



DATA-ANALYTIIKAN HYÖDYNTÄMINEN VOIMAHARJOITTELUN OPTIMOINNISSA

Utilizing data analytics in the optimization of strength training

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Tuotantotalouden kandidaatintutkielma

2023

Tekijä: Joonas Hasu

Tarkastaja(t): Tutkijatohtori Antti Ylä-Kujala

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Teknis-luonnontieteellinen

Tuotantotalous

Joonas Hasu

Data-analytiikan hyödyntäminen voimaharjoittelun optimoinnissa

Utilizing data analytics in the optimization of strength training

Tuotantotalouden kandidaatintutkielma

2023

39 sivua, 9 kuvaa, 3 taulukkoa

Tarkastaja: Tutkijatohtori Antti Ylä-Kujala

Avainsanat: Data-analytiikka, voimaharjoittelu, nopeusperusteinen harjoittelu

Keywords: Data-analytics, strength training, velocity-based training

Voimaharjoittelu on osa jokaisen urheilulajin harjoittelua. Sen avulla pyritään saavuttamaan kilpailuetua kasvaneen fyysisen suorituskyvyn ansiosta. Tietotekniikan kehittyessä yhä useammalla urheilijalla on mahdollisuus mitata harjoitteluaan ja analysoida mittaustuloksiaan. Tässä kandidaatintyössä perehdytään voimaharjoitteluun ja tutkitaan data-analytiikan keinojen käyttöä harjoittelun edistämiseksi. Työ on toteutettu yhdistämällä kirjallisuuskatsausta ja case-data-analyysia. Analyysissa luodaan esimerkkiurheilijan harjoitushistoriasta kerätystä datasta takakykyyn toistonopeuden ja levytangan kuorman suhdetta kuvaava malli regressioanalyysin avulla. Analyysin lisäksi työssä luodaan myös prosessikuvaus, joka toimii konkreettisenä sovellusesimerkkinä dataperusteiselle harjoittelun suunnittelulle.

Työssä havaittiin luotettavan mittaamisen toimivan tärkeänä linkkinä valmennuksen ja tieteen välillä. Suoritusten mittaamisessa käyttökelpoisimpia työkaluja ovat levytangan liikenopeutta mittaavat sensorit, ja merkityksellisimmät mitattavista suureista ovat tangan liikenopeus sekä suorituksessa käytetty kuorma. Regressioanalyysia hyödyntämällä näistä suureista voidaan muodostaa urheilijalle liikespesifinen kuorma-nopeusprofiili. Profiilien avulla on mahdollista määrittää harjoittelussa käytettäviä kuormia sekä suunnittelu- että toteutusvaiheessa urheilijan akuutin suorituskyvyn mukaisesti. Data-analyysin avulla voidaan todeta, että profiilit toimivat esimerkkiurheilijalle luotettavana tapana ennustaa yhden toiston maksimia ja suorituskykyä takakykyyn osalta. Analytiikka ei kuitenkaan itsessään riitä, vaan toimii hyödyllisenä tukityökaluna ammattimaiselle valmennukselle.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

1	Johdanto.....	3
1.1	Työn tausta	3
1.2	Tavoite ja tutkimuskysymykset.....	4
1.3	Menetelmät, aineisto ja rajaukset	4
1.4	Työn rakenne.....	5
2	Voimaharjoittelu ja sen mittaaminen.....	7
2.1	Voimaharjoittelun tavoitteet.....	7
2.2	Harjoittelussa käytettävän kuorman määrittäminen.....	8
2.3	Harjoittelusuoritusten mittaaminen	9
2.4	Tehontuotto voimaharjoittelusuorituksissa	10
2.5	Harjoitusohjelmien muodostaminen	11
3	Data-analytiikan menetelmät voimaharjoittelussa	15
3.1	Ennustemallien käyttö voimaharjoittelussa.....	15
3.2	Nopeusperusteinen ennustaminen	16
3.3	Nopeusperusteinen kuorman määrittäminen.....	17
3.4	Regressioanalyysi.....	20
4	Kuorma-nopeusprofiilin muodostaminen data-analyysin avulla esimerkkiurheilijalle	21
4.1	VmaxPro-anturi.....	21
4.2	Kerätty data	23
4.3	Regressioanalyysi ja kuorma-nopeusprofiilien muodostaminen	25
5	Prosessikuvaus dataperusteiseen harjoitusohjelman muodostamiseen	30
6	Johtopäätökset	34
	Lähteet	36

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Voimaharjoittelu on osa käytännössä jokaisen urheilijan harjoittelua. Onnistunut voimaharjoittelu kehittää urheilijan kokonaisvaltaista urheilullista sekä lajispesifistä suorituskykyä, mutta toimii myös loukkaantumisia ennaltaehkäisevänä harjoitteluna (Suchomel et al. 2016). Huippu-urheilussa voimaharjoittelua käytetään tukevana työkaluna, joka mahdollistaa lajisuorituskehittämisen pidemmälle kuin pelkkä lajiharjoittelu. Esimerkiksi huipputasoisten pyöräilijöillä voimaharjoittelun lisääminen kestävyysharjoittelun rinnalle kehitti merkittävästi useita kilpailusuorituksiin vaikuttavia tekijöitä: polkuliikkeen vääntöä, alavartalon lihasmassaa sekä tehontuottoa niin lyhyissä, 30 sekunnin vedoissa kuin 40 minuutin maksimaalisissa suorituksissakin. (Rønnestad et al. 2015)

Urheilullisen menestyksen lisäksi voimaharjoittelulla on suuri yhteiskunnallinen merkitys. Ikääntyvälle väestölle tai nivelrikkopotilaille voimaharjoittelu on erinomainen liikuntamuoto, joka kehittää lihasmassaa, joka itsessään edesauttaa arjen toimintakykyä (Liao et al. 2020). Arkielämässä lihasten kyky suorittaa kevyitä tai kohtuullisen raskaita toimintoja, kuten rappusten kävelemistä tai haravointia, on äärimmäisen tärkeää. Sairaskohtausten tai muiden loukkaantumisten myötä vaadittava lihaskestävyys voi kuitenkin hetkellisesti laskea, jolloin arjesta tulee haastavaa. Onkin todettu, että esimerkiksi aivoinfarktista kärsineille potilaille toteutettu voimaharjoittelu nopeutti lihaskestävyyden palauttamista arjen askareiden vaatimalle tasolle. (Ivey et al. 2017)

Voimaharjoittelua on tutkittu vuosikymmenien ajan, mutta viimeisten vuosien aikana tietotekniikan kehitys on tuonut harjoittelun mittaamiseen paljon uusia työkaluja esimerkiksi kiihtyvyyssanturien muodossa. Nämä anturit tarjoavat tavallisille harjoittelijoille mahdollisuuden tutkia harjoittelusta saatavaa dataa, kuten toistonopeutta käytännössä lähes samalla tarkkuudella, kuin laboratorio-olosuhteissa olevat huippu-urheilijat. (Olaya-Cuartero et al. 2022)

Aihe onkin ajankohtainen juuri siitä syystä, että tällä hetkellä riittävä laskentateho sekä mitausvälineet ovat lähes kaikkien saatavilla. Luotettava ja analyttinen mittaaminen sekä

mittaustulosten käsittely tuo valmennukselle tieteellistä perustelua ja toimii linkkinä tieteen sekä empirian välillä (Camomilla et al. 2018). Tieteellinen lähestymistapa harjoitteluun voi johtaa parempaan kehitykseen ja sitoutumiseen harjoitteluun, samalla vähentäen loukkaantumisten ja ylläsitustiloihin ajautumisen riskiä (Halson 2014). Tästä huolimatta voimaharjoittelusta – eikä varsinkaan analyttisestä voimaharjoittelusta – ei ole kuitenkaan suomen kielellä tehtyä tiedekirjallisuutta kovinkaan paljoa.

Huippu-urheilussa pienetkin marginaalit ratkaisevat, ja etua pyritään löytämään jokaisesta mahdollisesta asiasta. Data-analytiikan hyödyntäminen voimaharjoittelussa voi tarjota monelle urheilijalle pienen kilpailuedun, joka ratkaisee sijoitukset tämän edukseen.

1.2 Tavoite ja tutkimuskysymykset

Tämän työn tavoitteena on selvittää, mitä data-analytiikan keinoja voidaan hyödyntää työkaluina urheilijan voimaharjoittelun optimoimisessa. Tavoitteen pohjalta voidaan muotoilla työn päätutkimuskysymykseksi seuraava:

Miten data-analytiikan avulla on mahdollista optimoida urheilijan voimaharjoittelua saadakseen maksimaalisen voimantuottopotentiaalin irti?

Päätutkimuskysymys jakautuu kahteen alakysymykseen:

- 1. Mitä suorituksia, mittareita ja arvoja on järkevää tutkia voimaharjoittelusuoritusten optimaalisessa mittaamisessa?*
- 2. Miten näistä mittareista kerätty data analysoidaan ja käytetään harjoittelun suunnittelussa ja toteutuksessa urheilijan maksimaalisen potentiaalin saavuttamiseksi?*

1.3 Menetelmät, aineisto ja rajaukset

Työ on toteutettu kirjallisuustutkimuksen ja case-tyylisen data-analyysitutkimuksen yhdistelmänä. Kirjallisuustutkimuksen tavoitteena on luoda perusta empiriselle osiolla, jossa luodaan konkreettinen esimerkki data-analytiikan hyödyntämisestä voimaharjoittelun suunnittelussa.

Kirjallisuustutkimuksen pääasiallisena aineistona ovat tieteelliset artikkelit, joissa käsitellään voimaharjoittelua, data-analytiikkaa sekä nopeusperusteista harjoittelua. Aineiston valinnassa on pyritty tutkimaan mahdollisimman tuoreita artikkeleita, jotta työ olisi mahdollisimman ajankohtainen. Tiedonhaku on toteutettu käyttäen tietokantoina LUT Primoa, Scopusta, Google Scholaria sekä PubMediä.

Data-analyysin aineistona on yhdeltä urheilijalta VmaxPro -kiihtyvyyssanturin avulla kerättyä dataa monesta eri muuttujasta, kuten suorituksissa käytetyistä kuormista, toistonopeuksista sekä tehontuotosta.

Sekä kirjallisuustutkimus että data-analyysi sisältävät merkittäviä rajoituksia. Tämä tutkimus keskittyy urheilusuoritusten mahdolliseen parantamiseen data-analytiikan keinoin, eikä kansanterveydellisillä hyödyillä, kuten soveltamisella leikkauksesta tai sydänkohtauksesta toipumiseen ole tutkimuksen kannalta arvoa. Mittaaminen on rajattu vain harjoitusten aikaiseen toistojen mittaamiseen, eikä esimerkiksi sykealueiden, unen tai muiden vastaavien mekanismien merkitystä tutkita. Lisäksi mittaaminen on rajattu vain vapaalla tangolla tehtyyn takakykyliikkeeseen, sillä sitä on käytetty tutkimuskirjallisuudessa kontrolliliikkeenä. Takakykyyn käyttämisestä puoltaa myös se, että se on yksi yleisimmin suoritetuista voimaharjoitteluliikkeistä.

1.4 Työn rakenne

Työ koostuu kuudesta luvusta. Johdannon jälkeinen toinen luku käsittelee voimaharjoittelun perusteita, harjoittelun suunnittelua ja mittaamista. Suurin painopiste on nopeusperusteisessa harjoittelussa, tutkien modernia tapaa määrittää harjoittelussa käytettäviä kuormia. Harjoitusohjelmien muodostaminen ja urheiluvuoden jaksottaminen käydään myös läpi, sillä se on kiinteä osa huippu-urheilun suunnittelua. Kolmas luku tutkii data-analytiikan työkalujen, kuten ennustemallien ja lineaariregression yhdistämistä voimaharjoitteluun. Regressioanalyysiin ja sen avulla muodostettaviin kuorma-nopeusprofiileihin paneudutaan tarkasti.

Neljäs ja viides luku ovat tutkimuksen empiirinen osa. Neljännessä luvussa tehdään yhdeltä urheilijalta kerätylle datalle analyysia, joka pohjautuu kirjallisuuskatsauksessa tehtyihin löytöihin. Urheilijalle muodostetaan kuorma-nopeusprofiili ja tälle tarjotaan esimerkkikäyttökohteita. Viides luku käsittelee harjoitusohjelmien muodostamista ja data-analyysin tulosten mahdollisia käyttökohteita tuloksekkaassa harjoitusohjelmoinnissa. Johtopäätöksissä vedetään yhteen työn tärkeimmät löydökset ja käyttökohteet sekä pohditaan tulevaisuuden tutkimuskohteita.

2 Voimaharjoittelu ja sen mittaaminen

2.1 Voimaharjoittelun tavoitteet

Voimaharjoittelu on osana lähes jokaista urheilulajia. Voimalajeissa, kuten painonnostossa tai yleisurheilun heittolajeissa se on kriittinen osa harjoittelua lajien perustuessa mahdollisimman suuren kuorman nostamiseen määrättyllä tavalla, mutta jopa kestävyyslajeissa oikein tehdystä voimaharjoittelusta on havaittu olevan hyötyä. Beattie et al (2014) mukaan jopa kestävyysjuoksijat saivat voimaharjoittelujaksoista hyötyä juoksun nopeudessa, taloudellisuudessa sekä hapenottokyvyssä. Oikein toteutetulle voimaharjoittelulle on siis paikkansa urheilulajista riippumatta, vaikkakin toteutustavat poikkeavatkin keskenään eri lajien välillä.

Voimaharjoittelun tavoitteet voivat vaihdella merkittävästi riippuen urheilijan tai kuntoilijan lajista, tavoitteista tai jopa terveydentilasta. Esimerkiksi pikajuoksijan tavoitteena on kehittää nopeiden lihassolujen määrää kehossaan sekä räjähtävää voimantuottoa, jotta hän kykenisi juoksemaan lajinsa vaatiman matkan mahdollisimman nopeasti. Vastaavasti kehonrakentajien tavoitteena on saavuttaa voimaharjoittelulla mahdollisimman suurta lihashypertrofiaa eli lisätä kehon lihasmassaa. Toisaalta taas aivoinfarktin saaneelle potilaalle voimaharjoittelusta on reilusti hyötyä lihaskestävyyden kehittämiseksi, joka nopeuttaa paranemisprosessia ja paluuta takaisin normaaliin arkielämään (Ivey et al. 2017). Tässä tutkimuksessa voimaharjoittelun keskeisenä tavoitteena pidetään mahdollisimman suuren kuorman nostamista yhdellä toistolla. Toissijainen tavoite on räjähtävän suorituskyvyn kehittäminen – jos esimerkiksi kahdella keinolla tai suoritustavalla maksimaalisen voimantuoton lisäksi kehittyy joko räjähtävä suorituskyky tai lihasmassa, paremmaksi luetaan näistä räjähtävyyttä kehittävä.

Voimaharjoittelua on toteutettu eri menetelmillä vuosikymmenien ajan. Tutkimuksia systemaattisesta ja progressiivisesta voimaharjoittelusta löytyy 40-luvulta asti. Jo silloin havaittiin suurilla vastuksilla tehtyjen, lyhyiden sarjojen kehittävä tehontuottoa, sekä vastaavasti pitkien pienemmällä vastuksilla tehtyjen, mutta pidempien sarjojen parantavan lihaskestävyyttä (Delorme 1945).

2.2 Harjoittelussa käytettävän kuorman määrittäminen

Oleellinen osa voimaharjoittelua on harjoittelussa käytettävä kuorma. Voimaharjoittelu on lihastyötä, joka tapahtuu painoa tai voimaa vasten – eli vastuksena käytettävä kuorma on osana jokaista voimaharjoittelusuoritusta (Physiopedia 2023). Tästä syystä kuorman määrittäminen onkin ensiarvoisen tärkeä osa harjoittelun suunnittelua. Sarabia et al. (2017) toteavat, että valitsemalla optimaaliset kuormat tehontuottoa kehittävän harjoitteluun voidaan saavuttaa parempaa kehitystä pienemmällä rasituksella perinteisempiin harjoitusmetodeihin verrattuna.

Perinteisesti voimaharjoittelussa käytettävät kuormat määritellään prosentteina urheilijan yhden toiston maksimisuorituksesta (one-rep maximum, 1 RM). Tämä tyyli on kenties yleisimmin käytetty, mutta siinäkin on huonot puolensa: urheilijan yhden toiston maksimi voi vaihdella riippuen päivästä ja olosuhteesta sekä esimerkiksi harjoittelun spesifisyys vaikuttaa tietyllä prosenttiluvulla 1 RM:stä tehtyyn toistomäärään merkittävästi (Suchomel et al. 2021). Kestävyysurheilija kykenee todennäköisesti tekemään 60 % kuormalla useamman toiston kuin pikajuoksija tai korkeushyppääjä.

Modernimpi tapa ohjata harjoittelua on nopeusperusteinen harjoittelu (Velocity Based Training, VBT), jossa suorituksen – yleensä levytangon – liikenoikeus toimii perustana kuormien sekä toistojen määrittämiselle (Liao et al. 2021). Nopeusperusteista harjoittelua voi toteuttaa monella eri tavalla, mutta yhteistä näille kaikille on suoritusnopeuden toimiminen määrääväänä tekijänä. Esimerkiksi kuormaa voidaan lisätä tai vähentää sen mukaan, kuinka suurella toistonopeudella urheilija pystyy tekemään suoritteet.

Nopeusperusteisen harjoittelun eduksi voidaan lukea päivittäisen yhden toiston maksimin ennustaminen sekä nopeuden laskun hyödyntäminen toistojen määrän valinnassa (Suchomel et al. 2021). Lisäksi nopeusperusteisesti toteutettu voimaharjoittelu vaatii yleensä pienempää harjoitusmäärää kehityksen aikaansaamiseksi harjoittelutaustaltaan edistyneempien urheilijoiden keskuudessa (Zhang et al. 2022). Voidaan tulkita, että pienempi harjoitusvolyymi vähentää palautumiseen tarvittavaa aikaa, jolloin nopeusperusteisella harjoittelulla mahdollistetaan pidempään jatkuvaa tuloksekasta harjoittelua ilman kevennyksen tarvetta. Suuren rasitusvolyymien ja loukkaantumisriskin välillä on havaittu korrelaatiota, joten kehityksen kannalta mitätöntä, niin sanottua ”roskavolyymia” tulisi välttää (Ahlquist et al. 2020). Täten nopeusperusteinen harjoittelu voidaan todeta edukkaaksi vaihtoehdoksi.

Kiinnostus nopeusperusteiseen harjoitteluun on kasvanut merkittävästi viime aikoina erilaisien mittausvälineiden hintojen pienentyessä (Liao et al. 2021). Myös ihmisten lisääntynyt kiinnostus omaan hyvinvointiin ja sen mittaamiseen esimerkiksi älykellojen tai -sormusten avulla osoittaa kasvanutta kiinnostusta datalähtöiseen urheiluun (Camomilla et al. 2018). Lisäksi myös prosessointitehosta on tullut merkittävästi edullisempää, joten mittausvälineiden tuottamaa dataa on halvempaa analysoida ja monet sykemittarit tai älykellot kykenevät siihen ilman erillisiä älylaitteita.

2.3 Harjoittelusuoritusten mittaaminen

Suoritusten mittaaminen on tärkeä osa kilpaurheilua. Systemaattinen, objektiivinen ja ennen kaikkea luotettava suorituskyvyn mittaaminen voi toimia valmennustyön tukena, antaen rehellistä tietoa siitä, miten urheilija suoriutuu harjoittelustaan (Camomilla et al. 2018). Nopeusperusteinen harjoittelu perustuu nimensä mukaisesti suoritusten nopeuteen, jolloin mittaaminen on elinarvoisen tärkeää.

Nopeusperusteisessa harjoittelussa päämittareina toimivat keskimääräinen työntönopeus tai kansankielisemmin toistonopeus (Mean propulsive velocity, konsentrisen työvaiheen keskinopeus liikkeen alusta sen päättymiseen) sekä nopeushäviö (velocity loss, toistonopeuden muutos sarjan aikana). Keskimääräistä työntönopeutta voidaan käyttää määrittämään suorituksessa käytettävä paino, kun taas nopeushäviö soveltuu paremmin sarjan keston muokkamiseen (Zhang et al. 2022).

Nopeushäviön merkitystä on tutkittu kirjallisuudessa aiemmin. Verratessa 20 ja 40 prosentin nopeushäviöön asti harjoittelua (sarjat lopetettiin, kun nopeushäviö saavutti joko 20 tai 40 %) havaittiin pienemmällä häviöllä harjoitelleen ryhmän ponnistusvoiman kehittyneen 9,5 % kun taas suuremman häviön ryhmällä se pysyi samana. 40 % ryhmä taas saavutti suurempaa lihashypertrofiaa, mutta nopeiden lihassolujen määrä väheni. (Pareja-Blanco et al. 2017)

Kyseisessä tutkimuksessa havaittiin myös takakyykyn yhden toiston maksimipainon kasvanneen kummallakin ryhmällä – 18 prosenttia pienemmän ja 13,4 prosenttia suuremman häviön ryhmillä (Pareja-Blanco et al. 2017). Tästä voidaankin olettaa, että mikäli tavoitteena on voimantuoton, erityisesti räjähtävän sellaisen kehittäminen, kannattaa nopeushäviö pitää mieluummin pienempänä.

Naisten ja miesten välillä voi olla pieniä eroja siinä, onko suurten vai pienten nopeushäviöiden käyttöärkevintä harjoittelussa. Pienellä nopeushäviöllä harjoittelu – eli nopeiden toistojen tekeminen – kehittää miehissä erityisesti nopeiden toistojen suorituskykyä. Naisilla sen sijaan suuremmalla nopeushäviöllä harjoittelu on johtanut sekä nopeiden että hitaiden toistojen suorituskyvyn parantumiseen (Rissanen et al. 2022). Tämä voi johtua siitä, että naiset käyttävät tyypillisesti pienempiä kuormia suhteessa kehonpainoonsa, jolloin lihasten ja hermoston rasitus ei ole yksittäisillä toistoilla niin suurta.

2.4 Tehontuotto voimaharjoittelusuorituksissa

Maksimaalinen voima ei ole kuitenkaan jokaisessa urheilulajissa merkittävin voimaharjoittelun tavoite, vaan suurimmalla osalla urheilijoista tavoitteet ovat räjähtävän ja tehokkaan voimantuoton hyödyntämisessä lajisuorituksissa. Maksimivoimaa saadaan ulosmitattua vasta noin 300 millisekunnin työn jälkeen, joka on liian pitkä aika suurimpaan osaan eri lajien suorituksista (Andersen et al. 2010). Tästä syystä esimerkiksi koripalloilijalle yhden toiston kyykkymaksimilla ei ole läheskään niin paljon merkitystä kuin juoksunopeuden ja ponnistusvoiman kehittämisellä.

Tehontuoton kehittämiseksi huippu-urheilijoilla 15 prosentin nopeushäviötä voidaan pitää kynnysarvona, jota pidemmälle viedyt sarjat kuluttavat palautumiskapasiteettia enemmän kuin hyödyttävät tehontuottoa. Ylävartalon lihaksistolle jopa 10 % nopeushäviön ylittäviä toistoja sisältävien sarjojen välttäminen on hyödyksi tehokkaiden toistojen suorituskyvyn kehittämisessä. (Guerriero et al. 2018)

Nopeiden toistojen (MPV väh. 1 m/s) tekeminen yhdistettynä räjähtäviin harjoitteisiin, kuten hyppyihin tai juoksuspurteihin on myös tehokas keino siirtää voimaominaisuuksia räjähtäviin lajisuorituksiin. Ylipäänsä 1 m/s nopeudella tehtyjen toistojen suorittaminen on tehokas keino kehittää urheilijan kykyä tuottaa tehoa (Guerriero et al. 2018). Esimerkiksi pikajuoksijan ei kannata kilpailukauden aikana suorittaa juuri hitaampia toistoja, jotta tehontuotolliset ja nopeusvoimaominaisuudet säilyvät mahdollisimman hyvinä.

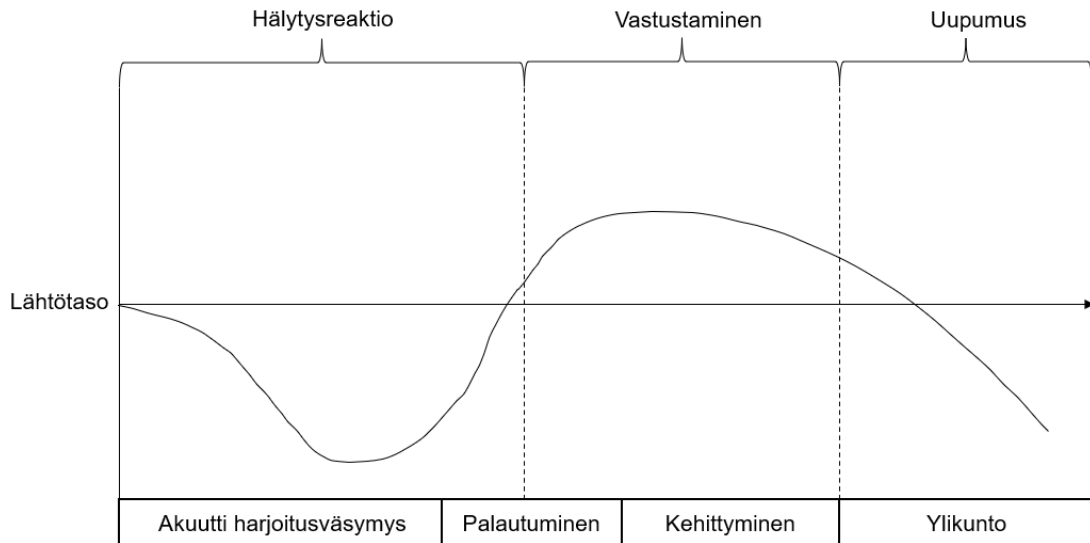
Pelkkä räjähtävä kevyiden painojen harjoittelu ei kuitenkaan yksinään riitä – myös maksimi- ja kestovoimaa on hankittava, jotta sen voi jalostaa tehoksi. Suurten painojen käyttö harjoittelussa on voimanhankinnan kannalta järkevää, mutta se aiheuttaa myös merkittävää

rasitusta. Takarada et al. (2000) mukaan optimaalisinta olisi pitää kuormat keskiraskaina (50–80 % yhden toiston maksimista), jotta sekä voiman- että tehontuotto kehittyisi samanaikaisesti. On kuitenkin punnittava, onko järkevämpää jaksottaa harjoittelu keskittyen kehittämään vain yhtä ominaisuutta kerrallaan – tässä tapauksessa joko maksimivoimaa tai tehontuottoa.

2.5 Harjoitusohjelmien muodostaminen

Urheilullinen menestys pohjautuu järkevään suunnitteluun, ja erityisesti vuosittaisen suunnitelman muodostaminen on äärimmäisen tärkeää. Vuosi ei tässä tilanteessa tarkoita kalenterivuotta, vaan urheilijan harjoitusvuotta – ensimmäisestä harjoituskauden harjoituksesta viimeiseen kilpailukauden kilpailuun. Vuosisuunnitelma kattaa kaikki harjoitukset, kilpailut sekä testaamisen mitä harjoitusvuoden sisällä tehdään (Suchomel et al. 2018). Tämän suunnitelman pohjalta on merkittävästi helpompaa jaotella harjoitukset sopiviin jaksoihin, kuten kesto-, maksimi- ja nopeusvoimajaksoihin.

Harjoitusohjelmia muodostaessa on otettava huomioon esimerkiksi urheilijan laji, tämän vaatimat ominaisuudet, kilpailukauden vaihe ja urheilijan vahvuudet sekä heikkoudet. Eri vaiheissa vuotta pyritään kehittämään eri ominaisuuksia, jolloin luontaista ja syklistä vastetta rasitukseen voidaan hyödyntää: pienen notkahduksen jälkeen suorituskyky kasvaa, kunnes taas liiallisen yhtäjaksoisen ärsyksen jälkeen laskee (Kuva 1, Cunanan et al. 2018). Tämä näkyy harjoittelussa siten, että perusvoima- tai peruskuntojaksolla saatetaan tehdä pidempiä sarjoja, kun taas räjähtävään voimantuottoon tähtäävällä jaksolla sarjat ovat verrattain lyhyitä ja toistot nopeampia.



Kuva 1: Vaste harjoitteluärsykkeeseen (mukaillen Cunanan et al. 2018)

Jaksotus kauden aikana

Palloilulajeissa pelikausi on usein pitkä, jolloin fyysisiä ominaisuuksia on tarpeen kehittää koko kauden ajan sen sijaan, että keskityttäisiin vain yhteen ominaisuuteen kerrallaan. Eräs tapa kehittää useampaa ominaisuutta samanaikaisesti on harjoittaa niin sanottua blokkijaksotusta, jossa harjoittelu jaetaan erilaisia ominaisuuksia painottaviin jaksoihin, ns. blokkeihin. Perinteisessä harjoittelumallissa urheilija yrittää samanaikaisesti kehittää esimerkiksi nopeutta, räjähtävyyttä, voimaa sekä kestävyyttä. Blokkijaksotetussa harjoittelussa taas urheilija keskittyy tiettyihin ominaisuuksiin aina yhden jakson ajan, pyrkien vain ylläpitämään muita. (Rønnestad et al. 2019)

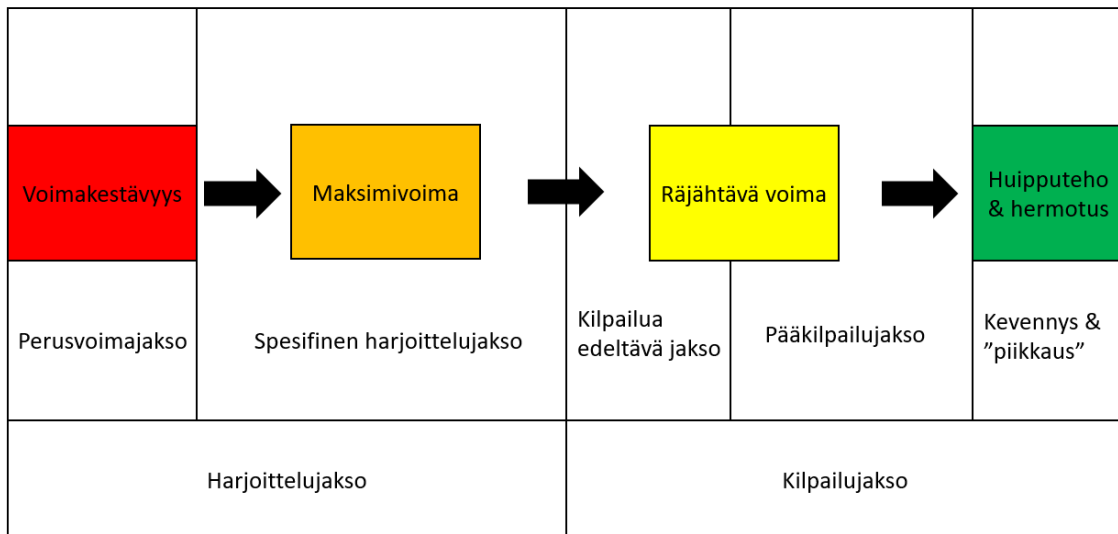
Jaksotetulla harjoittelulla on mahdollista keskittyä tiettyihin ominaisuuksiin aina viikkotasolla tarkemmin kuin tasaisesti kaikkea sisältävällä harjoitusohjelmalla. Rønnestad et al. (2019) huomasivat jaksotetun harjoittelun tuottavan jääkiekkoilijoissa huomattavasti enemmän kehitystä tehontuotossa ja hapenottokyvyssä kuin perinteisen, tasaisen harjoitusohjelman noudattaminen.

Urheilijalle, jolla on selkeät harjoittelu- ja kilpailukaudet, voidaan harjoittelu jaksottaa helpommin. Harjoitusjaksolla pyritään kehittämään voimaominaisuuksia, joita sitten kilpailujaksolla jalostetaan tehontuottoa kohti (Suchomel et al. 2018). Hyvä esimerkki tällaisesta lajista on yleisurheilu: tyypillisesti talvikausi on harjoittelujaksoa ja kesä kilpailujaksoa,

jossa on yksi tai kaksi pääkilpailua. Tyypillisesti nämä pääkilpailut ovat joko kansallisia tai kansainvälisiä arvokilpailuja, joihin pyritään ajoittamaan harjoitusvuoden paras suorituskyky.

Suchomel et al. (2018) esittämässä mallissa vuosi on jaettu lopulta viiteen eri jaksoon, joissa jokaisessa painotetaan eri asioita (kuva 2). Harjoitusvuoden alussa on perusvoimajakso tai perusharjoittelujakso (general preparation phase), jolloin harjoittelu on pitkälti voimakestävyuden harjoittamista. Tavoitteena on kehittää urheilijan harjoituskykyä ja luoda pohjaa maksimaalisen voiman- ja tehontuoton harjoittamiseen pidempien sarjojen ja keskikovien kuormien avulla. Harjoittelujakson toinen osa on spesifisempää harjoittelua, jossa painopisteenä on maksimaalisen voiman kehittäminen. Tällöin sarjapituudet ovat lyhyempiä ja kuormat korkeimpia mahdollisia toistonopeuden ollessa tyypillisesti matala. Kilpailukaudelle siirtyessä kilpailuja edeltävällä jaksolla voimaharjoittelu painottuu räjähtäviin suorituksiin, joissa toistonopeus kasvaa tehontuoton kehittämiseksi (Guerriero et al. 2018).

Mitä pidemmälle harjoitusvuotta edetään, sitä enemmän harjoittelu kevenee. Kilpailukauden aikana harjoittelu on jo jonkin verran kevyempää, kunnes kauden pääkilpailuihin kevennetään reilusti (Suchomel et al. 2018). Tällä pyritään maksimoimaan hermostollinen suorituskyky ja maksimaalisen tehontuoton ulosmittaaminen parhaan kilpailusuorituksen takaamiseksi. Tällaista suorituskyvyn optimointia tiettyyn hetkeen kutsutaan yleisesti piikkaamiseksi (eng. Tapering). Kilpailuun keventäminen tuo keskimäärin kolmen prosentin hyödyn, joka on huippu-urheilun pienissä marginaaleissa merkittävä etu. (Le Meur et al. 2012)



Kuva 2: Jaksotussuunnitelma voiman- ja tehontuoton maksimointia tavoittelevalle urheilijalle (muokailen Suchomel et al. (2018))

Nopeusperusteisen harjoittelun hyödyntäminen harjoitusohjelmien muodostamisessa

Nopeusperusteista harjoittelua (velocity based training, VBT) voidaan hyödyntää harjoitusohjelmien muodostamisessa. Kolme pääkäyttökohdetta VBT:lle ovat kuorman määrittäminen, volyymin eli nostomäärän määrittäminen sekä harjoittelun autoregulointi. Nostokuorman määrittämisessä valitaan tietty toistonopeus, johon suoritteissa pyritään. Paino valitaan sen mukaan, että toistonopeus osuu valittuun haarukkaan (Thompson et al. 2022). Täten esimerkiksi kilpailujen lähestyessä voidaan pitää huoli siitä, että toistot ovat teräviä ja nopeita, jotta tehontuottoa voidaan kehittää.

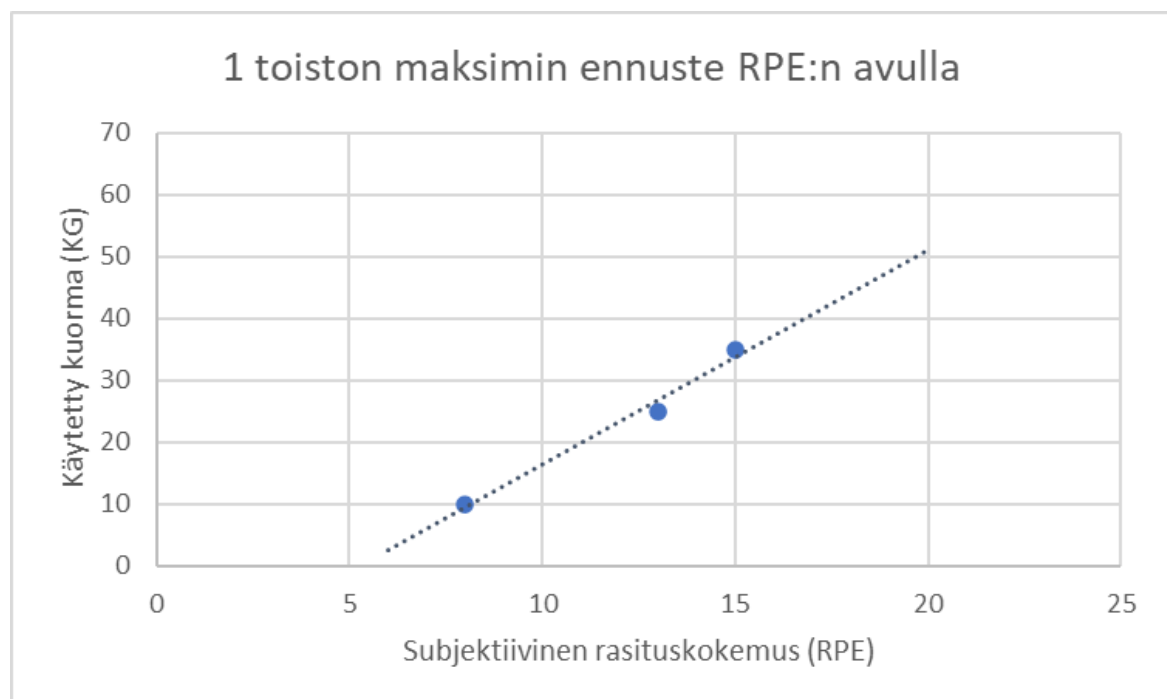
Volyymin määrittämisessä taas sarjan pituus määräytyy nopeushäviön perusteella. Halutun nopeushäviön täytyessä suoritus keskeytetään, riippumatta siitä, kuinka monta toistoa sarjassa on suoritettu. Keskeyttämällä sarja ajoissa voidaan pitää rasiustaso riittävän matalalla, jotta urheilija palautuu paremmin. (Thompson et al. 2022)

Autoregulointi on työlain tapa hyödyntää VBT:tä harjoittelussa. Kuormaa ja volyyymia määritetään harjoituksesta toiseen toistonopeuden perusteella, hyödyntäen tehokkaat päivät ja huonompina suorituspäivinä keventämällä suorituksia (Thompson et al. 2022). Autoregulointia tehdään paljon myös perinteisessä harjoittelussa urheilijoiden omien tuntemusten mukaan, mutta toistonopeuden seuraaminen on parempi tapa seurata toistotehoa sen objektiivisuuden takia.

3 Data-analytiikan menetelmät voimaharjoittelussa

3.1 Ennustemallien käyttö voimaharjoittelussa

Koska yhden toiston maksimipainon selvittäminen voi olla harjoittelijalle kuluttavaa sekä kokemattomalle jopa vaarallista, on sen selvittämiseen pyritty luomaan ennustemalleja. Kyseisen kaltaiset ennustemallit mahdollistavat myös päiväkohtaisen yhden toiston maksimin arvioinnin, ja näin ollen harjoittelussa käytetyn kuorman optimoimisen urheilijan sen hetki-akuutin suorituskyvyn mukaan. Eston ja Evans (2009) totesivat tutkimuksessaan, että urheilijan kokeman rasituksen (RPE, rating of perceived exertion) ja käytetyn painon avulla luotua lineaariregressiota käyttämällä voidaan arvioida suhteellisen tarkasti yhden toiston maksimipaino alla olevan kuvan mukaisesti (kuva 3).



Kuva 3: lineaariregressio reisiuojennuksessa yhden toiston maksimisuorituksen selvittämiseksi (mukaanlaiden Eston & Evans, 2009)

Täytyy huomata, että tutkimuksessa käytettiin mitattuina liikkeinä hauiskääntöä sekä koneessa tehtyä reisiuojennusta, jotka ovat yksinkertaisia ja vain yhtä niveltä liikuttavia harjoitteita. Verratessa esimerkiksi painon- tai voimanostoliikkeisiin, kuten esimerkiksi takakykykyyn ja tempaukseen, ovat ne huomattavasti vähemmän alttiita teknisille muutoksille.

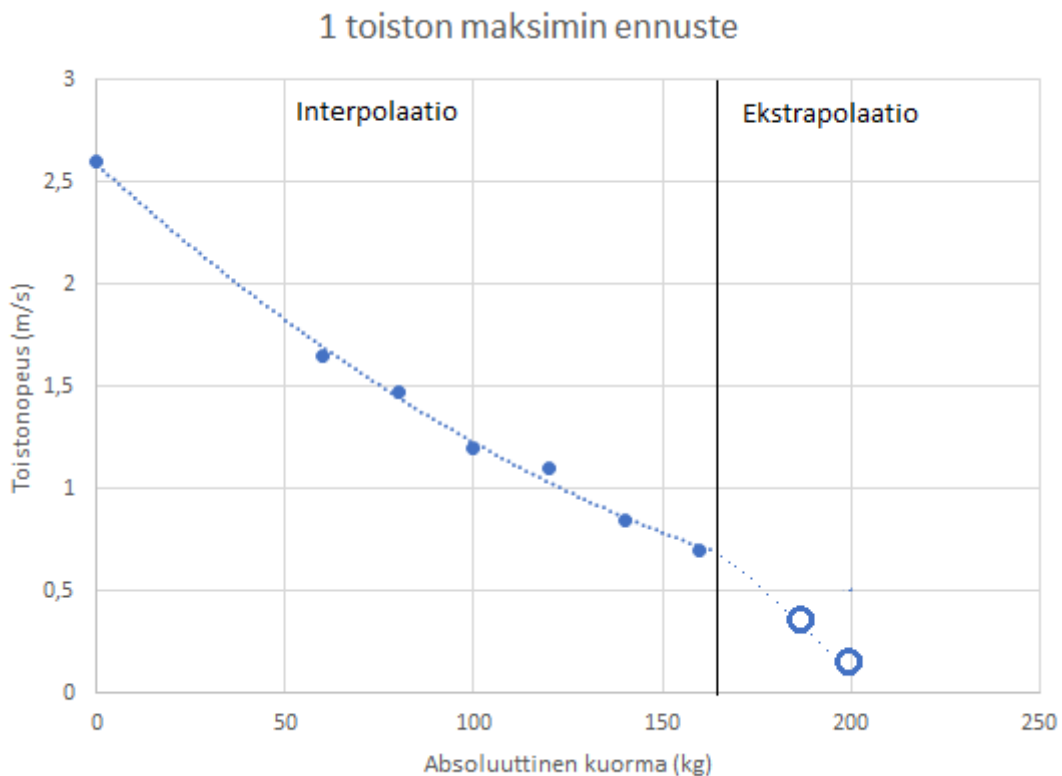
Voidaan toisaalta olettaa, että huippu-urheilijoiden suoritustekniikat ovat sillä tasolla, ettei merkittäviä teknisiä virheitä tapahdu, vaikka käytetty kuorma nostoissa kasvaisikin.

Urheilijan subjektiivista kokemusta mittaava RPE on myös ongelmallinen, sillä sen soveltaminen vaatii merkittävää itsetuntemusta urheilijalta. Subjektiiviseen rasituskokemukseen voivat vaikuttaa myös harjoituksen ulkopuoliset tekijät, ja urheilija voi kokea rasituksen huomattavasti korkeammaksi kuin se todellisuudessa on, jos hän on esimerkiksi nukkunut tai ravinnut itseään huonosti. Crawford et al. (2018) havaitsivat RPE:n käytön tarjoavan vain heikosta keskivertoon luotettavuutta todellisen harjoituksen rasitukseen verrattuna. Parempi tapa olisikin käyttää objektiivisia mittareita rasitustason tutkimiseen.

3.2 Nopeusperusteinen ennustaminen

Toistonopeutta voidaan myös käyttää perustana urheilijan päivittäisen yhden toiston maksimipainon ennustamiseen takakykyssä. Mikäli urheilijan aiempi yhden toiston maksimipaino takakykyssä sekä 80 % tästä kuormasta tehdyn toiston keskinopeus on tiedossa, käytetään näitä ns. ”kontrolliarvoina” joihin päivittäisiä tuloksia verrataan. (Thompson et al. 2021)

Thompson et al. (2021) tekemässä tutkimuksessa urheilijat tekivät hyppykykyssä ensin ilman painoa 5 toistoa, 30 & 40 % kuormilla takakykykymaksimista kolme ja 50 sekä 60 % kuormilla kaksi, jonka jälkeen takakykyssä jatkettiin toistojen tekemistä 70, 80, 90 ja 100 % kuormilla. Jokaisesta toistosta tallennettiin keskinopeus. 80 % kuormaa päädyttiin käyttämään ennustemallin pohjana, sillä se on kirjallisuuden mukaan korkein kuorma, jossa keskinopeus on vielä tilastollisesti luotettavalla tasolla (Thompson et al. 2021). Toisen asteen yhtälön avulla tehdyn ennusteen perusteella saatiin parhaat arviot yhden toiston maksimipainosta, ja kuvaaja esitetään kuvassa 4.



Kuva 4: Toisen asteen yhtälön perusteella tehty arvio 1 toiston maksimipainosta takakykyssä (mukaan Thompson et al, 2021)

Vaikka yhden toiston maksimisuoritusta ei harjoittelussa tehtäisikään, antavat nämä ennustemallit hyvää kuvaa esimerkiksi urheilijan palautumisesta, kehityksestä sekä harjoitteluratsituksen tasosta. Mikäli ennustettu 1 RM-paino on merkittävästi matalampi kuin aiemmin, on todennäköisesti palautumisessa puutteita. Vastaavasti, jos ennuste antaa huomattavasti suuremman 1 RM-painon, on urheilija valmis suorittamaan harjoittelua jopa kovemmallalla tasolla kuin aiemmin suunniteltu.

Toistonopeuden ja sen avulla muodostettujen ennustemallien käyttö onkin hyvä tapa kontrolloida rasiitusta päivittäisen suorituskyyvyn perusteella. Tätä voidaan hyödyntää esimerkiksi kilpailukaudella tehontuoton ylläpitämiseen, jotta itse kilpailusuoritukset olisivat mahdollisimman hyviä.

3.3 Nopeusperusteinen kuorman määrittäminen

Kuten aiemmin on jo mainittu, autoregulointi on merkittävässä osassa nopeusperusteisessa harjoittelussa. Vaikkakaan voimatasojen kehityksen kannalta nopeusperusteisesti

toteutetulla harjoittelulla ei ole saavutettu maailmaa mullistavia etuja perinteisempään ohjelmointiin nähden, vähensi se huomattavasti harjoittelun kokonaisvolyymia (Orange et al. 2022). Tämä on positiivinen asia harjoitusohjelmia muodostaessa, sillä pienempi volyyymi vähentää räsitystä. Kyseisessä tutkimuksessa käytetty kuorma-nopeusprofiili (load-velocity profile, LVP) oli muodostettu koko ryhmän keskiarvosta, joten yksilölliset erot saattoivat vaikuttaa siihen, miksi voimantuoton kehittyminen ei ollut merkittävää.

Dorrell et al (2020) esittävät nopeusperusteiseen kuorman määrittämiseen seuraavanlaista tapaa:

Dataa kerätään urheilijan kyykkyjen kuormasta sekä toistonopeudesta aloittaen noin 30 prosentista arvioidusta yhden toiston maksimista, suorittaen kolme toistoa. Tästä jatketaan noin 5 % korotuksilla (1 RM -painosta) 50 % asti, jota suuremmilla kuormilla toistot vaihdetaan kahteen, ja 75 % jälkeen yhteen. Tätä jatketaan, kunnes todellinen yhden toiston maksimi-kuorma on selvitetty – käytännössä siis samalla tavalla kuin Thompson et al. (2021). Kerätystä datasta muodostetaan toisen asteen yhtälö, käyttäen pidemmistä kuin yhden toiston sarjoista nopeuden keskiarvoa. Tämä toisen asteen yhtälö muodostaa urheilijan kuorma-nopeusprofiilin kaavan 1 esimerkin mukaisesti.

$$y = -0,0001x^2 - 0,0035x + 1,2656 \quad (1)$$

Lisäksi kerätystä datasetistä tulee selvittää keskivirhe (v). Kuormaa määrittäessä vähennetään keskivirhe urheilijan keskimääräisestä toistonopeudesta, jolloin saadun arvon avulla voidaan laskea arvio käytetyn kuorman prosentuaalisesta osuudesta 1 toiston maksimiin verrattuna. Myös nopeimman toiston arvoa voidaan käyttää, kuten Vernon et al. (2020) tapauksessa. Tutkimuksen antamassa esimerkissä keskivirhe oli 0,031 m/s ja suoritettujen sarjan keskinopeus 0,870 m/s, jolloin y :n arvoksi saadaan $0,870 - 0,031 = 0,839$. Käytetty kuorma oli 84 kg. Kyseisiä arvoja käyttäen voidaan ratkaista yhtälöstä x , jolloin saadaan arvioitu prosentuaalinen kuorma (kaavat 2 ja 3).

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4a(c - v)}}{2a} \quad (2)$$

$$x = \frac{-0,0035 \pm \sqrt{0,0035^2 - 4 \times -0,0001 \times (1,2656 - 0,839)}}{2 \times -0,0001} \quad (3)$$

Ratkaisemalla saadaan käytetyn kuorman osuudesta 1 toiston maksimista noin 58,1 %. Tästä voidaan laskea tavoiteltu kuorma kaavan 4 avulla – esimerkkitapauksessa 70 % 1 toiston maksimista kaavan 5 mukaisesti.

$$\frac{\text{Käytetty kuorma (kg)}}{\text{Prosenttiosuus 1 RM:stä (\%)}} \times 70 \% \quad (4)$$

$$\frac{84 \text{ kg}}{58.1 \%} \times 70 \% = 101,4 \text{ kg} \quad (5)$$

Näin urheilijan tulisi suorittaa halutun mittainen sarja 101,4 kilon painolla. Alkuperäinen arvio 70 % kuormasta oli esimerkkitapauksessa 98 kg, joten nopeusperusteisella määritellyllä urheilija pystyi käyttämään hieman suurempaa painoa harjoittelussa.

Tutkimuksessa esitellyssä kaavassa on kyseenalaista se, että keskivirhe vähennetään joka kerta nopeusarvosta. Tällöin nopeusarvo jää pienemmäksi kuin se todellisuudessa on – pahimmillaan jopa merkittävästi matalammaksi.

Kuorma-nopeusprofiilin muodostamisen voidaan ajatella olevan merkittävimpiä data-analytiikan sovelluskohteita voimaharjoittelussa, sillä tällä tavoin on mahdollista määrittää urheilijalle sopiva kuorma joko proaktiivisesti halutun nopeuden perusteella, tai reaktiivisesti harjoituksen aikana. Sen avulla on myös mahdollista selvittää, kehittyvätkö urheilijan nopeus- ja voimaominaisuudet missä suhteessa esimerkiksi seuraamalla tietyillä painoilla tapahtuvan suoritusnopeuden kehitystä.

Kuorma-nopeusprofiilille on myös tärkeä käyttökohte palautumisen tutkimisessa. Laskeamalla arvioitua yhden toiston maksimia voidaan havaita, onko urheilija palautunut riittävästi ja valmis suorittamaan raskasta vastusharjoittelua. Vernon et al. (2020) havaitsivat, että 24 tuntia raskaan voimaharjoituksen jälkeen kuorma-nopeusprofiililla ennustettu yhden toiston maksimi sekä ylipäänsä toistonopeudet yli 60 % kuormalla yhden toiston maksimista olivat matalammat kuin palautuneena. 48 tunnin jälkeenkin samanlaisia havaintoja kyettiin tekemään, mutta nopeushäviöt eivät enää olleet merkittäviä. Aiemmissä tutkimuksissa on todettu neuromuskulaarisen väsymyksen – eli hermoston sekä lihaksiston uupumisen esimerkiksi

rasituksen takia – näyttäytyvän toistonopeuden pienenemisenä, joten suoritusnopeuden vertaamista urheilijan kuorma-nopeusprofiiliin voidaan käyttää työkaluna palautumisen tarkastelussa.

3.4 Regressioanalyysi

Koska Dorrell et al. (2020) kuvaama kuorma-nopeusprofiili perustuu polynomiseen regressioanalyysiin, on syytä tarkastella sitä lähemmin. Regressioanalyysi on yksinkertainen metodi muuttujien välisen funktionaalisten suhteiden tarkasteluun. Tämä suhde voidaan esittää funktiona, joka yhdistää vastemuuttujan (response variable) selittäjämuuttujaan (explanatory variable) (Chatterjee ja Hadi 2012). Funktio voidaan esittää muodossa $y = f(x) + \epsilon$, jossa y on vastemuuttuja, $f(x)$ on regressiofunktion kaava, jossa x selittäjämuuttuja ja ϵ keskivirhe (James et al. 2021). Regressiofunktion kuvaaja voi olla esimerkiksi lineaarinen, polynominen tai eksponentiaalinen, riippuen siitä, millaista riippuvuussuhdetta tutkitaan.

Regressioanalyysin luotettavuutta voidaan tutkia tiettyjen tunnuslukujen kautta. Ensimmäinen on keskihajonta (Residual standard error, RSE), joka kertoo, miten paljon keskimääräinen vaste poikkeaa regressioviivasta. Mitä suurempi keskihajonta on suhteessa kuvaajaan, sitä epäluotettavampi kuvaaja on kyseessä. Toinen tärkeä tunnusluku on selityskerroin eli R^2 , joka on regressiokerroin R korotettuna toiseen potenssiin. Selityskerroin kuvaa sitä, miten suuri osa muuttujien välisestä vaihtelusta on selitettävissä mallin avulla. Karkeasti, jos selityskerroin on 0,85, on 85 % suhteesta selitettävissä mallin – tässä tapauksessa regressioanalyysin – avulla. (James et al. 2021)

Regressioanalyysiä voidaan hyödyntää monessa eri käyttökohteessa. Useasti tilanne on sellainen, ettei vain yksi selittäjämuuttuja riitä tutkimuksessa. Esimerkiksi biologiassa voidaan törmätä tilanteisiin, jossa johtuen suuresta määrästä selittäjämuuttujia (ja selittäjiä, joita ei huomioida) R^2 -arvot jäävät hyvin mataliksi, joten absoluuttista rajaa hyvälle selityskertoimen arvolle on vaikeaa antaa (James et al. 2021). Voidaan kuitenkin olettaa, että yli 75 % arvot osoittavat merkittävää korrelaatiota.

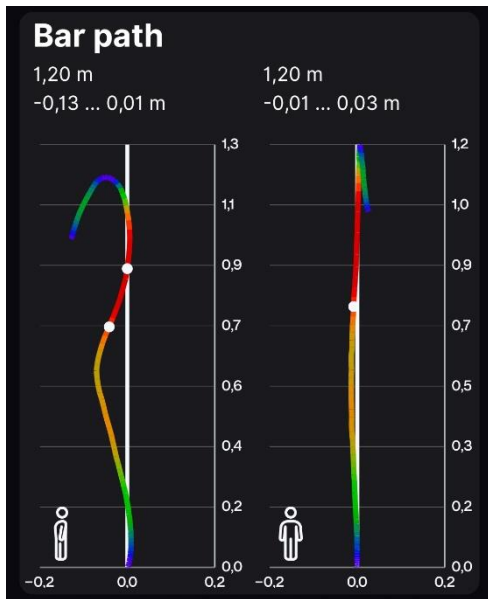
4 Kuorma-nopeusprofiilin muodostaminen data-analyysin avulla esimerkkiurheilijalle

Data-analyysi tehtiin case-esimerkin omaisesti yhdellä painonnostajalla. Urheilija A on 23-vuotias, harrastanut painonnostoa viiden vuoden ajan ja hänen yhden toiston maksiminsa takakykyssä on 200 kg.

Kerätty data rajattiin vain yhteen mitattavaan liikkeeseen, levytankokuormitteiseen takakykyyn. Liike valittiin sen perusteella, että takakyky on ehkä yleisesti käytetyin voimaharjoitteluliike riippumatta lajista, ja suoritus itsessään on todennäköisesti vakioidumpi kuin esimerkiksi painonnostoliikkeet sen yksinkertaisuuden takia. Tästä johtuen esimerkiksi kuorma-nopeusprofiilien muodostaminen on helpompaa ja luotettavampaa.

4.1 VmaxPro-anturi

Datan keräämisessä on käytetty mittarina levytankoon kiinnitettävää inertiamittaustekniikkaa käyttävää VmaxPro -kiihtyvyyssanturia, joka on hiljattain uudelleenbrändätty enodePro – tuotemerkin alle. Anturi yhdistetään Bluetoothin avulla puhelimeen tai tablettitietokoneeseen, jolloin se lähettää datansa liitettyssä laitteessa olevaan sovellukseen. Nopeuden sekä kiihtyvyyden mittaamisen lisäksi anturi mittaa myös sijaintiaan ja piirtää tangon liikkeestä kuvaajan (kuva 5). Dataa kerätessä on käytetty VmaxPro -sovellusta, mutta datan noutamista varten sovellus päivitettiin enode-sovellukseen, jotta tiedosto saataisiin paremmin ulos.



Kuva 5: Tangon liikerata tempausnostossa kuvattuna sivulta & edestä VmaxPro-sovelluksessa

Kyseisen anturin luotettavuutta vapaan painon takakyykkyliikkeessä on myös tutkittu viime aikoina. Verratessa merkittävästi arvokkaampiin mittausvälineisiin kuten suurnopeuskameroihin tai optiseen liiketallennusjärjestelmään (optical motion capture system) VmaxPro havaittiin luotettavaksi ja hyväksi mittausvälineeksi niin nopeuden kuin tangon sijainninkin osalta. Virhemarginaali oli noin kaksi senttimetriä, minkä johdosta valmentajat sekä urheilijat voivat luottavaisesti käyttää VmaxPro:ta harjoittelun kontrollointiin, monitorointiin sekä arviointiin. (Olaya-Cuartero et al. 2022)

Dataa tutkiessa on huomioitavaa, että painonnostoharjoittelusta vain osa keskittyy takakyykyn tekemiseen, ja suuri osa liikkeistä (tempaus, rinnalleveto, etukyykyt ja niin edelleen) kuormittavat jalkojen lihaksistoa. Nämä liikkeet voivat kehittää takakyykyn suorittamista, vaikka itse liikettä ei tehtäisikään. Lisäksi kilpapistonnoston tavoitteena on nostaa mahdollisimman suuri kuorma tempauksessa sekä työnnössä, eli takakyykyn yhden toiston maksimisuorituksella ei suoraa merkitystä ole, vaikkakin lisääntynyt jalkojen voimantuotto korreloi painonnostoliikkeiden kanssa.

Painonnostoharjoittelussa suuri osa toistoista tehdään maltillisilla painoilla, sillä lähellä maksimipainoja harjoittelu voi heikentää lajinnostojen teknistä suorittamista ja aiheuttaa merkittävää raskautta. Storey ja Smith (2012) tutkivat neuvostoliittolaista painonnosto-ohjelmointia, joka on yleisimpiä malleja painonnostoharjoitusohjelmien muodostamiseen.

Vuoden aikana suoritetuista yli 20 000 nostosta korkeintaan 7 % oli tehty 90 % kuormalla yhden toiston maksimista, ja 80–90 % väliinkin osui vain 15–35 prosenttia suorituksista.

4.2 Kerätty data

Enode -sovelluksesta viedessä dataa on mahdollista valita haluamansa urheilijan, harjoitteet sekä 1–39 eri mittaria kuten esimerkiksi arvioidun yhden toiston maksimipainon, maksimi-toistonopeuden sekä käytetyn kuorman. Lisäksi sovelluksesta voi valita halutun ajanjakson, jolta vietävä data kerätään. Vietävä data on .csv -tekstimuodossa, joten se on helppo liittää Excel-sovellukseen.

Urheilijan A sovelluksesta vietiin ulos takakyykkyliikkeen kaikkien mittarien data väliltä 9.11.2021 – 6.3.2023. Jokaista harjoitusta kyseiseltä ajalta ei ole, mutta suorituksia (rivejä) on tallennettu yhteensä 482 kappaletta ja sarakkeita yhteensä 42. Raakadatassa käytetyt kuormat olivat välillä 60–200 kg ja toistojen liikenopeudet välillä 0,34 m/s. Jokainen yksittäinen toisto oli omana rivinään, ja sarjapituudet vaihtelivat yhden ja kuuden toiston välillä. Alla olevassa kuvassa on ensimmäisiä rivejä ja sarakkeita raakadatasta (kuva 6).

Taulukko 1: Ensimmäisiä rivejä ja sarakkeita raakadatasta

Date	Exercise	Estimated 1RM[kg]	Maximum load[kg]	Total volume[kg]	Load[kg]
2021.11.09 16.54.27	Back squat Barbell, Takakyykky	204,81	200	540	160
2021.11.09 16.54.27	Back squat Barbell, Takakyykky	204,81	200	540	180
2021.11.09 16.54.27	Back squat Barbell, Takakyykky	204,81	200	540	200
2021.11.16 16.11.05	Back squat Barbell, Takakyykky	175,53	140	3755	60
2021.11.16 16.11.05	Back squat Barbell, Takakyykky	175,53	140	3755	60
2021.11.16 16.11.05	Back squat Barbell, Takakyykky	175,53	140	3755	60
2021.11.16 16.11.05	Back squat Barbell, Takakyykky	175,53	140	3755	100
2021.11.16 16.11.05	Back squat Barbell, Takakyykky	175,53	140	3755	135
2021.11.16 16.11.05	Back squat Barbell, Takakyykky	175,53	140	3755	135
2021.11.16 16.11.05	Back squat Barbell, Takakyykky	175,53	140	3755	135
2021.11.16 16.11.05	Back squat Barbell, Takakyykky	175,53	140	3755	135

Datan siivous

Datan siivoaminen aloitettiin poistamalla sarakkeet, joissa dataa ei ollut – rivien arvot olivat pelkkää nollaa tai n/a -merkittyjä. Näitä oli yhteensä 19 kappaletta, ja ne poistettiin Excelin ”poista sarake” -toimintoa käyttäen. Poistettujen sarakkeiden joukossa olivat esimerkiksi maksimaalinen inertia sekä kilojouleina mitattu volyymikuorma, jotka eivät onneksi olleet tutkimuksen kannalta oleellisia tietoja. Seuraavaksi datasta etsittiin epäkuranteilta vaikuttavia nopeusarvoja käyttämällä suodatintoimintoa toistonopeuden arvolle (Mov. velocity [m/s]) ja tarkastelemalla suurimpia sekä pienimpiä nopeusarvoja. Selvästi virheellisiä

mittaustuloksia oli kolme, ensimmäinen 2,04 m/s nopeudella suoritettu nosto – seuraavaksi suurin oli 1,38 m/s joten voidaan olettaa yli kahden metrin sekuntinopeudella tapahtuvan noston olevan virheellinen mittaustulos. Toinen virheellinen tulos oli 120 kg:n lastauksella suoritettu toisto, jonka nopeus oli 0,34 m/s. 200 kg:n maksimisuorituksen nopeus oli 0,35 m/s, joten voidaan olettaa myös 120 kg:n toiston olevan virheellisesti mitattu. Kolmannessa virheellisessä luvussa 160 kg:n toiston nopeus oli 1,41 m/s, joka oli myös selkeä poikkeama. Nämä virheelliset merkinnät poistettiin datasta poistamalla kokonaisuudessaan ne rivit, joissa virheelliset tulokset esiintyivät. Tarkkoja kynnyksarvoja epäkuranttiudelle ei erikseen asetettu, vaan poikkeuksellisilta vaikuttaneita arvoja verrattiin muuhun arvojoukkoon.

Kuorma-nopeusprofiilin muodostavaa analyysia varten raakadatasta valittiin tutkittaviksi sarakkeiksi kuorma (Load [kg]), sarjan järjestysnumero harjoituksessa (Set order), toistonopeus (Mov. velocity [m/s]), nopeushäviö (Mov. velocity drop [%]) sekä sarjan pituutta indikoiva toistojen järjestysnumero (Rep order). Kuvassa 7 esitetään siivotun datan ensimmäisiä rivejä.

Taulukko 2: Ensimmäisiä rivejä siivotusta datasta.

Date	Load[kg]	Set order	Mov. velocity[m/s]	Mov. velocity drop[%]	Rep order
2021.11.09 16.54.27	160	1	0,53	0	1
2021.11.09 16.54.27	180	2	0,53	0	1
2021.11.09 16.54.27	200	3	0,35	0	1
2021.11.16 16.11.05	60	1	1,26	0	1
2021.11.16 16.11.05	60	1	1,28	0	2
2021.11.16 16.11.05	60	1	1,38	0	3
2021.11.16 16.11.05	100	2	0,98	0	1
2021.11.16 16.11.05	135	3	0,78	0	1
2021.11.16 16.11.05	135	3	0,76	2	2
2021.11.16 16.11.05	135	3	0,68	12	3
2021.11.16 16.11.05	135	3	0,65	16	4
2021.11.16 16.11.05	135	3	0,62	20	5
2021.11.16 16.11.05	140	4	0,74	0	1
2021.11.16 16.11.05	140	4	0,75	0	2
2021.11.16 16.11.05	140	4	0,71	5	3
2021.11.16 16.11.05	140	4	0,67	11	4

Yksittäisiä sarjoja on suoritettu 133 kappaletta. Tämä selvitettiin laskemalla ne rivit, joissa toistojen järjestysnumero oli 1. Eniten suoritteita oli tehty 140 kilon painolla: 29 sarjaa ja 127 toistoa.

4.3 Regressioanalyysi ja kuorma-nopeusprofiilien muodostaminen

Urheilijalle muodostettiin kuorma-nopeusprofiili mukaillen Dorrell et al. (2020) Profiilin muodostaminen tehtiin toisen asteen polynomisen regression avulla, käyttäen jokaista suoritettua sarjaa datasetistä. Keskiarvonopeuksien sijaan tutkittiin ainoastaan jokaisen sarjan ensimmäistä toistoa, jotta raskailla painoilla tai pitkissä sarjoissa mahdollisesti tapahtuva merkittävä toistonopeuden hidastuminen ei vaikuttaisi lopputulokseen.

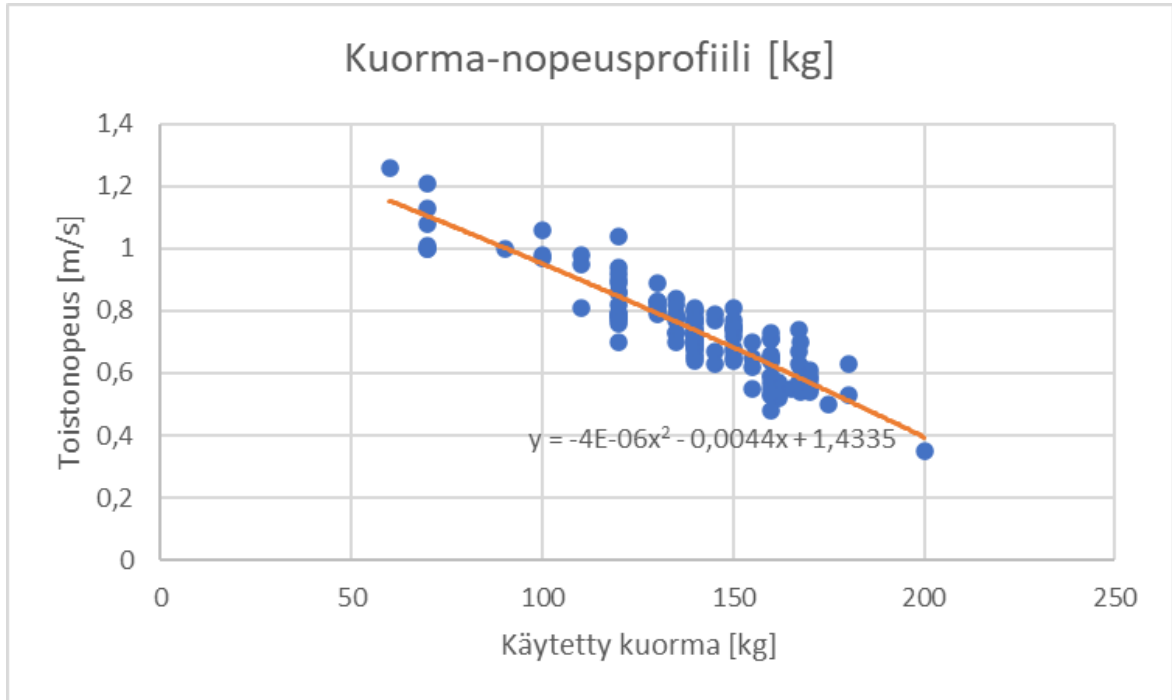
Regressioanalyysi tehtiin Microsoft Excel -sovelluksessa käyttäen sen tietojen analysointi -lisäosaa. Y-akselille asetettiin toistonopeuden arvot (m/s) ja X-akselille käytetty kuorma (kg). Tutkittuja havaintoja oli 133 kappaletta, alkaen 60 kg:sta & 1,26 m/s:ta päättyen 200 kg:n ja 0,35 m/s:n havaintoon. Keskivirhe oli noin 0,065 m/s, joka on korkeampi kuin Dorrell et al. (2020) esimerkkitutkimuksessa. Tämä selittyy sillä, että esimerkkitutkimuksessa kaikki havainnot ovat vain yhdestä harjoituksesta, kun taas urheilija A:n tapauksessa dataa on puolentoista vuoden ajalta. Tällöin erilaisissa harjoitustilanteissa toistojen nopeudet vaihtelevat herkemmin.

Huolimatta korkeammasta keskivirheestä, selityskerroin eli R^2 -arvo on 0,815 eli regressioanalyysi tukee noin 82 prosenttia havainnoista (taulukko 1). Kun otetaan huomioon usean harjoituskerran aiheuttama vaihtelu, voidaan luottaa, että kuorma-nopeusprofiili on urheilijalle riittävä luotettava työkalu kuvaamaan kuorman ja toistonopeuden suhdetta. Parempi tapa luoda profiili olisi kerätä tiedot yhdestä testitapahtumasta, mutta myös pidemmän aikavälin tiedoista on mahdollista suorittaa luotettavaa profilointia.

Taulukko 3: Regressiotunnusluvut

<i>Regressiotunnusluvut kuorma-nopeusprofiilissa</i>	
<i>Regressiotunnusluvut</i>	
Kerroin R	0,902926969
Selityskerroin (R^2)	0,815277111
Tarkistettu korrelaatiokerroin	0,813867012
Keskivirhe	0,064651003
Havainnot	133

Regressioanalyysissä käytettyjen arvojen avulla muodostettiin pistekaavio, johon lisättiin toisen asteen polynominen trendiviiva Excelin ”lisää trendiviiva” -työkalun avulla (kuva 8).



Kuva 6: Kuormaperusteinen kuorma-nopeusprofiili

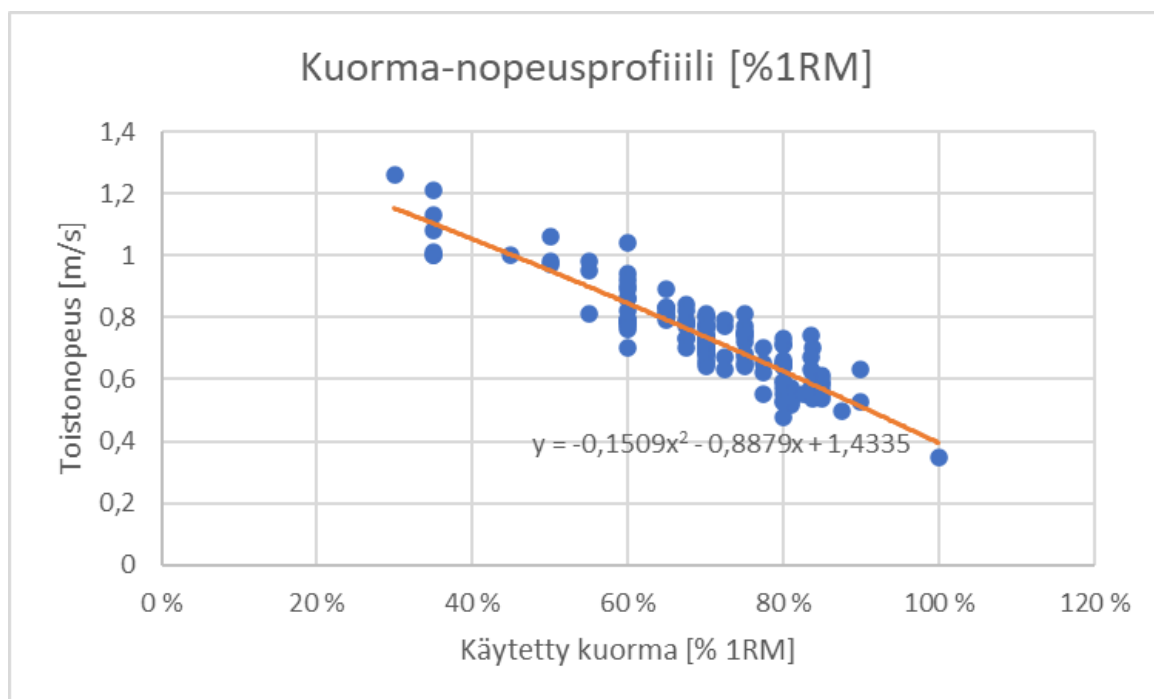
Kuvaajassa olevan trendiviivan lauseketta hyödynnetään urheilijan kuorma-nopeusprofiilina (kaava 6). Lauseke on toisen asteen polynomisena funktiona Dorrel et al. (2020) ja Thompson et al (2021) tutkimusten löydöksiä mukaan.

$$y = -0,000006x^2 - 0,0044x + 1,4335 \quad (6)$$

Regressioanalyysi tehtiin myös nostojen prosentuaalisilla osuuksilla 200 kg:n maksimisuurituksesta, jolloin regressiotunnusluvut olivat identtiset. Ainoana erona on trendiviivan kaava, joka muokkautuu sen mukaan, tutkitaanko funktiossa kuormaa kiloina vai prosentteina (kaava 7).

$$y = -0,1509x^2 - 0,8879x + 1,4335 \quad (7)$$

Sekä prosentti- että kuormaperusteiselle profiilille on sovelluskohteita harjoittelun analysoinnissa ja niitä voi ekstrapoloida sekä interpoloida halunsa mukaan. Prosenttiperusteinen kuvaaja on esitetty kuvassa 9.



Kuva 7: % 1 RM-perusteinen kuorma-nopeusprofiili

Profiilien hyödyntäminen

Kuormaperusteista kaavaa on helpompi hyödyntää proaktiivisessa harjoitusohjelman suunnittelussa, sillä sen avulla voidaan suoraan laskea halutulle toistonopeudelle käytettävä kuorma. Esimerkiksi, jos harjoitusohjelmassa vaaditaan ensimmäinen toisto suoritettavaksi 0,6 m/s nopeudella, sijoitetaan tämä y:n arvoksi ja ratkaistaan funktio x:n suhteen. Yhtälöstä saadaan vastauksiksi 156,2 sekä -889,5, joista luonnollisesti vain positiivinen luku käy. Tällöin tangon kuormaksi asetettaisiin noin 156 kiloa.

Ekstrapolointi onnistuu myös kuormaperusteisella kaavalla hyvin. Jos yhden toiston maksimikuormaa ei ole hetkeen testattu, voidaan kaavan avulla ennustaa maksiminoston nopeus. Kyseisen urheilijan kaavaa ekstrapoloimalla asettamalla y:n arvoksi 0,25 m/s nopeus saadaan arvioiduksi kuormaksi 209 kg. Tästä voidaankin olettaa, että todellinen yhden toiston maksimikuorma on suurempi kuin aiemmin mitattu 200 kg.

Prosenttiperusteinen kaava taas sopii paremmin reaktiiviseen kuormien määrittämiseen esimerkiksi harjoituksen aikana. Sen käyttö tapahtuu samalla tavoin kuin Dorrell et al. (2020) tapauksessa, mutta keskivirhettä ei tässä tapauksessa vähennetä nopeusarvosta. Ajatellaan, että urheilija A suorittaa 60 % (120 kg) lastauksella kyykyn, jossa nopeus on 0,75 m/s.

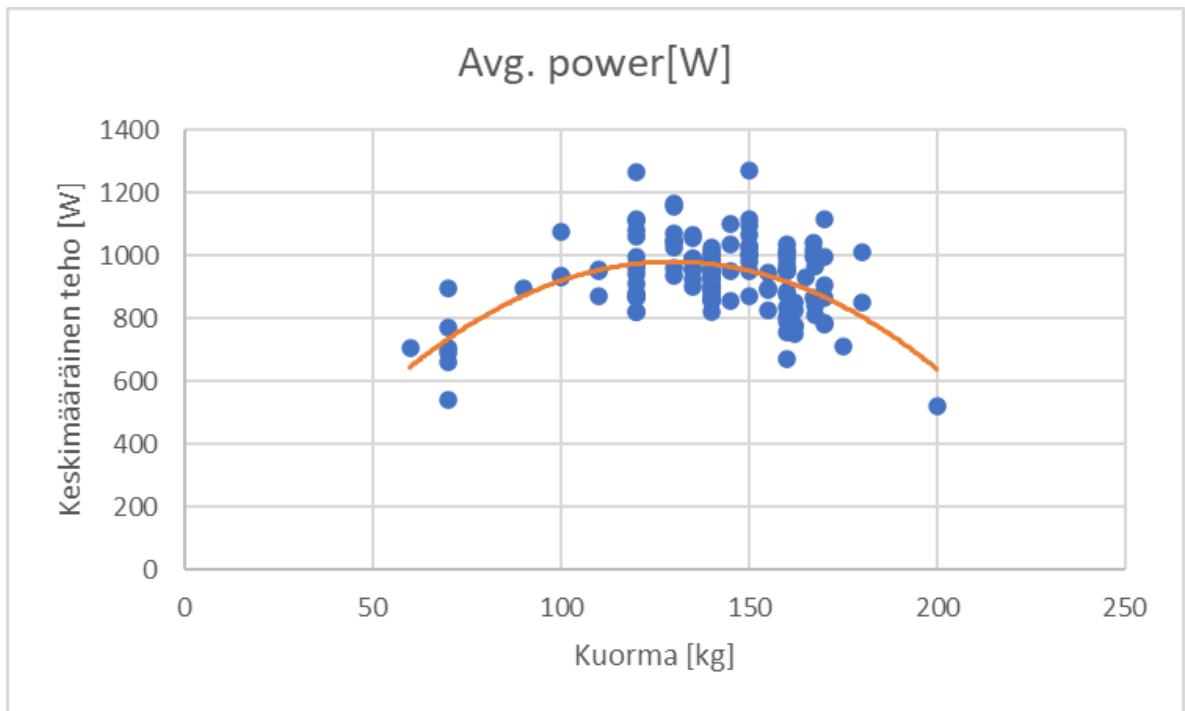
Harjoituksen tavoitteena on nostaa 80 % kuormalla. Y:n arvoksi sijoitetaan tällöin 0,75 m/s, ja ratkaisemalla funktio x:n suhteen saadaan suhteelliseksi kuormaksi noin 69 %. Tästä huomataan, että joko suorituksessa tai urheilijan suorituskyvyssä on jotain ongelmallista, sillä suhteellinen kuorma päivän maksimisuorituksesta on merkittävästi (9 prosenttiyksikköä) korkeampi kuin aidosta yhden toiston maksimista. Jakamalla käytetty kuorma (120 kg) suhteellisella kuormalla (69 %) ja kertomalla tämä tavoiteprosentilla (80 %) saadaan käytettäväksi kuormaksi 139,3 kg.

Tehontuoton analysointi

Tehontuoton analysoinnissa pyrittiin selvittämään, millä kuormilla kyseinen urheilija pystyi tuottamaan mahdollisimman suuren tehon watteina mitattuna. Tätä analyysia varten raakadatasta valittiin toistonopeus (mov. velocity), huippu- ja keskiteho (peak & avg. power), käytetty kuorma (load) sekä toistojärjestys (rep order). Jälleen analyysi keskitettiin sarjojen ensimmäisten toistojen tutkimiseen, jotta jokainen toisto olisi mahdollisimman tehokas.

Polynomisen regressioanalyysi tehtiin sekä huippu- että keskitehojen suhteen. Molemmissa tapauksissa analyysi ei antanut kovin luotettavaa lopputulosta R^2 -arvojen jäädessä mataliksi (0,34 & 0,32). Tähän voi vaikuttaa moni asia toistotekniikassa, kuten esimerkiksi se, kiihdytetäänkö toisto loppuun asti vai ei. Pitkän aikavälin suorituksista muodostettu regressioanalyysi ei välttämättä sovellu tehontuoton kuvaamiseen, sillä pienikin muutos toistonopeudessa tai loppukiihdytyksessä vaikuttaa tehontuottoon merkittävästi. Trendiviivan perusteella voidaan löyhästi arvioida, että keskiarvotehon kannalta otollisimmat kuormat ovat 100 ja 150 kilon välissä, mutta tieteellisesti luotettavaa tietoa tämä ei ole. Tehontuoton kuvaaja esitetään kuvassa 10.

Tehontuoton arvioinnin kannalta otollisempaa olisi kerätä data yhdeltä testikerralta nostamalla hitaasti testissä käytettävää kuormaa ja kannustamalla urheilijaa tekemään jokainen toisto maksimaalisella nopeudella & kiihtyvyydellä. Toisin kuin kuorma-nopeusprofiilia muodostaessa, tehontuottoa arvioitaessa harjoitushistorian analysointi ei ole luotettava tietolähde.



Kuva 8: Polynominen regressio keskitehon ja kuorman suhteesta

5 Prosessikuvaus dataperusteiseen harjoitusohjelman muodostamiseen

Data-analyysin avulla muodostetut kuorma-nopeusprofiilit antavat mielenkiintoista tietoa, mutta ovat urheilijalle hyödyttömiä, mikäli niitä ei voida hyödyntää käytännön harjoittelussa. Kaksi erityistä käyttökohdetta profiileille ovat harjoitusohjelmien muodostaminen sekä jokaisen harjoituksen aikana mahdollinen akuutin suorituskyvyn seuranta.

Jokaisen urheilijan ollessa yksilö on myös jokainen harjoitusohjelma yksilöllinen. Siksi absoluuttista parasta harjoitusohjelmaa tai toimintatapaa ei ole olemassa, mutta data-analytiikan hyödyntämistapoja voidaan kuvata melko hyvin prosessikaavion avulla. Tällä tavoin yksilölliset harjoite-, toistoalue- ja suoritusintensiiviteettivalinnat voidaan jättää valmentajien päätettäväksi, data-analytiikan tarjotessa viitekehysten tieteelliselle harjoitusohjelmoinnille. Prosessikuvaus voidaan jakaa karkeasti viiteen eri osa-alueeseen: datan keräämiseen, analysointiin, jaksotukseen, kuormien valintaan sekä akuuttiin monitorointiin. Prosessi on esitetty kuvassa 11.

Datan kerääminen

Ensimmäinen askel data-analyysin hyödyntämisessä voimaharjoittelussa on luonnollisesti hankkia dataa, jota voidaan prosessoida. Tässä tutkimuksessa keskityttiin erityisesti toistonopeuden tutkimiseen, joka on tieteellisesti todistettu hyväksi tavaksi tutkia harjoittelua. Mikäli urheilijalta ei etukäteen löydy luotettavaa dataa, on se järkevää kerätä yksittäisestä testisessioista samalla tavalla kuin Dorrell et al. (2020) tutkimuksessa.

Mitattavista suureista tärkeimmät ovat käytetty kuorma sekä toistonopeus, josta erityisesti merkittävää on keskimääräinen konsentrisen vaiheen nopeus – tähän yleisesti viitataan termillä *mean propulsive velocity* (MPV). On suositeltavaa tehdä testi siten, että kuormaa nostetaan hiljalleen ylöspäin esimerkiksi 5 % arvioidusta yhden toiston maksimista, kunnes saavutetaan maksimaalinen kuorma. Urheilijan tulisi olla palautunut eli testissä käytettävää lihasryhmää ei tulisi kuormittaa vähintään 48 tuntiin sekä häntä tulisi kannustaa tekemään jokainen suoritus maksimaalisella voiman- ja nopeudentuotolla (Thompson et al. 2021).

Kuorma-nopeusprofiilin muodostaminen tai päivittäminen

Datan keräämisen jälkeen suoritetaan sen siistiminen ja analysointi esimerkiksi tässä tutkimuksessa määritetyllä tavalla, jossa kerätyille havainnoille tehdään lineaariregressioanalyysi ja ne asetetaan toisen asteen yhtälömuotoon ($y = ax^2 + bx + c$). Mikäli tässä vaiheessa havaitaan regressioanalyysin olevan epäluotettava tai datassa on merkittäviä puutteita, voidaan tarvittaessa testisessio uusia.

Urheilijan kehittyessä ja uuden datan lisääntyessä kuorma-nopeusprofiili voi tulla ajankohittaiseksi päivittää. Tämä tapahtuu hyvin yksinkertaisesti joko uudella testisessiolla tai käyttämällä esimerkiksi viimeisen puolen vuoden ajalta olevaa harjoitusdataa. Analyysi tapahtuu samalla tavalla kuin ensimmäiselläkin kerralla.

Esimerkkiurheilijan tapauksessa profiili voitaisiin muodostaa uudestaan aina pääkilpailujen jälkeen, ennen uutta harjoitteluvuotta. Suorituskyky on onnistuneen kevennyksen myötä huipussaan aina pääkilpailujen yhteydessä, jolloin testin voisi suorittaa muutama päivä kilpailusta. Tällöin Thompson et al. (2021) esittämä 48 tunnin minimipalautumisaika edellisestä rasituksesta on kulunut.

Harjoitusjaksojen määrittely

Koska jokaista ominaisuutta ei ole kannattavaa pyrkiä harjoittamaan yhtä aikaa, on harjoitusohjelman muodostamisessa järkevää jaksottaa harjoittelu eri mittaisiin jaksoihin, joissa painotetaan tiettyjen ominaisuuksien kehittämistä (Rønnestad et al. 2019). Tämä on prosessin viidestä vaiheesta kaikkein löyhin, sillä jaksoiden pituus, painotus sekä määrä voivat vaihdella jokaisella urheilijalla. Valmentajan vastuulle jää määrittää urheilijalle toimiva jaksotus.

Kansallisen tason huipulla olevalle painonnostajalle, jollainen esimerkkiurheilijakin on, kauden pääkilpailu on yleisen sarjan Suomen mestaruuskilpailut. Näihin valmistava jakso kestää tyypillisesti 8–12 viikkoa. Muu aika harjoitusvuodesta kuluu pääasiassa harjoitusjakson puolella kehittäen perus- ja maksimivoimaa. Vuoden aikana on tyypillisesti kaksi tai kolme pienempää kilpailua, joihin hermotusta pyritään parantamaan kevennyksien avulla, mutta pitempi ja spesifinen yhteen kilpailuun tähtäävä harjoittelujakso tehdään vain kauden pääkilpailuun.

Kuormien määrittäminen kuorma-nopeusprofiilin avulla

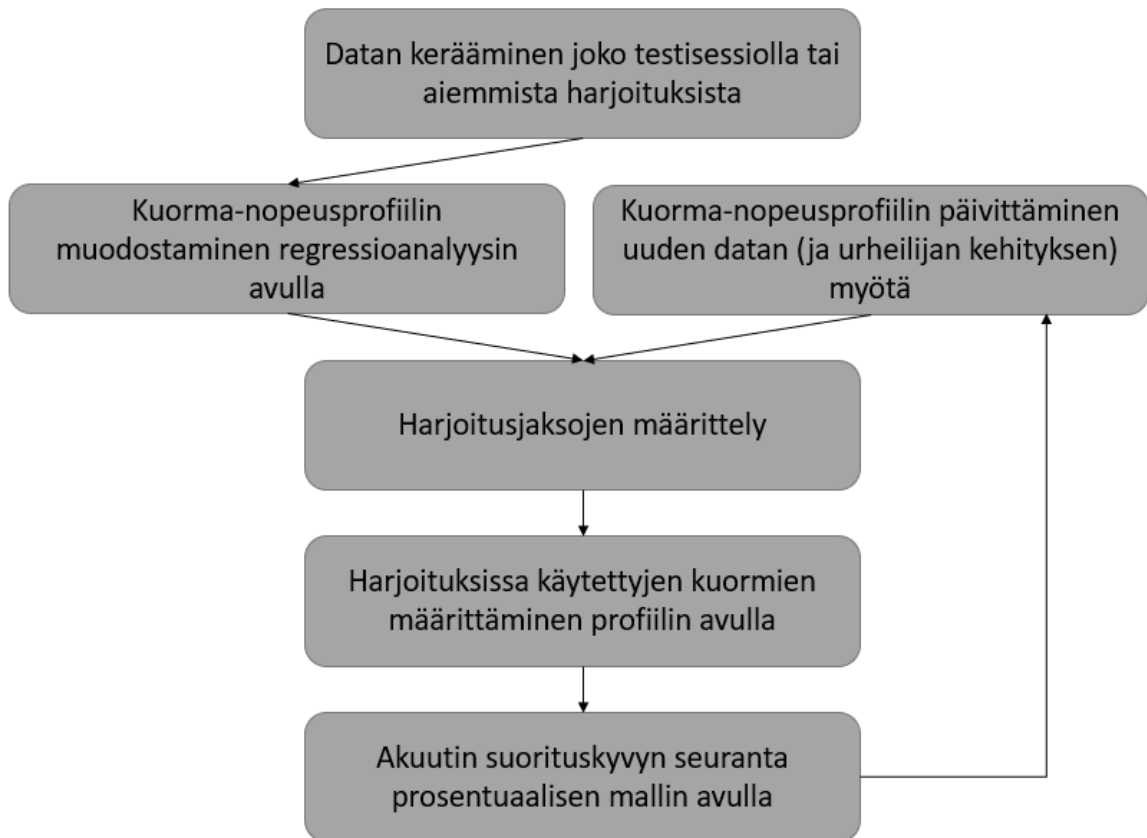
Kun jaksot on määritelty ja harjoitusohjelmassa on olemassa runko, tulee kuormien määrittäminen oleelliseksi. Tähän voidaan hyödyntää kuormaperusteista kuorma-nopeusprofiilia. Esimerkiksi tehontuottoon keskittyvällä jaksolla valmentaja voi asettaa toistonopeuden alarajaksi 1 m/s, jotta räjähtävät voimaominaisuudet kehittyisivät hyvin (Guerriero et al. 2018). Sijoittamalla y:n arvoksi kuorma-nopeusprofiilissa 1 m/s ja ratkaisemalla funktio x:n suhteen saadaan korkein kuorma, jota käyttämällä toistonopeus ei laske alle 1 m/s. Aiemmin esimerkkinä olleen urheilija A:n tapauksessa kuorma olisi korkeintaan 88 kg kaavan 8 mukaisesti.

$$x = \frac{-0,0044 \pm \sqrt{(-0,0044)^2 - 4 \times -0,000006 \times 0,4335}}{2 \times -0,000006} \approx 88 \quad (8)$$

Akuutin suorituskyvyn seuranta

Siirryttäessä ohjelmoinnista harjoitteluvaiheeseen on tärkeää muistaa autoregulointi eli harjoitusten muokkaaminen urheilijan akuuttiin suorituskykyyn sopivaksi. Tätä voidaan toteuttaa käyttämällä prosenttiperusteista kuorma-nopeusprofiilia ja suhteuttamalla kuormat urheilijan päivittäiseen suorituskykyyn laskemalla toistonopeuden perusteella suhteellinen prosenttiosuus yhden toiston maksimista ja määrittämällä saadun arvon perusteella ohjelmoitua prosenttilukua vastaava kuorma kaavojen 4 ja 5 avulla.

Kekseliäs tapa seurata esimerkiksi kilpailukaudella tapahtuvan piikkauksen onnistumista on tutkia päivittäisen yhden toiston maksimin kehitystä. Esimerkkiurheilijan tapauksessa 8 viikkoa ennen pääkilpailuja hän on todennäköisesti harjoitellut sekä määrällisesti paljon että raskailla kuormilla. Todennäköisesti raskaimpien harjoitusjaksojen loppupuolella takakykyyn päivittäinen yhden toiston maksimi jää matalammaksi kuin mitattu 200 kg – parhaimmillaan jopa kymmeniä kiloja. Kilpailujakson edetessä ja rasituksen keventyessä ennustetun maksimikuorman tulisi lähestyä mitattua maksimia, ja parhaimmassa tapauksessa juuri ennen kilpailuja kasvaa jopa suuremmaksi. Onnistunut piikkauksen seuranta toimii sekä mittarina siitä, että harjoittelua on toteutettu oikein, että myös psykologisen kannustimen urheilijan itsevarmuudelle: hän voi luottaa, että suorituskykynsä on todistetusti kasvanut aiemmasta ja näin ollen kykenee suoriutumaan kilpailussa paremmin.



Kuva 9: Prosessikuvaus data-analyysin hyödyntämisestä harjoitusohjelmoinnissa

6 Johtopäätökset

Tämän työn tavoitteena oli selvittää keinoja hyödyntää data-analytiikkaa voimaharjoittelun tehostamisessa. Työn päätutkimuskysymyksenä oli ”*Miten data-analytiikan avulla on mahdollista optimoida urheilijan voimaharjoittelua saadakseen maksimaalisen voimantuottopotentiaalin irti?*”

Päätutkimuskysymykseen vastauksen etsiminen tarkentui jakamalla se kahteen alakysymykseen:

1. *Mitä suorituksia, mittareita ja arvoja on järkevää tutkia voimaharjoittelusuoritusten optimaalisessa mittaamisessa?*

Sovelluskelpoisin voimaharjoittelusuorite on levytankokuormitteinen takakyykky sen yksinkertaisen liikeradan sekä yleisyyden takia. Tärkeimmät mittarit tai mitattavat suureet ovat konsentrisen vaiheen toistonopeus sekä suorituksessa käytetty kuorma. Nämä eivät ole läheskään ainoat tärkeät suureet, mutta ne tarjoavat sovelluskelpoisinta dataa analyttiseen voimaharjoitteluun. Toistonopeuden mittaaminen takakyykyssä onnistuu esimerkiksi tankoon kiinnitettävien sensorien avulla, tarjoten luotettavaa dataa saavutettavaan hintaan.

2. *Miten näistä mittareista kerätty data analysoidaan ja käytetään harjoittelun suunnittelussa ja toteutuksessa urheilijan maksimaalisen potentiaalin saavuttamiseksi?*

Dataa voidaan hyödyntää voimaharjoittelussa muodostamalla polynomisen regressioanalyysin avulla niin kutsuttu kuorma-nopeusprofiili, jota käytetään sekä proaktiiviseen harjoitusohjelmien muodostamiseen että reaktiiviseen harjoittelun optimointiin urheilijan senhetkisen akuutin suorituskyvyn perusteella. Harjoittelun optimointi akuutin suorituskyvyn avulla mahdollistaa rasituksen keventämisen esimerkiksi yllirasitustilan ollessa lähellä, mikä nopeuttaa kehitystä kohti maksimaalista potentiaalia.

Pääkysymykseen voidaan todeta työn pohjalta data-analytiikan olevan hyödyllinen osa voimaharjoittelun suunnittelua sekä toteutusta. Sen avulla voidaan seurata urheilijan suorituskykyä ja muokata harjoittelua ennakoiden yllirasitusta tai kohonnutta sairastumisriskiä. Data-analytiikka lisää myös luotettavuutta muokkauksiin objektiivisen mittaamisen myötä. Pelkkä datan analysointi ei kuitenkaan itsessään riitä, vaan valmentajilla on merkittävä rooli

esimerkiksi harjoitusjaksotuksen suunnittelussa. Data-analytiikan hyödyntäminen voi kuitenkin tarjota mahdollisuuksia tehdä tieteellisesti perusteltuja ratkaisuja suorituskyvyn optimoimiseksi.

Tulevaisuudessa data-analytiikan ja voimaharjoittelun yhdistämistä käsittelevien tutkimusten painopistettä voisi siirtää pidemmän aikavälin vaikutusten tutkimukseen. Esimerkiksi pitkän aikavälin ero reaktiivisen nopeusperusteisen, autoreguloidun data-analytiikkapohjaisen harjoittelun sekä perinteisen, proaktiivisen prosenttiperusteisen harjoittelun suunnittelussa huippu-urheilijoilla olisi kiinnostava ja hyödyllinen tutkimuskohde.

Myös kuorma-nopeusprofiilien muodostamista tulisi tutkia lisää. Tässä tutkimuksessa profiilin muodostamista tutkittiin vain levytankokuormitteisen takakyykkyliikkeen kohdalta, mutta käytännön toteutuksessa kyseinen liike on vain yksi osa monipuolista harjoittelua. Esimerkiksi painonnostoliikkeiden, tempauksen ja työnnön, soveltumista kuorma-nopeusprofilointiin olisi hyvä selvittää. Mitä suurempi osa harjoitteista voidaan todeta soveltuvaksi profilointiin, sitä enemmän tieteellistä data-analyysia voidaan lähentää tuloksekkaan voimaharjoittelun kanssa.

Lähteet

- Ahlquist, S., Cash, B. M. & Hame, S. L. (2020) Associations of Early Sport Specialization and High Training Volume With Injury Rates in National Collegiate Athletic Association Division I Athletes. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine* 8(3): 2325967120906825.
- Andersen, L. L., Andersen, J. L., Zebis, M. K., & Aagaard, P. (2010) Early and late rate of force development: differential adaptive responses to resistance training? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 20(1): e162-e169.
- Camomilla V, Bergamini E, Fantozzi S ja Vannozzi G (2018) Trends Supporting the In-Field Use of Wearable Inertial Sensors for Sport Performance Evaluation: A Systematic Review. *Sensors (Basel, Switzerland)* 18(3): 873.
- Chatterjee, S. & Hadi, A. S. (2012) *Regression Analysis by Example*. 5. p. Hoboken, New Jersey: Wiley. 734s.
- Crawford, D. A., Drake, N. B., Carper, M. J., DeBlauw, J. & Heinrich, K. M. (2018) Validity, Reliability, and Application of the Session-RPE Method for Quantifying Training Loads during High Intensity Functional Training. *Sports (Basel)* 6(3): 84.
- Cunanan, A. J., DeWeese, B. H., Wagle, J. P., Carroll, K. M., Sausaman, R., Hornsby, W. G., Haff, G. G., Triplett, N. T., Pierce, K. C., & Stone, M. H. (2018) The General Adaptation Syndrome: A Foundation for the Concept of Periodization. *Sports Medicine (Auckland)* 48(4): 787-797.
- Delorme, T. L. (1945) Restoration of Muscle Power by Heavy Resistance Exercises. *The Journal of Bone and Joint Surgery* 28(4): 645-667.
- Dorrell, H. F., Moore, J. M. & Gee, T. I. (2020) Comparison of individual and group-based load-velocity profiling as a means to dictate training load over a 6-week strength and power intervention. *Journal of Sports Sciences* 38(17): 2013-2020.
- Eston, R. & Evans, H. J. L. (2009) The validity of submaximal ratings of perceived exertion to predict one repetition maximum. *Journal of Sports Science & Medicine* 8(4): 567-573.

- Guerriero, A., Varalda, C. & Piacentini, M. F. (2018) The Role of Velocity Based Training in the Strength Periodization for Modern Athletes. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology* 3(4): 55-0.
- Halson, S. L. (2014) Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports Medicine (Auckland)* 44: 139-147.
- Ivey, F. M., Prior, S. J., Hafer-Macko, C., Katzell, L. I., Macko, R. F., & Ryan, A. S. (2017) Strength Training for Skeletal Muscle Endurance after Stroke. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases; J Stroke Cerebrovasc Dis* 26(4): 787-794.
- James, G., Witten, D., Hastie, T. & Tibshirani, R. (2021) *An Introduction to Statistical Learning: With Applications in R*. 2. p. New York, NY: Springer. 607s.
- Le Meur, Y., Hausswirth, C. & Mujika, I. (2012) Tapering for competition: A review. *Science & Sports* 27(2): 77-87.
- Liao, C., Chen, H., Kuo, Y., Tsauo, J., Huang, S. & Liou, T. (2020) Effects of Muscle Strength Training on Muscle Mass Gain and Hypertrophy in Older Adults With Osteoarthritis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Arthritis Care & Research (2010)* 72(12): 1703-1718.
- Liao, K., Wang, X., Han, M., Li, L., Nassis, G. P. & Li, Y. (2021) Effects of velocity based training vs. traditional 1RM percentage-based training on improving strength, jump, linear sprint and change of direction speed performance: A Systematic review with meta-analysis. *PloS One* 16(11): e0259790.
- Olaya-Cuartero, J., Villalon-Gasch, L., Penichet-Tomás, A. & Olmedo, J. M. J. (2022) Validity and Reliability of the VmaxPro IMU for back squat exercise in multipower machine. *Journal of Physical Education and Sport* 22(11): 2920-2926.
- Orange, S. T., Hritz, A., Pearson, L., Jeffries, O., Jones, T. W. & Steele, J. (2022) Comparison of the effects of velocity-based vs. traditional resistance training methods on adaptations in strength, power, and sprint speed: A systematic review, meta-analysis, and quality of evidence appraisal. *Journal of Sports Sciences* 40(11): 1220-1234.
- Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Sanchis-Moysi, J., Dorado, C., Mora-Custodio, R., Yáñez-García, J. M., Morales-Alamo, D., Pérez-Suárez, I., Calbet,

J. A. L. & González-Badillo, J. J. (2017) Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 27(7): 724-735.

Physiopedia (2023) Strength Training. Viitattu [9.4.2023] Saatavilla: https://www.physio-pedia.com/Strength_Training.

Rissanen, J., Walker, S., Pareja-Blanco, F. & Häkkinen, K. (2022) Velocity-based resistance training: do women need greater velocity loss to maximize adaptations? *European Journal of Applied Physiology* 122(5): 1269-1280.

Rønnestad, B. R., Hansen, J., Hollan, I. & Ellefsen, S. (2015) Strength training improves performance and pedaling characteristics in elite cyclists. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 25(1): e89-e98.

Rønnestad, B. R., Øfsteng, S. J. & Ellefsen, S. (2019) Block periodization of strength and endurance training is superior to traditional periodization in ice hockey players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 29(2): 180-188.

Sarabia, J. M., Moya-Ramón, M., Hernández-Davó, J. L., Fernandez-Fernandez, J. & Sabido, R. (2017) The effects of training with loads that maximise power output and individualised repetitions vs. traditional power training. *PloS One* 12(10): e0186601.

Storey, A. & Smith, H. K. (2012) Unique Aspects of Competitive Weightlifting: Performance, Training and Physiology. *Sports Medicine (Auckland)* 42(9): 769-790.

Suchomel, T. J., Nimphius, S. & Stone, M. H. (2016) The Importance of Muscular Strength in Athletic Performance. *Sports Medicine (Auckland)* 46(10): 1419-1449.

Suchomel, T. J., Nimphius, S., Bellon, C. R. & Stone, M. H. (2018) The Importance of Muscular Strength: Training Considerations. *Sports Medicine (Auckland)* 48(4): 765-785.

Suchomel, T. J., Nimphius, S., Bellon, C. R., Hornsby, W. G. & Stone, M. H. (2021) Training for Muscular Strength: Methods for Monitoring and Adjusting Training Intensity. *Sports Medicine (Auckland)* 51(10): 2051-2066.

Takarada, Y., Takazawa, H., Sato, Y., Takebayashi, S., Tanaka, Y. & Ishii, N. (2000) Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)* 88(6): 2097-2106.

- Thompson, S. W., Olusoga, P., Rogerson, D., Ruddock, A. & Barnes, A. (2022) “Is it a slow day or a go day?”: The perceptions and applications of velocity-based training within elite strength and conditioning. *International Journal of Sports Science & Coaching*: 174795412210996.
- Thompson, S. W., Rogerson, D., Ruddock, A., Banyard, H. G. & Barnes, A. (2021) Pooled Versus Individualized Load–Velocity Profiling in the Free-Weight Back Squat and Power Clean. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 16(6): 825-833.
- Thompson, S. W., Rogerson, D., Ruddock, A., Greig, L., Dorrell, H. F. & Barnes, A. (2021) A Novel Approach to 1RM Prediction Using the Load-Velocity Profile: A Comparison of Models. *Sports (Basel)* 9(7): 88.
- Vernon, A., Joyce, C. & Banyard, H. G. (2020) Readiness to train: Return to baseline strength and velocity following strength or power training. *International Journal of Sports Science & Coaching* 15(2): 204-211.
- Zhang, X., Feng, S., Peng, R. & Li, H. (2022) The Role of Velocity-Based Training (VBT) in Enhancing Athletic Performance in Trained Individuals: A Meta-Analysis of Controlled Trials. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19(15): 9252.