olemassa frekvenssikynnys, jonka ylittyessä liikunta ei enää vaikutakaan positiivisesti aksonin halkaisijaan ja myelinaatioon ja sitä kautta HJN:een. Pikajuoksuun liittyvän todistusaineiston puuttuessa on mahdotonta tietää, mikä voisi olla optimaalinen frekvenssi harjoittelulle.

Viimeaikaisten tutkimusten mukaan hermon johtumisnopeudet ja lihaksen johtumisnopeudet eivät näytä liittyvän yhteen kovinkaan hyvin. Johtuen ristiriitaisista tutkimustuloksista on epäselvää, onko mahdollinen HJN:n lisääntyminen lainkaan yhteydessä parantuneeseen suorituskykyyn.

## 2.2 Motoneuronin ärtyvyys ja refleksiadaptaatio

Motoneuronien ärtyvyys kuvaa motoneuronialtaan herkkyystillä. Lisäys motoneuronin ärtyvyydessä johtaa voimakkaampaan lihaksen supistumiseen, joka olisi edullista pikajuoksijoiden suorituskyvyn kannalta. H-refleksin suhteellisen koon mittaaminen on yleisin käytetty menetelmä motoneuronien ärsyyntyvyyden tilan määrittämisessä. H-refleksin tulkinta on kuitenkin ongelmallista, koska sen suuruuteen vaikuttaa monet tekijät kuten lihasspindelien herkkyyden ja Ia afferentteihin tulevan presynaptisen inhibition määrä.

Venytyksrefleksin ja H-refleksin tulosten pohdinnassa tärkein havaittu ero on se, että jälkimmäinen on edellistä vähemmän herkkä muutoksille  $\gamma$ -aktiivisuudessa koska lihasspindelit (tavallaan) ohitetaan sähköstimulaatiossa. H-refleksin mittaaminen on metodologisesti helpompaa, erityisesti korkean intensiteetin ballistisissa suorituksissa. Venytysrefleksin merkitys kävelyn aikana on ehdotettu olevan kompensointi maan epätasaisuuksiin, vaikuttaa voimantuottoon tukivaiheen lopussa ja lihaksen jäykkyysominaisuuksien kontrollointi.

### 2.2.1 Venytys- ja H-refleksi rentoutuneessa lihaksessa: pikajuoksuharjoittelun vaikutus

Räjähävyyttä vaativia anaerobisia lajeja harrastavien urheilijoiden H-refleksien on todettu olevan alhaisempia aerobisesti harjoitelleisiin nähden. On ehdotettu, että edellisillä Ia afferentteihin tulevien eksitoivien presynaptisten välineuronien vaikutus on heikompaa harjoittelun seurauksena tai geneettisistä tekijöistä johtuen verrattuna jälkimmäisiin. Toinen mahdollinen syy on se, että H-refleksi mittaa enemmän hitaiden lihassyiden vaikutusta. Tämän jälkimmäisen selityksen perusteella ehdotettiin, että H-refleksin lasku räjähtävyyden urheilijoilla harjoittelun seurauksena liittyy motoristen yksiköiden muuttumiseen hitaista nopeammiksi. Plyometrinen harjoittelu aiheutti eräässä tutkimuksessa hitaiden lihassyiden määrän suhteellista laskua ja samalla H-refleksin amplitudin laskun. Toisaalta supistusajan on todettu lyhentyvän H-refleksin koon ja voiman suurentuessa, mikä voisi tarkoittaa sitä, että muitakin kuin hitaita motorisia yksiköitä tällöin rekrytoitaisiin.

Suuri korkean kynnyksen nopeiden motoristen yksiköiden määrä saattaa vaatia tietyn tausta EMG-tason, tai potentiaation, jotta refleksivaste aiheuttaisi supistuksen. Em. väitettä voi tukea pikajuoksijoilla löydetyt vähentyneet refleksien potentioitumiset levossa ja supistuksessa. Eläinkokeiden tuloksista voisi myös päätellä, että H-refleksin lasku harjoittelun seurauksena voisi johtua syttymiskynnyksen noususta. Balettianssijoilla on todettu mitättömän pienen refleksiaktiivisuuden triceps surae lihasryhmässä, jonka on ehdotettu johtuvan kroonisesta lihasten yhtäaikaisesta supistuksesta (co-contraction) alaraajoissa harjoittelun aikana. Tämä aiheuttaa mahdollisesti presynaptisen inhibition lisääntymisen, mitä seuraa vähitellen krooninen ”synapsien väsyminen”. Vastaavanlaisesti pikajuoksussa korostetaan dorsifleksiota nilkanivelessä, jolloin triceps surae ja tibialis anterior -lihakset supistuvat yhtäaikaisesti. Tämä on yksi mahdollinen selitys syyksi, miksi H-refleksi on alentunut pikajuoksijoilla.

Jännerefleksien eroista nopeus- ja kestävyyslajien urheilijoiden välillä on esitetty ristiriitaisia tuloksia. Joissain tutkimuksissa nopeuslajien urheilijoilla on havaittu jälkimmäisiä suurempi jännerefleksi. Painonnostajilla on raportoitu olevan lyhyempi latenssi patellajännerefleksissä verrattuna teho- ja kestävyyslajien urheilijoihin, joiden välillä ei eroja havaittu. H-refleksin muutoksia tukevia tuloksia saatiin tutkimuksessa, missä jännerefleksi oli kolmella neljästä lihaksesta heikompaa teho- ja kestävyyslajien urheilijoilla verrattuna kestävyysurheilijoihin. Eroja eri tutkimustulosten välillä on vaikea selittää. On mahdollista, että nopeus- ja teho- ja kestävyyslajien avulla lihasspindelien herkkyyden venytykselle voi lisääntyä, ja tämä saattaa aiheuttaa eron jänne- ja H-refleksin tulosten välille.

Ei ole tehty tutkimuksia, joissa olisi selvitetty venytysrefleksin muutoksia pikajuoksuharjoittelun seurauksena. On kuitenkin osoitettu, että on mahdollista parantaa venytysrefleksivastetta käyttämällä harjoitteluohjelmaa, joka sisältää toistuvia nopeita lyhyitä venytyksiä ja biopalautetta venytysrefleksivasteesta. Tämä voisi viitata siihen, että venytysrefleksivaste voisi parantua ballististyyppisellä harjoittelulla kuten pikajuoksulla.

Geenien ja harjoittelun vaikutuksia ei voi erotella, koska lähes kaikki pikajuoksututkimukset ovat olleet asetelmaltaan poikkileikkauksia. Yhdistelemällä pitkittäis- ja poikkitaistutkimusten tuloksia, voidaan kuitenkin ehdottaa, että pikajuoksuharjoittelu aiheuttaa H-refleksin laskua ja venytysrefleksin lisääntymistä tai muuttumista ennallaan.

## 2.2.2 Supistuksen aiheuttama refleksien potentoituminen

Isometrinen lihassupistus yleisesti potentoit sekä H-, että jännerefleksejä. Tämä johtuu joko sentraalisista tai perifeerisistä tekijöistä, jotka vaikuttavat refleksikaareen. Sentraalisista tekijöistä mahdollisia mekanismeja ovat motoneuronaltaan ärsyntyvyyden lisääntyminen ja Ia afferentteihin tulevan presynaptisen inhibition vähentyminen. Perifeerisistä mekanismeista spindeleiden kynnyksen muuttuminen supistumisen aikana tai sen jälkeen saattaa myös vaikuttaa.

Tutkimusten mukaan pikajuoksijoilla refleksit potentoituvat enemmän supistuksen aikana kuin kontrollihenkilöillä. Levossa sen sijaan pikajuoksijoiden suurempi prosentuaalinen osuus korkeamman syttymiskynnyksen omaavia nopeita motorisia yksiköitä vaatii suuremman stimulaation Ia afferenteista, jotta refleksi toteutuisi. Supistuksen aikana nopeat motoriset yksiköt ovat lähempänä kynnystään ja täten refleksistimulus voi olla riittävä aiheuttamaan vasteen. Parantunut refleksien potentoituminen supistuksen aikana voi epäsuorasti osoittaa mahdollisesti lihassyiden tyyppien ja suorituskyvyn muutosta. Saattaa olla, että lihasaktiivisuuden aiheuttama refleksien potentoituminen voisi lisätä voimantuottoa juoksussa, ja että pikajuoksijoilla tämä potentoituminen olisi suurempaa kuin harjoittelemattomilla.

Välittömästi supistuksen jälkeen H-refleksi on laskenut, jota seuraa n. neljän minuutin kuluttua potentoituminen. On raportoitu, että refleksivaste on suurempi nopeus- ja teholarajien urheilijoilla verrattuna kestävyysurheilijoihin maksimaalisen supistuksen jälkeen. Huomattiin, että H-refleksin lisääntyminen tapahtui ajallisesti samantyyppisesti kuin räjähtävän voimantuoton lisääntyminen, mikä mahdollisesti kertoo potentoituneen venytysrefleksin vaikutuksesta voimantuottoon. Yksi mahdollinen syy edelliseen voi olla mm. afferenttien purkauksen tehokkuuden parantuminen tai myosiinin kevytketjujen fosforylaatio, mikä aiheuttaa aktiini-myosiinin kalsiumherkkyyden lisääntymisen. Jälkimmäinen on ilmeisesti suurempaa tyyppin II lihassoluissa. Tämä voi olla yksi syy eliittitason pikajuoksijoiden suurempaan refleksien potentoitumiseen.

Näyttää siltä, että eksentrisen lihastoiminnan aikana H-refleksin potentoituminen on pienempää kuin isometrisen tai konsentrisen supistuksen aikana. Tästä lisää osiossa 2.2.3. Em. löydöksiä voi käyttää hyväksi mm. lahjakkuuksien etsinnässä. Lisäksi lämmittely voi johtaa parempaan suoritukseen itse kisassa juuri edellä kerrotuista vaikuttavista mekanismeista johtuen.

## 2.2.3 Refleksien vaikutus kävelyyn: sovellukset pikajuoksuun

Erityisesti lyhyen latenssin reflekseillä on tärkeitä vaikutuksia suorituskykyyn pikajuoksussa.

① Voimantuotto. On ehdotettu, että tukivaiheessa venytysrefleksillä on suuri rooli vaikuttamassa jalkojen ojentajien EMG:hen ja sitä kautta voimantuoton lisäykseen. Venytysrefleksi vaikuttaa nopeasti, joten sillä on vaikutusta myös pikajuoksuun, jossa kontaktiajat ovat alle 100 ms. Tekijöitä, jotka vaikuttavat voimantuottoon venytysrefleksin kautta ovat:

- Lihaksen esiaktiivisuus, jota on havaittavissa lihaksissa, jotka tuottavat eteenpäin suuntautuvaa

voimaa kuten pikajuoksussa gastrocnemius, vastus lateralis ja biceps femoris. Tämä esiaktiivisuus oletettavasti lisää lihasspindeleiden herkkyyttä, jolloin venytysrefleksin vaikutus lisääntyy.

- Jänteen komplianssin suuruus vaikuttaa suoraan lihaksen voimantuottoon ja myös lihasspindeleistä tulevan palautteen kautta.
- On spekuloitu, että voima- ja tehotyypisellä, ja mahdollisesti myös pikajuoksumaisella harjoittelulla, lihasspindeleistä lähtönsä saavan järjestelmän tehokkuus saattaa muuttua, mikä mahdollisesti parantaa lihaksen jäykkyyttä kontaktissa (ks. kohta ②). Erään tutkimuksen mukaan soleuksessa hyppelyn aikainen H-refleksi laski ja venytysrefleksi nousi neljän viikon hyppelyharjoittelun jälkeen.
- ② Lihäs-jännesysteemin jäykkyys näyttää lisääntyvän refleksien vaikutuksesta. Lihäsjänne-systeemin jäykkyys saattaa vaikuttaa venymis-lyhenemisykleksen käyttöön ja sitä kautta elastisen energian varastointiin ja hyväksikäyttöön. Lihäsjänne-systeemin jäykkyys näyttää vahvasti liittyvän maksimaaliseen juoksunopeuteen ja nopeuden ylläpitoon. On todennäköistä, että jäykemmällä systeemillä voisi olla positiivisia vaikutuksia juoksuun, kuten lisääntynyt voimantuottonopeus kontaktivaiheessa, minkä seurauksena kontaktiaika lyhenee ja huippuvoima on suurempi. Tekijöitä, jotka vaikuttavat jäykkyyden säätelyyn refleksikaaren kautta ovat:
  - Esiaktiivisuus ja yhteissupistus (co-contraction) vastustamalla aiheettomia niveleen tulevia häiriöitä kontaktissa, ja vaikuttamalla aktiivisten lihasten vahvistamiseen refleksin kautta (ks. kohta ③).
  - Pitkäaikainen harjoittelu saattaa vaikuttaa lihasspindeleistä tulevan afferentin tuoman palautteen määrään. Lisäksi jäykkyys lisääntyisi edelleen, jos golgin jänne-elimestä tuleva inhibitorinen vaikutus mahdollisesti samanaikaisesti vähentyisi.
- ③ Kuten mainittiin osiossa 2.2.2, refleksin vahvistamisvaikutus riippuu lihastoimintatavasta. Oletettavasti pikajuoksun aikana lihastoimitapa säätelee muutoksia ärtyvyydessä. Tämän tapainen ärtyvyyden säätely saattaa helpottaa yksittäisten lihasten vaikutusta toiminnassa. Esimerkiksi pikajuoksun kontaktivaiheessa gastrocnemius ilmeisesti toimii isometrisesti ja soleus alkuvaiheessa eksentrisesti. H-refleksin muutokset kontaktin alussa näyttävän tukevan tätä ilmiötä; gastrocnemiuksessa on potentoitu refleksi ja soleuksessa inhiboitu.

Agonisti-antagonisti lihasten, tässä tapauksessa tibialis anteriorin ja triceps suraen, yhteissupistus näyttää vaikuttavan eri lailla agonistilihaksiin; soleuksen H-refleksi laskee ja gastrocnemiuksessa pysyy ennallaan. On ehdotettu, että myös liikekäskyt prosessoituvat venytysrefleksimekanismien vaikutuksesta, mikä parantaa jäykkyyden säätelyä ja ehkäisee kävelyn aikaisia tahattomia oskillatioita sekä ”robottimaisuutta” toimimalla ikään kuin vaimentimena.

### 3 Neuraalinen väsymys

Neuraalinen väsymys on potentiaalinen rajoittava tekijä maksimaalisen pikajuoksuharjoituksen aikana ja vielä sen jälkeenkin. Neuraalista väsymystä on vaikea paikallistaa, mutta se voi ilmetä supraspinaalisena häiriönä, afferenttien inhiboitumisena, motoneuronien ärsyntyvyyden laskuna ja eksitoinnin loppumisena haarautumispaisteissa. Myös väsymys hermo-lihasliitoksessa saattaa ehkäistä pikajuoksussa täyden lihasten aktivoimista. Tässä kirjallisuuskatsauksessa akuutti neuraalinen väsymys viittaa neuraaliseen väsymykseen harjoituksen aikana tai välittömästi sen jälkeen ja pitkäkestoinen vastaavasti väsymykseen minuutteja ja päiviä harjoituksen jälkeen. Jälkimmäisellä voi olla sovelluksia harjoittelufrekvenssiin ja adaptaatioon.

#### 3.1 Akuutti neuraalinen väsymys

Tyypillisessä 100 metrin juoksussa väsymys näkyy siinä, että nopeus laskee yleensä hieman loppussa. Tällöin ilmenee askeltiheyden laskua, mikä osittain johtuu mahdollisesti neuraalisista tekijöistä kuvion 1 mukaisesti, kuten muutoksista tekniikassa, rekrytoinnissa ja syytymistiheydessä.

Neuraalislähtöistä väsymystä ilmenee muutaman sekunnin kuluttua maksimaalisintensiteettisen harjoituksen alusta. Akuuttia neuraalista väsymystä on havaittavissa tällöin erityisesti nopeissa motorisissa yksiköissä. Pitkäkestoisessa suorituksessa sentraalinen ohjaus heikentyy, mikä erityisesti vaikuttaa nopeisiin motorisiin yksiköihin, joilla on korkea syttymiskynnys. Näiden yksiköiden kynnys syttyä saattaa myös nousta.

Koko lihaksen tasolla progressiivisen väsymyksen aikana supistus-relaksaatio hidastuu, mikä vähentää tarvetta korkealle aktivaatiolle. Maksimaalisen voimantuoton kannalta aktivaatiotiheyden tulisi vähentyä myös samanaikaisesti. Yksittäisillä motorisilla yksiköillä on toisiinsa nähden erilaiset supistus- ja väsymysprofiilit. Oletettava suuri nopeiden motoristen yksiköiden aktivointi pikajuoksussa aiheuttaa merkittävää akuuttia neuraalista väsymystä, mikä näkyy esim. 100 metrin juoksun lopussa heikentyneenä lihasten aktivointina.

Tutkimuksessa, jossa pääkallon sisäisellä magneettistimulaatiolla stimuloitiin suoraan motoriselle aivokuorelle nähtiin lisäystä twitch-voimassa 15 sekunnin kuluttua MVC:n alusta, mikä osoittaa, että lihasten aktivaatio ei ollut optimaalista. Mahdollisesti samoin tapahtuu myös maksimaalisen pikajuoksun lopussa, jolloin motoriselta aivokuorelta tuleva käskytyks ei ole optimaalista, vaan on suorituskykyä rajoittava tekijä. Harjoittelussa on käytetty ns. ”in and out” harjoitteita, joissa kiihdytetään maksiminopeuteen (”in”), josta välillä hidastetaan hieman n. 5 - 20 metriksi (”out”) ja annetaan keskushermoston latautua uudestaan, jonka jälkeen uudelleen in” jne. kunnes vuorottelu toistuu n. 2-3 kertaa. Mahdollisesti tällöin in-vaiheissa voidaan juosta maksimaalisella neuraalisella tasolla.

EMG aktiivisuus lisääntyy juoksunopeuden lisääntyessä, joten maksiminopeusharjoittelu on todennäköisesti juoksuharjoituksista kaikkein eniten keskushermostoa stressaava. 200 ja 400 metrin juoksua tutkittaessa on havaittu, että lihasten aktivaatio lisääntyi väsymystilassa, mikä viittaisi siihen, että perifeeriset, eikä niinkään sentraaliset tekijät, aiheuttavat nopeuden hidastumisen. Lisääntyneen lihasten aktivoinnin mahdollisti vauhdinjakostrategia, jossa alussa nopeus oli submaksimaalinen. Sen sijaan varsinaisessa pikajuoksussa (100 m) lihasaktivaatio laski 4,9 - 8,7 % juoksun kiihdytysvaiheen jälkeen, mikä mahdollisesti viittaa väsymykseen hermo-lihasliitoksessa ja/tai heikentyneeseen syttymistiheyteen. Myös nopeimpien lihassyiden tippuminen voimantuotosta voi olla yksi selitys, kun tällä tavoin optimoidaan voimantuottoa välttämällä väsymystä. Lisäksi myös vielä distaalisesti hermo-lihasliitoksesta oletettavasti tapahtuu väsymystä, mistä osoituksena tutkimus, jossa nopeus laski maksiminopeuden vaiheen jälkeen enemmän kuin maksimaalinen EMG. Viimeinen mahdollinen selitys akuutille neuraaliselle väsymykselle on vähentynyt refleksiherkkyys. Tämän vaikutus on todettu määrällisesti kovassa venymis-lyhenemisyksilyksissä (SSC) sisältävässä kuormituksessa, mutta ei vielä pikajuoksussa. Maksimaalisen intensiteetin suorituksessa aineenvaihdunnan tuotteiden, kuten maitohapon, on todettu vaikuttavan III- ja IV-tyyppin afferentteihin, mikä mahdollisesti inhiboi refleksiarta. SSC:n vaikutus potentoimassa eteenpäin työntävää voimaa heikentyy, kun maitohappo saavuttaa tietyn tason. Jopa pienikin muutos refleksiherkkyudessa saattaa heikentää merkittävästi pikajuoksuosuutusta.

### 3.2 Pitkäkestoinen neuraalinen väsymys

Neuraalista väsymystä ja siitä palautumista suositellaan huomioitavaksi tekijäksi, kun päätetään maksimaalisten nopeusharjoitusten ajoitukset ja tiheydet. Tähän liittyvä tutkimustieto on kuitenkin puutteellista. Lihasvaurio voi vaikuttaa neuraaliseen toimintaan refleksien ja lihaskalvon ärtyvyyden muutosten kautta, mikä näkyy jopa seitsemän päivää vaurion jälkeen EMG:n muutoksena. Laajoja lihassvaurioita on raportoitu pikajuoksuharjoittelun seurauksena, erityisesti tyyppin IIB lihassyissä. Voidaan olettaa, että seuraavan maksiminopeusharjoittelun suorittaminen olisi optimaalista tehdä, kun kyky aktivoida IIB lihassyitä on palautunut riittäväksi edellisen harjoituksen jälkeen. Kuten

akuutti väsymys, lihasvaurio aiheuttaa kemiallisten aineiden kautta vaikutuksen III- ja IV-tyyppin lihasten afferentteihin ja sitä kautta kipuun, sekä muutoksen reflekseissä ja lihasaktivaatiossa. Lihasten III- ja IV-tyyppin afferenttien aktivaatio saattaa aiheuttaa lisääntyneen inhibitorisen vaikutuksen  $\alpha$ -motoneuroniaaltaaseen, mikä aiheuttaa suorituksen heikentymisen SSC harjoituksessa. Venytys- ja H-refleksin on raportoitu palautuvan täysin neljä päivää pitkäkestoisen kestävyysjuoksun jälkeen. Pikajuoksuharjoitus on edellä mainittua lyhyempikestoisempi, mutta paljon intensiivisempi ja enemmän SSC-tyyppinen. Eksentrisen harjoituksen jälkeen on havaittu heikentynyttä proprioseptiota ja vaikeuksia tuntea ponnistelun suuruus. Nämä oletettavasti vaikuttavat urheilijan tekniikkaan, ja tekevät maksimaalisen nopeusharjoituksen tekemisestä vähemmän optimaalisen. Valmentajat arvioivat harjoituksen aiheuttamaa stimulusta ja optimaalisen harjoittelun ohjelmointia lähinnä urheilijoiden suorituksista ja lihasarkuuksista. Lisää tutkimustietoa tarvitaan, jotta pystytään luomaan harjoitusohjelmia, jotka ovat optimaalisia neuraalisten mekanismien kannalta.

## 4 Johtopäätös

Suorituskykyyn pikajuoksussa vaikuttaa merkittävästi hermosto ja sen harjoitustila. Tämän hetkisen tutkimustiedon perusteella voidaan tehdä oletuksia, että:

- Lihaksen jaksottaista aktivaatiota voi harjoittaa, joten pikajuoksutekniikka on muokattavissa
- Hermon johtumisnopeus saattaa lisääntyä pikajuoksuharjoittelun vaikutuksesta
- Liiallinen harjoittelu saattaa johtaa negatiivisiin vaikutuksiin HJN:ssa, refleksivasteissa ja proprioseptiossa
- Venytysrefleksi näyttää auttavan pikajuoksun voimantuotossa, ja sitä voi harjoituttaa
- Akuuttiin väsymykseen pikajuoksun aikana saattaa liittyä neuraalinen komponentti, johon tosin ilmeisesti vahvasti vaikuttaa metaboliset tekijät
- Myös pikajuoksun aiheuttamalla pitkäkestoisella väsymyksellä voi olla neuraalisia vaikutuksia refleksivasteisiin ja proprioseptioon, ja näin ollen myös pikajuoksutekniikkaan

Kun em. tekijät ja metaboliset, sekä supistuvaan koneistoon liittyvät adaptaatiot harjoitteluun tunnetaan paremmin, niin voidaan optimoida pikajuoksuharjoittelu tämän hetkistä paremmin.

## OMA POHDINTA

Tämä kirjallisuuskatsaus oli erittäin mielenkiintoinen ja asiaa oli paljon. Monessa tilanteessa asiat oli esitetty turhan monimutkaisesti. Saattoi olla hyvä, että samoja asioita toistettiin monissa kohdissa, kun viitattiin edellisiin tai jopa tuleviin kappaleisiin. Joissain tilanteissa se oli kuitenkin häiritsevää.

Tässä katsauksessa tuli esille todella monta tutkimusaihetta, jota pitäisi tutkia tulevaisuudessa. Pitkittäistutkimusten puute pikajuoksussa aiheutti sen, että nyt jouduttiin käsittelemään paljon tutkimuksia, jotka vain hyvin lievästi liittyivät itse aiheeseen ja tutkijat joutuivat tekemään näiden perusteella johtopäätöksiä niiden soveltuvuudesta pikajuoksuun.

Itse odotin, että olisi ollut enemmän asiaa supistus/relaksaationopeudesta ja sen mahdollisesta harjoitettavuudesta. Nyt puhuttiin aiheesta sivuten vain lähinnä hermon johtumisnopeuden muutoksista ja nopeampien motoristen yksiköiden rekrytoinnista. Luulisi kuitenkin, että askeltiheyteen vaikuttaisi enemmän sentraalisen tason käskytyksen kyky tuottaa suuri frekvenssi (supista - rentouta) käytettäviin lihaksiin. Tätä tietoa hyväksi käyttäen ilmeisesti Itä-Euroopassa on käytetty askeltiheyden kasvattamiseksi harjoittelussa hyväksi mm. metronomityyppistä optimaalisen frekvenssin äänisig-



naalia juoksijalle, jotta hän pystyisi näin korkeampaan askeltiheyteen. Omasta mielestäni askeltiheys lähtee melko paljon aivoista. Jonkinlainen inhibitiotila on usein päällä, ja se pitää saada poistettua, ennen kuin on mahdollista tuottaa mahdollisimman nopeita supistus-nopeutus jaksoja itse juoksussa. Aivoihin tehtävän magneettistimulaation vaikutusta askelfrekvenssiin siihen kehityssä laitteessa olisi mielenkiintoista tutkia perinteisten twitchien sijaan. Ok, menetelmä olisi todella vaikea toteuttaa...

Tutkimuksessa oli tekijöillä ilmeisesti mennyt hieman maitohappo ja sen dissosioitumistuotteet laktaatti- ja vety-ioni hieman sekaisin. Nimittäin juuri vety-ioni ja sitä kautta happamuuden lisääntyminen, eikä niinkään laktaatti, mikä aiheuttaa III- ja IV-tyypin vapaiden hermopäätteiden ärtymisen. Tässä referaatissa tutkijoiden käyttämä laktaatti on korvattu maitohapolla...Lisäksi sähköstimulaatio ei oikeastaan varsinaisesti ”ohita” spindeliä (tai ainakaan sen vaikutusta, terveisiä ”Javelan Annelle”☺).