

ENERGIARAVINTOAINEIDEN MANUPULAATIO JA SEN VAIKUTUS
SUORITUSKYKYYN KESTÄVYYSURHEILUSSA

Peltola Eevi

Kandidaatin tutkielma

Ravitsemustiede

Lääketieteen laitos

Terveystieteiden
tiedekunta

Itä-Suomen yliopisto

Elokuu 2018

Itä-Suomen yliopisto, Terveystieteiden tiedekunta
Kansanterveystieteen ja kliinisen ravitsemustieteen yksikkö
Ravitsemustiede
PELTOLA EEVI S: Työn nimi
Kandidaatin tutkielma, 33 sivua, 0 liitettä (33 sivua)
Ohjaaja(t): tutkinto Reija Männikkö
Elokuu 2018

Avainsanat: Hiilihydraatit, rasvat, pyöräily, juoksu, triathlon, suorituskyky, kehittyminen, palautuminen

ENERGIARAVINTOAINEIDEN MANUPULAATIO JA SEN VAIKUTUS SUORITUSKYKYYN KESTÄVYYSURHEILUSSA

Kestävyysurheilu koostuu suorituksista jotka ovat pitkäkestoisia ja joissa energia tuotetaan aerobisesti. Kestävyysurheiluun kuuluu jonkin verran kovatehoisia osuuksia, joissa energiantuotto on anaerobista. Pääasiallisia energianlähteitä ovat hiilihydraatit ja rasvat. Hiilihydraattien varastomuoto on glykogeneeni. Liian alhainen glykogeneenipitoisuus on yhdistetty urheilijan kokemaan uupumuksen tunteeseen, jonka takia hiilihydraatteja on pidetty kestävyysurheilussa tärkeimpänä energiaravintoaineena. Alhaisella glykogeneenipitoisuudella on todettu myös harjoitusadaptaatiota vahvistava vaikutus. Tutkimuksissa on esitelty käsite train low-competete high. Käsitteellä tarkoitetaan metodia, jossa tietyt harjoitukset tehdään glykogeneenivarastojen ollessa alhaiset, mutta korkeatehoiset ja tärkeimmät harjoitukset ja kilpailut suoritetaan täysillä glykogeneenivarastoilla.

Tämän kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on selvittää tämän hetkinen tutkimusnäyttö train low-competete high –metodista ja sen mahdollisista hyödyistä ja haitoista kestävyysurheilussa. Tutkimuksina käytetään mahdollisimman uusia tutkimuksia, joissa tutkittavat ovat kestävyysurheilijoita tai heillä on kestävyysurjoittelutausta.

Train low-competete high –metodissa on erilaisia keinoja rajoittaa hiilihydraattien saatavuutta. Keinoja ovat vähähiilihydraattinen ruokavalio, harjoittelu kaksi kertaa päivässä, harjoittelu yöpaaston jälkeen, hiilihydraattien rajoittaminen palautumisen ensimmäisinä tunteina ja pitkitetyt harjoitukset. Vähähiilihydraattinen ruokavalio pienentää glykogeneenivarastoja kroonisesti, muut keinot akuutisti.

Tässä kirjallisuuskatsauksessa käsiteltyjen tutkimusten pohjalta näyttää siltä, että harjoittelu yöpaaston jälkeen tehostaa rasvan oksidaatiota, vähentää rasvamassaa ja parantaa suorituskykyä submaksimaalisella teholla. Sen sijaan harjoittelu kahdesti päivässä tai kroonisesti vähäinen hiilihydraattien saanti vähentää urheilijoiden itse valitsemaa tehoa harjoituksen aikana ja ei paranna suorituskykyä.

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	4
2 KESTÄVYYSURHEILU	5
2.1 Kestävyysurheilun määritelmä	5
2.2 Kestävyysurheilu ja energiankulutus	5
3 ENERGIARAVINTOAINEET	7
3.1 Hiilihydraatit	7
3.1.1 Yleistä hiilihydraateista	7
3.1.2 Hiilihydraattien imeytyminen ja tehtävät elimistössä	7
3.1.3 Hiilihydraatit kestävyysurheilijalla	8
3.2 Proteiinit	8
3.2.1 Yleistä proteiineista	8
3.2.2 Proteiinien imeytyminen ja tehtävät	8
3.2.3 Proteiinit kestävyysurheilijalla	9
3.3 Rasvat	9
3.3.1 Yleistä rasvoista	9
3.3.2 Rasvojen imeytyminen ja tehtävät	9
3.3.3 Rasvat kestävyysurheilijalla	10
4 ENERGIA-AINEENVAIHDUNTA	10
4.1 ATP ja kreatiinifosfaatti	11
4.2 Aerobinen energiantuotto	11
4.3 Anaerobinen energiantuotto	11
4.4 Energiantuotto kestävyysurheilussa	12
5 HIILIHYDRAATTI- JA RASVA-AINEENVAIHDUNNAN MANIPULAATIO	14
5.1 Määritelmä	14
5.2 Harjoittelu yöpaaston jälkeen	17
5.3 Harjoittelu kaksi kertaa vuorokaudessa	22
5.4 Kroonisesti matalahiilihydraattinen ruokavalio	25
6 POHDINTA	29
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	31
8 LÄHTEET	32

1 JOHDANTO

Kestävyysurheilijoille suunnatuissa ravitsemussuosituksissa on pitkään painotettu runsashiilihydraattisen ruokavalion tärkeyttä (Hawley ja Burke 2010). Kovatehoisessa anaerobisessa työskentelyssä energiaa pystytään tuottamaan ainoastaan hiilihydraateista ja elimistön glykogeenivarastojen ehtyminen on yhdistetty urheilijan kokemaan uupumuksen tunteeseen (Lanham-New ym. 2011). Urheilijan kehittymisen kannalta on olennaista pystyä suoriutumaan kovatehoisistakin harjoituksista.

Urheilu saa aikaan harjoitusadaptaation, jolla tarkoitetaan elimistössä tapahtuvia muutoksia joiden vaikutuksesta suorituskyky kasvaa (Hansen ym. 2005). Muutosten taustalla on tiettyjen geenien aktivaatio ja transkriptio. Tutkimuksissa on havaittu, että glykogeenilla on määrittävä vaikutus joidenkin harjoitusadaptaatioon vaikuttavien geenien transkriptioon. Vaikutus on havaittu erityisesti matalilla glykogeenitasoilla, mikä on ristiriidassa urheilijoille suositellun runsashiilihydraattisen ruokavalion kanssa. Tutkimuksista on syntynyt kiinnostus harjoitella osa harjoituksista tai jopa kaikki harjoitukset matalilla glykogeenivarastoilla eli manipuloida harjoitusten aikaisia glykogeenivarastoja tarkoituksenmukaisesti. Hiilihydraatteja tarvitaan kuitenkin myös immuunivasteeseen, kovatehoiseen harjoitteluun energianlähteeksi sekä suojaamaan kehoa lihasproteiinin hajoamiselta (Ilander ym. 2014). Matalilla glykogeenivarastoilla harjoiteltaessa nämä toiminnot voivat vaarantua.

Tämän työn tavoitteena on koota tietoa menetelmistä, joilla pyritään vaikuttamaan glykogeenivarastoihin ja näiden menetelmien vaikutuksesta suorituskykyyn kestävyyslajeissa. Kestävyyslajeina tässä tutkielmassa käsitellään lajeja, joiden kesto on yli 30 minuuttia ja joissa energiantuotto on pääasiassa aerobista. Työ on kirjallisuuskatsaus, jossa perehdytään uusimpaan tutkimusnäyttöön aiheesta.

2 KESTÄVYYSURHEILU

2.1 Kestävyysurheilun määritelmä

Kestävyysurheiluksi luetaan suoritukset, joiden intensiteetti on submaksimaalista, kuten maratonit, triathlonkisat ja pyöräily (Burke 2015). Kestävyysurheilua on urheilu, jossa energia tuotetaan pääasiassa aerobisesti (Tarnopolsky 2004). Aerobinen urheilu on matalatehoista ja pitkäkestoista (Aro ym. 2012). Kestävyysurheiluun voi kuitenkin sisältyä teholtaan kovempia osuuksia jolloin energia tuotetaan anaerobisesti (Aro ym. 2012, Burke 2015). Anaerobinen urheilu on kovatehoista ja lyhytkestoista. Liikunnan Käypä hoito –suosituksen mukaan kestävyysliikunta kestää kymmeniä minutteja. Sen aiheuttama rasitus kohdistuu isoihin lihasryhmiin ja rasitus on kohtuullista.

Kestävyysurheilu sisältää erilaisia harjoitusjaksoja, jotka jaksottavat vuotta (Zaryski ja Smith 2005). Esimerkiksi, perinteisesti kestävyysjuoksijan vuosi on sisältänyt viisi erilaista vaihetta harjoittelussa (Hemmilä 2014). Kauden aloittaa peruskuntokausi, jolloin harjoittelua on tuntimäärällisesti paljon, mutta harjoittelu on teholtaan matalaa, jolloin pääosa harjoittelusta on aerobista. Peruskuntokausi kestää useamman kuukauden. Peruskuntokautta seuraa kimmokestävyyskausi, joka sisältää hyppy- ja mäkiharjoituksia. Kimmokaudella harjoitustehot kasvavat ja aerobisen harjoittelun ohella tehdään anaerobista harjoittelua. Ratakausi edeltää kilpailukautta ja menee osittain kilpailukauden kanssa päällekkäin. Ratakausi koostuu tehoharjoituksista, ylläpitoharjoituksista ja nopeusharjoituksista. Kilpailukaudella harjoitusmääriä vähennetään ja kevennetään ennen tärkeitä kilpailuja.

Tässä kandidaatin tutkielmassa kestävyysurheilulla tarkoitetaan yli 30 minuutin suorituksia, joissa energia tuotetaan pääasiassa aerobisesti. Tutkielmassa käsiteltäviä kestävyyslajeja ovat pyöräily, maastopyöräily, triathlon, kilpakävely ja juoksu.

2.2 Kestävyysurheilu ja energiankulutus

Energiaa kuluu elimistössä perusaineenvaihduntaan, termogeneesiin ja fyysiseen aktiivisuuteen (Aro ym. 2012). Perusaineenvaihdunnalla tarkoitetaan energiamäärää, joka kehossa kuluu sen normaaleihin toimintoihin, esimerkiksi hengitykseen ja verenkiertoon. Ei-urheilevilla perusaineenvaihdunta määrää suurimmaksi osaksi päivän energiantarpeen ja kokonaisenergiankulutuksesta se on noin 75 %. Standardikokoisella naisella (164cm ja 57kg, rasvaton massa 48 kg) perusaineenvaihdunta on vuorokaudessa noin 1480 kilokaloria ja standardikokoisella miehellä (170cm ja 70kg, rasvaton massa 61,7kg) noin 1770 kilokaloria. Lämpötilan muutokset, painon nousu, hormonit ja jotkin lääkkeet suurentavat

perusaineenvaihduntaa. Ikä, painon lasku, jotkin lääkkeet ja uni pienentävät perusaineenvaihduntaa.

Termogeneesillä tarkoitetaan aterioiden aiheuttamaa energiakustannusta (Aro ym. 2012). Termogeneesiin energiaa menee vuorokaudessa noin 10 % kokonaisenergiankulutuksesta. Energiakustannuksilla tarkoitetaan energiaa, joka kuluu aterioiden pilkkomiseen, imeytymiseen, kuljetukseen ja varastointiin.

Ei-urheilijoilla fyysinen aktiivisuus kattaa noin 15-20 % kokonaisenergiankulutuksesta (Aro ym. 2012). Fyysisen aktiivisuuden aiheuttamat energiakustannukset riippuvat liikunnan kestosta ja tehosta (Ilander ym. 2014). Urheilijoilla, jotka liikkuvat päivittäin useita tunteja kovalla teholla, fyysisen aktiivisuuden aiheuttamat energiakustannukset ovat suuremmat. Liikunnan aiheuttamilla energiakustannuksilla tarkoitetaan energiamäärää, joka tarvitaan korjaamaan liikunnan aiheuttamia vaurioita lihas-, hermo- ja luusoluissa. Kun energiaa saadaan riittävästi elimistön kaikkiin toimintoihin, on urheilijan palautuminen nopeampaa ja kehitys tehokkaampaa. Liian vähäinen energiansaanti altistaa kehityksen pysähtymiselle sekä loukkaantumisille ja yllirasittumiselle.

Energian riittävyttä kuvataan termillä energiansaataavuus, jolla tarkoitetaan sitä energiamäärää joka elimistölle jää käyttöön, kun liikunnan aiheuttamat energiakustannukset on vähennetty kokonaisenergiansaannista (Ilander ym. 2014). Energian saatavuus lasketaan kilokaloreina kehon rasvattomaan massa suhteutettuna. Urheilijan olisi suositeltavaa saada yli 45 kilokaloria yhtä kilogrammaa rasvatonta massaa kohti vuorokaudessa. Yli 45 kilokaloria yhtä kiloa rasvaton massaa kohti vuorokaudessa sanotaan korkeaksi energian saatavuudeksi, jolla varmistetaan, että kehittyminen on optimaalista. Alle 30 kilokaloria yhtä kiloa rasvatonta massaa kohti vuorokaudessa heikentää harjoittelusta palautumista, hormonitoimintaa sekä altistaa luuston massan heikkenemiselle.

Kestävyysurheilun aiheuttamia energiakustannuksia on vaikea arvioida tarkalleen, koska kestävyyslajit ovat erilaisia ja harjoituskausi sisältää erilaisia harjoitusjaksoja jolloin energiaa kulutetaan eri tavalla. Kestävyyslajit ovat eniten energiaa kuluttava lajiryhmä (Ilander ym. 2014). Uimarien, pyöräilijöiden ja hiihtäjien päivittäinen energiankulutus on miehillä noin 4000-6000 kilokaloria vuorokaudessa ja naisilla 3000-4000 kilokaloria vuorokaudessa (Borg 2004). Kestävyysjuoksussa vastaavat arviot ovat 3500-5000 kilokaloria vuorokaudessa ja 2500-3500 kilokaloria vuorokaudessa.

3 ENERGIARAVINTOAINEEET

Energiaravintoaineita ovat ruoasta tulevat aineet, joista elimistö tuottaa energiaa (Aro ym. 2012). Näitä ovat hiilihydraatit, proteiinit ja rasvat. Myös alkoholista saadaan energiaa, mutta sitä ei lasketa varsinaiseksi energiaravintoaineeksi vaan se vaikuttaa muiden aineiden kuljetukseen, aineenvaihduntaan ja varastointiin. Proteiinit ja rasvat ovat energiaravintoaineiden lisäksi suojaravintoaineita.

3.1 Hiilihydraatit

3.1.1 Yleistä hiilihydraateista

Hiilihydraatit ovat ravinnossa esiintyviä aineita, jotka koostuvat mono-, di-, oligo- tai polysakkarideista sekä ravintokuidusta (Aro ym. 2012). Hiilihydraattien varastomuoto on kasveilla tärkkelys ja ihmisellä glykogeeni. Glykogeeni on ihmisellä varastoinut maksaan ja luurankolihaksiin (Ilander ym. 2014). Maksassa glykogeenia on noin 75-100 grammaa ja luurankolihaksissa noin 300-800 grammaa. (Lanham-New ym. 2011, Ilander ym. 2014). Lihaksen glykogeenivarastojen kokoon vaikuttavat lihasmassan määrä ja ruokavalio. Maksan glykogeenilla säädelään veren glukoositasoa, mutta lihaksessa oleva glykogeeni käytetään vain lihaksen omaksi energiaksi. Insuliini on glykogeenivarastojen muodostumista säätelevä hormoni.

Hiilihydraattien lähteitä ovat viljatuotteet, kasvikset, hedelmät, marjat ja maitotuotteet (Aro ym. 2012). Yksi hiilihydraattigramma sisältää energiaa noin 4 kilokaloria.

3.1.2 Hiilihydraattien imeytyminen ja tehtävät elimistössä

Suu aloittaa hiilihydraattien pilkkomisen erittämällä syljen mukana α -amylaasi-nimistä entsyymiä, joka hydrolysoi tärkkelystä (Aro ym. 2012). Mahalaukussa α -amylaasin vaikutus loppuu happaman ympäristön vaikutuksesta. Hiilihydraattien pilkkoutuminen jatkuu niiden kulkeuduttua ohutsuoleen. Siellä haimasta erittyvä α -amylaasi pilkkoo hiilihydraatteja di- ja oligosakkarideiksi. Tämän jälkeen oligosakkaridit ja disakkaridit pilkotaan monosakkarideiksi oligosakkaridaasi- ja disakkaridaasientsyymien vaikutuksesta.

Monosakkaridit imeytyvät ohutsuolesta eri nopeuksilla ja glukoosi näistä nopeiten (Aro ym. 2012). Eri nopeudet johtuvat erilaisista kuljettajaproteiineista. Monosakkaridit liikkuvat veressä luurankolihaksiin, maksaan ja niitä tarvitseville soluille. Soluissa ne joko käytetään energiaksi tai varastoidaan glykogeeninä.

Hiilihydraatit toimivat elimistön pääasiallisena energianlähteenä (Aro ym. 2012). Lisäksi ne ovat monien komponenttien osana, joista osa muun muassa tunnistaa soluun tulevia aineita ja

osa toimii elimistön eri osissa sidosaineena. Myös osassa hormoneista ja entsyymeistä on hiilihydraattiosia.

3.1.3 Hiilihydraatit kestävyysurheilijalla

Valtaväestölle suunnattujen suomalaisten ravitsemussuositusten mukaan hiilihydraattien osuus kokonaisenergiansaannista tulisi olla 45-60% (Valtionravitsemusneuvottelukunta 2014). Urheilijoille suositellaan hiilihydraatteja 45-65 E%, mutta urheilijoille energiaravintoainemäärät ilmoitetaan mieluummin grammoina painokiloa kohti vuorokaudessa, jolloin määrät ovat helpommin suhteutettavissa harjoituskausien erilaiseen energiantarpeeseen (Ilander ym. 2014). Kestävyysurheilussa hiilihydraattien tarve on suurta verrattuna muihin lajeihin. Urheilija joka harjoittelee 1-3 tuntia päivässä tarvitsee hiilihydraatteja 6-10 g/kg/vrk ja 4-5 h päivässä harjoitteleva 8-12 g/kg/vrk. (Thomas ym. 2016).

3.2 Proteiinit

3.2.1 Yleistä proteiineista

Proteiinit ovat aminohapoista koostuvia ketjuja (Aro ym. 2012). Aminohappoja on kaksikymmentä erilaista. Aminohapoista välttämättömiä on lapsena kymmenen ja aikuisena kahdeksan. Välttämättömillä aminohapoilla tarkoitetaan, että elimistö ei itse kykene tuottamaan niitä vaan ne on saatava ravinnosta.

Proteiinia saadaan lihasta, kalasta, maitotuotteista, pavuista, herneistä, linsseistä, pähkinöistä ja siemenistä (Ilander ym. 2014). Yksi gramma proteiinia sisältää noin 4 kilokaloria.

3.2.2 Proteiinien imeytyminen ja tehtävät

Proteiinien hajottaminen alkaa mahalaukussa, jossa maharauhaset erittävät proteiinien joukkoon pepsinogeenia (Aro ym. 2012). Pepsinogeeni on pepsiniin eli proteiineja pilkkovan entsyymin esiaste, joka aktivoituu mahalaukun happamassa ympäristössä. Ohutsuoleen siirtyä hajottamisen seurauksena aminohappoja, polypeptidejä sekä kokonaisia proteiineja. Pepsiniit lakkaavat toimimasta ohutsuolessa happamuuden vähetessä. Haimanesteen mukana tulee proteiineja pilkkovia entsyymien esiasteista jotka aktivoituvat ohutsuolen limakalvon solujen erittämän enteropeptidaasin vaikutuksesta. Entsyymien vaikutuksesta kokonaiset proteiinit ja polypeptidit pilkkotaan oligopeptideiksi. Oligopeptidit pilkkotaan aminohapoiksi, di- ja tripeptideiksi ohutsuolen epiteelisolujen pinnalla. Solujen sisällä tri- ja dipeptidit pilkkotaan vapaiksi aminohapoiksi. Ohutsuolesta aminohapot siirtyvät verenkiertoon. Aminohapot kulkeutuvat verenkierron mukana maksaan. Maksa säätelee aminohappojen hajottamista ja vapautumista verenkiertoon.

Proteiinien tärkein tehtävä on toimia rakennusaineena elimistössä kudoksille (Ilander ym. 2014). Proteiineja tarvitaan kaikkialla mutta eniten niitä on lihaksissa, luustossa, sidekudoksessa, veressä ja sisäelimissä. Proteiinit ovat myös energianlähde. Lisäksi proteiinit toimivat entsyymeinä, hormoneina, vasta-aineina sekä elimistön molekyylien kuljettajana.

3.2.3 Proteiinit kestävyysurheilijalla

Valtaväestölle proteiineja suositellaan saatavaksi 10-15 E% eli noin 1,1-1,3 g/kg/vrk (Valtionravitsemusneuvottelukunta 2014). Urheilijoilla määrän tulisi olla korkeampi, noin 1,2-2 g/kg/vrk (Ilander ym. 2014). Urheilijan laihduttaessa tai muuten rajoittaessa energiansaantiaan tai urheilijan ollessa loukkaantunut voi määrä olla vielä korkeampi eli noin 2-2,5 g/kg/vrk. Näin turvataan riittävä proteiininsaanti lihaksille, jotta niitä ei aleta purkaa energiansaannin ollessa vähäistä.

3.3 Rasvat

3.3.1 Yleistä rasvoista

Rasvoja eli lipidejä ovat triglyseridit, fosfolipidit ja sterolit (Aro ym. 2012). Rasvaliukoiset vitamiinit ja kolesteroli ovat steroleita. Ravinnosta saatavat lipidit ovat suurimmilta osin triglyseridejä. Triglyseridit koostuvat glyserolirungosta ja siihen esteröityneistä rasvahapoista. Rasvahapot sisältävät joko yksittäisiä sidoksia tai kaksoissidoksia. Tyydyttyneissä rasvahapoissa on ainoastaan yksittäisiä sidoksia. Kertatyydyttymättömissä rasvahapoissa on yksi kaksoissidos ja monityydyttymättömissä rasvahapoissa on useampia kaksoissidoksia. Rasvahappoketjut ovat eri mittaisia. Pitkissä rasvahapoissa on 16-22 hiiltä, keskipitkissä 8-14 hiiltä ja lyhyissä 2-6 hiiltä (Lambert ym. 1997, Aro ym. 2012).

Tyydyttyneiden rasvahappojen lähteitä ovat liha, maitotuotteet, leivonnaiset, kookosvoi ja palmuöljy (Aro ym. 2012). Tyydyttymättömiä rasvahappoja saadaan muista kasviöljyistä, pähkinöistä, siemenistä ja avokadosta. Yksi gramma rasvaa sisältää noin 9 kilokaloria.

3.3.2 Rasvojen imeytyminen ja tehtävät

Suussa erittyy rasvoja pilkkovaa lipaasientsyymiä, joka aktivoituu mahalaukun happamassa ympäristössä (Aro ym. 2012). Mahalaukusta erittyy mahan lipaasi. Lipaasit hajottavat triglyseridejä joissa on lyhyitä ja keskipitkiä rasvahappoja, jolloin syntyy diglyseridejä ja vapaita rasvahappoja. Vapaat rasvahapot voivat imeytyä jo mahalaukusta verenkiertoon. Rasvan emulgoiminen käynnistyy mahalaukussa.

Ohutsuolessa haiman rasvoja pilkkovat entsyymit irrottavat rasvahappoja triglyserideistä (Aro ym. 2012). Rasvoja emulgointi jatkuu sapessa erittyvien aineiden ja sappisuolojen vaikutuksesta. Sappisuolat muodostavat hajotuksen loppuvaiheessa misellejä rasvojen hajotustuotteiden kanssa. Misellien avulla hajotustuotteet imeytyvät enterosyyttiin. Rasvojen hajotustuotteet kasataan enterosyytissä takaisin triglyserideiksi ja fosfolipideiksi. Suurin osa elimistössä kulkevista triglyserideistä on ohutsuolen syntetisoimia. Rasvojen kuljetuksesta elimistöön ja elimistössä vastaavat lipoproteiinit. Ohutsuolessa rasvat siirtyvät ensin imusuonistoon ja sen kautta verenkiertoon. Verenkierrosta siirtyy lihas- ja rasvakudokselle vapaita rasvahappoja. Rasvakudos varastoi rasvahapot triglyserideinä. Lihaskudos käyttää rasvahapot energiaksi. Glycerolirungot kulkevat maksaan.

Rasvojen tehtävä on toimia elimistössä energiana ja energiavarastona (Aro ym. 2012). Lisäksi ne toimivat osana solukalvoja ja kalvostoja sekä osana rakenteellisia komponentteja. Rasvoja tarvitaan myös osana solujen signaalivälitystä muun muassa hormonituotannossa.

3.3.3 Rasvat kestävyysurheilijalla

Yleisissä väestötason ravitsemussuosituksissa kertyydyttymättömiä rasvoja suositellaan saatavaksi 10-20 E%, monitydyttymättömiä rasvahappoja 5-10 E% ja tyydyttyneitä rasvahappoja alle 10 E% (Valtionravitsemusneuvottelukunta 2014). Kokonaisuudessaan rasvoista saatavan energian suositellaan olevan 25-40 % kokonaisenergiansaannista. Urheilijoilla rasvansaanti suositukset ovat samanlaiset kuin valtaväestöllä eli 25-40 E% eli 1-2 g/kg/vrk (Ilander ym. 2014). Urheilijan tulisi saada rasvaa suhteessa vähemmän kuin hilihydraatteja, jottei harjoitteluteho kärsi. Urheilijan ei tulisi rajoittaa rasvan saantia alle 20 E% muuten kuin väliaikaisesti, sillä liian vähäinen rasvansaanti voi vaarantaa normaalin hormonitoiminnan, riittävän rasvaliukoisten vitamiinien ja välttämättömien rasvahappojen saannin (Thomas ym. 2016).

4 ENERGIA-AINEENVAIHDUNTA

Jokainen ihmisen solu tarvitsee energiaa (Sand ym. 2012). Kaikkien solujen energianlähde on adenosiinitrifosfaatti eli ATP. ATP:ta tuotetaan energiavarainaineista erilaisilla energiantuottoreiteillä. Energiantuotto on aerobista tai anaerobista. Erotuksena näissä on se, että aerobisessa energiantuotossa happea on saatavilla, mutta anaerobisessa ei.

Energiantuoton lisäksi energiaa saadaan elimistön välittömistä energianlähteistä (Sand ym. 2012). Välittömiä energianlähteitä ovat ATP ja kreatiinifosfaatti.

4.1 ATP ja kreatiinifosfaatti

ATP ja kreatiinifosfaatti ovat fosfaattisidoksia sisältäviä yhdisteitä (Aro ym. 2012). Fosfaattisidokset sisältävät energiaa, joka vapautuu niiden purkautuessa. ATP on kaikkien solujen energianlähde, ja kreatiinifosfaatti lihasolujen yksi energiavarasto (Sand ym. 2012). Kreatiinifosfaatista saadaan ATP:ta sitä purkamalla. ATP- ja kreatiinifosfaattivarastot ovat pienet ja niistä riittää energiaa vain muutamiksi sekunneiksi (Aro ym. 2012).

4.2 Aerobinen energiantuotto

Aerobisessa energiantuotossa energiaa tuotetaan glukoosista tai rasvahapoista (Aro ym. 2012). Glukoosiksi voidaan muokata myös proteiinien aminohappoja tai triglyseridien glyserolirunkoja, joten niitäkin voidaan näin käyttää energianlähteenä (Sand ym. 2012).

Glukoosissa oleva energia muokataan ATP:ksi glykolyysissa, sitruunahappokierrossa, elektroninsiirtoketjussa ja oksidatiivisessa fosforylaatioissa. Glykolyysi tapahtuu solun solulimassa. Sitruunahappokierto, elektroninsiirtoketju ja oksidatiivinen fosforylaatio tapahtuvat mitokondriossa. Glykolyysissä glukoosi hajoaa kahdeksi palorypälehappomolekyyliksi. Palorypälehappomolekyylit hapettuvat ja reaktioon osallistuvat koentsyymit pelkistyvät. Reaktiosarjan kautta syntyy kaksi ATP-molekyyliä.

Palorypälehappomolekyylit siirtyvät mitokondrion sisälle sitruunahappokiertoon (Sand ym. 2012). Sitruunahappokierrossa syntyy asetyyli-koentsyymi A-molekyylejä, hiilidioksidia, pelkistyneitä koentsyymejä ja kaksi ATP-molekyyliä. Sitruunahappokiertoa seuraa elektroninsiirtoketju ja oksidatiivinen fosforylaatio, jossa pelkistyneet koentsyymit hapettuvat ja syntyy ATP:ta. Elektroninsiirtoketjun viimeisessä vaiheessa happi vastaanottaa ketjussa siirtyneet elektronit. Hapen läsnäolo on välttämätöntä elektroninsiirtoketjulle, sillä ilman sitä ketju pysähtyy. Kokonaisuudessaan glykolyysin, sitruunahappokierron, elektroninsiirtoketjun ja oksidatiivisen fosforylaation seurauksena syntyy 36 ATP-molekyyliä.

Rasvahappojen energiasta saadaan ATP:ta samankaltaisen reitin kautta kuin glukoosista (Heino ja Vuento 2014). Rasvahappoja ei kuitenkaan käsitellä glykolyysissa vaan beetaoksidaationimisessä reaktiosarjassa. Beetaoksidaatioissa rasvahappo lyhenee ja lopulta syntyy asetyyli-koentsyymi A-molekyylejä. Tämän jälkeen asetyyli-koentsyymi A-molekyylit jatkavat samaa energiareittiä kuin glukoosista peräisin olevat asetyyli-koentsyymi A-molekyylit.

4.3 Anaerobinen energiantuotto

Anaerobisesti energiaa voidaan tuottaa ainoastaan glukoosista (Aro ym. 2012). Energiantuotto alkaa glykolyysillä kuten aerobisissa olosuhteissa (Sand ym. 2012).

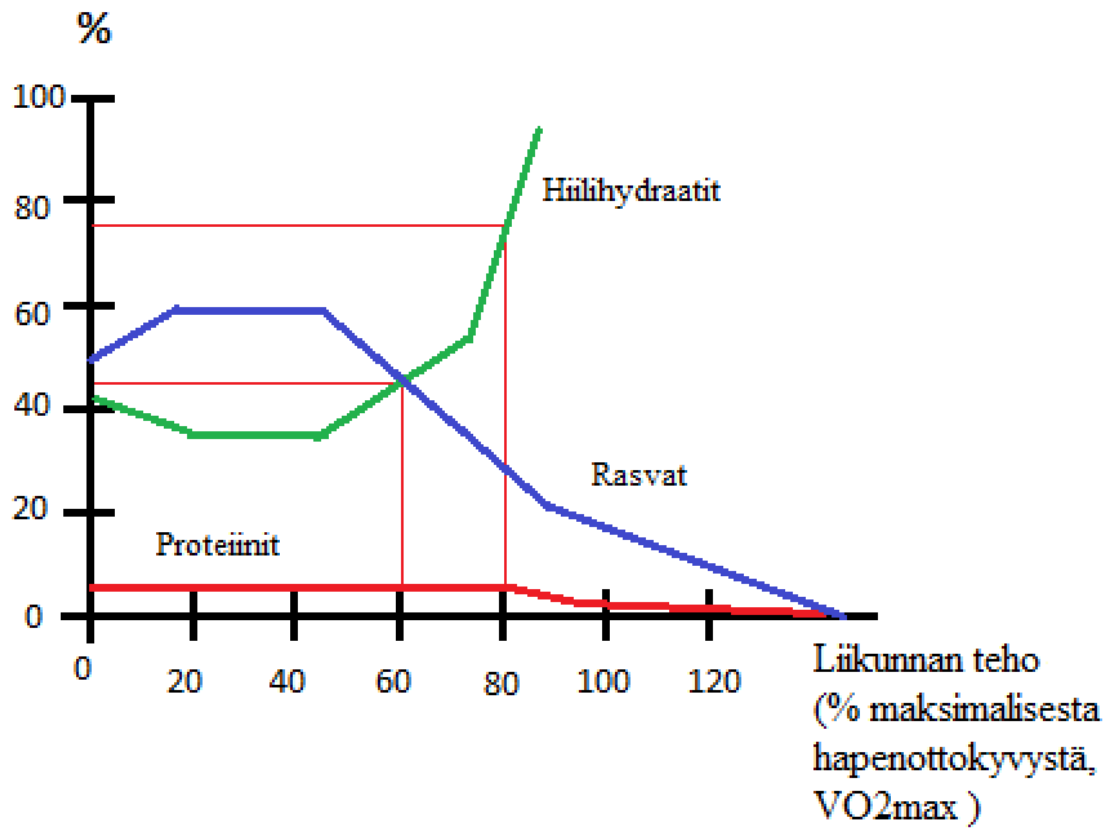
Palorypälehappomolekyylit eivät kuitenkaan jatka glykolyysin jälkeen sitruunahappokiertoon vaan ne pelkistyvät maitohapoksi eli laktaatiksi. Yhden glukoosimolekyylin hajotessa maitohapoksi syntyy kolme ATP:ta (Aro ym. 2012). Lihaksessa maitohappo kertyy lihakseen ja heikentää lihaksen supistumiskykyä. Maitohappo kulkeutuu maksaan, jossa se muokataan uudelleen pyruvaatiksi ja edelleen ATP:ksi (Heino ja Vuento 2014).

4.4 Energiantuotto kestävyysurheilussa

Kestävyysurheilun alussa, kun sydän- ja verenkiertoelimistö ei ole vielä sopeutunut urheilun aloittamiseen, energiaa saadaan ATP:sta, kreatiinfosfaatista ja anaerobisesti glykolyysillä (Lanham-New ym. 2011). Hapenoton tehostuttua ja sydän- ja verenkiertoelimistön sopeuduttua urheilun aloittamiseen tuotetaan energiaa rasvoista ja hiilihydraateista aerobisesti (Aro ym. 2012). Urheiltaessa alle 65 % teholla maksimaalisesta hapenottokyvystä tuotetaan energiaa rasvoista. Rasvahappoja vapautuu rasvakudoksesta verenkiertoon josta lihassolut ottavat niitä. Myös lipoproteiinien triglyseridejä käytetään energiantuottoon. Rasvojen ohella lihaskudoksessa käytetään energiaksi kuitenkin myös hiilihydraatteja. Verenkierrassa rasvahapot ovat kiinnittyneenä albumiiniin, joka on rajoittava tekijä niiden hyödynnettävyydessä ja rasvahapot voivat muodostaa korkeintaan 60 % lihaskudoksen energiantuotosta.

Liikunnan tehon kasvaessa rasvojen käyttö energiantuotossa vähenee ja hiilihydraattien kasvaa (Aro ym. 2012). Vaikka lipolyysi on aktiivinen urheiltaessa 65 % teholla maksimaalisesta hapenottokyvystä, inhiboituu rasvahappojen oksidaatio (Lanham-New ym. 2011). Inhiboituminen johtuu vähentyneestä verenvirtauksesta rasvakudokseen, jolloin rasvahappoja ei pääse siirtymään verenkiertoon rasvakudoksesta. Liikunnan tehon nousu tuottaa myös maitohappoa jonka kohonnut pitoisuus lihaskudoksessa saa aikaan rasvahappojen esteröitymisen takaisin triglyserideiksi.

Liikunnan tehon ollessa yli 65 % maksimaalisesta hapenottokyvystä glukoosin käyttö energiaksi lisääntyy (Aro ym. 2012). Tehon ollessa 80-90 % maksimaalisesta hapenottokyvystä on glukoosi lihaskudoksen tärkein energianlähde. Energiaravintoaineiden suhteellisia osuuksia energiantuotossa liikunnan aikana on havainnollistettu kuvassa 1.



Kuva 1 Energiaravintoaineiden suhteelliset osuudet energiantuotossa liikunnan aikana (Mukailtu UKK-instituutti 2006)

5 HIILIHYDRAATTI- JA RASVA-AINEENVAIHDUNNAN MANIPULAATIO

5.1 Määritelmä

Kestävyysurheiluun laaditut ravitsemussuositukset ovat pitkään suosittelleet urheilijoille runsashiilihydraattista ruokavaliota (Hawley ja Burke 2010). Suositusten mukaan hiilihydraatit ovat aivojen ja keskushermoston tärkein energianlähde ja glykogeeneilla on tärkeitä vaikutuksia harjoitusadaptaatioon. Glykogeenevarastojen tilavuuden pieneneminen on yhdistetty urheilijan kokemaan uupumuksen tunteeseen (Lambert ym. 1997, Lanham-New ym. 2011).

Kestävyysurheilu saa aikaan elimistössä harjoitusadaptaation, jonka seurauksena maksimaalinen hapenottokyky kasvaa, uupumiseen kuluva aika pitenee ja hiussuonien sekä mitokondrioiden määrä kasvaa (Hansen ym. 2005). Mitokondrioiden entsyymien, kuten 3-hydroksiasyylikoentyymin A dehydrogenaasin (HAD) ja sitraattisyntaasin (CS), aktiivisuus kasvaa sekä kuljettajaproteiinien ja glykogeenin pitoisuudet nousevat. Näiden muutosten seurauksena mitokondrioiden kyky hapettaa rasvaa tehostuu. Muutosten tapahtuminen edellyttää geeniekspressiota ja liikunta aikaansaa monien geenien transkription. Myös glykogeenin on todettu olevan määrittävä tekijä joidenkin adaptaatioissa tarvittavien geenien transkriptiolle.

Hansen ym. 2005 tekemässä tutkimuksessa havaittiin, että matalilla glykogeenevarastoilla harjoiteltaessa saatiin suurempia muutoksia harjoitusadaptaatioissa verrattaessa korkeilla glykogeenevarastoilla harjoiteltaessa. Tutkimuksessa seitsemän miestä, joilla ei ollut aiempaa harjoitustaustaa tekivät reiden loitunnusliikettä molemmilla jaloilla. Ensimmäisenä päivänä harjoiteltiin molemmilla jaloilla ensin tunti, jota seurasi kahden tunnin paasto, jonka jälkeen harjoiteltiin vain toisella jalalla. Seuraavana päivänä harjoiteltiin vain toisella jalalla toisen levätessä. Tällä tähdättiin siihen, että toista jalkaa harjoitettiin aina täysillä glykogeenevarastoilla, kun taas toista jalkaa harjoitettiin yksi harjoitus täysillä glykogeenevarastoilla ja toinen harjoitus matalilla glykogeenevarastoilla. Molemmilla jaloilla oli sama työkuorma ja harjoitusmäärä. Tutkimuksen tuloksissa havaittiin, että molempien jalkojen maksimaalinen voimantuotto kasvoi yhtä paljon, sen sijaan uupumiseen kuluva aika submaksimaalisessa voimantuotossa kasvoi merkittävästi ainoastaan jalalla, joka teki harjoituksia matalilla glykogeenevarastoilla. Mitokondrioiden ensyymeistä HAD:n pitoisuus lisääntyi ainoastaan matalilla glykogeenevarastoilla harjoitetussa jalassa, kun taas sitraattisyntaasin aktiivisuus lisääntyi molemmissa jaloissa. Lisäksi lihasglykogeenin pitoisuudet levossa kasvoivat merkitsevästi ainoastaan matalilla glykogeenevarastoilla harjoitetussa jalassa (Hansen ym. 2005).

Edellä mainitun tutkimuksen pohjalta Hansen ja kumppanit esittelivät käsitteen train low-competite high (Hansen ym. 2005). Lukuisten tutkimusten mukaan matala lihasglykokeenipitoisuus on suoritusta rajoittava tekijä, mutta se voisi parantaa harjoitusadaptaatiota (Hansen ym. 2005). Käytännössä train low-competite high tarkoittaa, että kaikki tai osa harjoituksista suoritetaan matalilla glykokeenivarastoilla, mutta tärkeimmät harjoitukset ja kilpailut suoritetaan korkeilla glykokeenivarastoilla (Burke 2010). Käsite ei tarkoita, että hiilihydraattien kokonaissaantia rajoitettaisiin, vaan sitä, että ne jaettaisiin eri tavalla harjoitusten ympärille. Keinoja, joilla hiilihydraattien saatavuutta voidaan vähentää train low-competite high –metodissa, on esitelty taulukossa 1. Osa menetelmistä tähtää endogeenisten eli kehon omien hiilihydraattivarastojen, kuten glykokeenin, vähenemiseen, ja osa eksogeenisten, eli ravinnosta saatavien hiilihydraattien, saatavuuden rajoittamiseen.

Tässä työssä keskitytään ainoastaan tiettyihin metodeihin, joita ovat harjoittelu yöpaaston jälkeen, harjoittelu kahdesti päivässä ja kroonisesti matalahiilihydraattinen ruokavalio. Muita metodeita ei tässä työssä käsitellä, koska niistä on hyvin vähän tai ei ollenkaan tutkimusnäyttöä.

Taulukko 1 Yhteenveto keinoista, joilla hiilihydraattien saatavuutta voidaan vähentää train low-competete high –metodissa (Muokattu Burke 2010).

Metodi	Tarkennukset	Seuraukset
Kroonisesti matala hiilihydraattinen ruokavalio		Endogeenisen ja eksogeenisen hiilihydraatin saatavuuden väheneminen kaikissa harjoituksissa
Harjoittelu kahdesti päivässä	Ensimmäinen harjoitus täysillä glykokeenivarastoilla, ennen toista harjoitusta hiilihydraattien saantia rajoitetaan ja toinen harjoitus suoritetaan matalilla glykokeenivarastoilla	Endogeenisen ja eksogeenisen hiilihydraatin saatavuuden väheneminen toisessa harjoituksessa
Harjoittelu yöpaaston jälkeen ns. sleep low –metodi	Ennen harjoittelua ei nautita aamupalaa	Eksogeenisen hiilihydraatin saatavuuden väheneminen tiettyyn harjoitukseen Mahdollisesti endogeenisen hiilihydraatin saatavuuden väheneminen, jos ennen yöpaastoa on harjoiteltu ja glykokeenivarastoja ei ole täytetty
Pitkitetty harjoitus ilman hiilihydraattien nauttimista harjoituksen aikana	Harjoitus on keskimääräistä harjoitusta pidempi	Eksogeenisen hiilihydraatin saatavuuden väheneminen tiettyyn harjoitukseen
Pitkitetty harjoitus yöpaaston jälkeen ilman hiilihydraatteja harjoituksen aikana	Harjoitus on keskimääräistä harjoitusta pidempi ja sitä ennen ei nautita aamupalaa	Eksogeenisen hiilihydraatin saatavuuden väheneminen tiettyyn harjoitukseen
Pitkitetty harjoitus yöpaaston jälkeen ja hiilihydraattien nauttiminen harjoituksen aikana	Harjoitus on keskimääräistä harjoitusta pidempi ja sitä ennen ei nautita aamupalaa	Eksogeenisen hiilihydraatin saatavuuden väheneminen tiettyyn harjoitukseen
Hiilihydraattien rajoittaminen ensimmäisten tuntien aikana harjoituksen jälkeen	Harjoittelun jälkeen ei nautita hiilihydraatteja	Endogeenisen ja eksogeenisen hiilihydraatin hyvä saatavuus harjoituksen aikana

5.2 Harjoittelu yöpaaston jälkeen

Edellä mainitussa Hansenin ja kumppaneiden tutkimuksessa tutkittavat olivat ennestään harjoittelemattomia miehiä ja harjoitusohjelma jonka tutkittavat suorittivat ei sisältänyt kestävyysharjoittelua (Hansen ym. 2005). Sen sijaan Marquet ym. 2016a tekemässä tutkimuksessa tutkittiin nimenomaan kestävyysurheilijoita. Tutkittavina oli 21 triathlonistimiestä, joilla oli kilpailutaustaa vähintään kaksi vuotta ja he harjoittelivat viikossa vähintään kymmenen tuntia. Tarkoituksena oli selvittää mitä vaikutuksia kroonisella sleep low –metodilla olisi kestävyysurheilusuoritukseen. Sleep low kuuluu train low-compet high –metodeihin (esitely taulukossa 1) ja sillä tarkoitetaan kovatehoisen harjoituksen tekemistä illalla, jonka jälkeen nukutaan matalilla glykogeenivarastoilla. Yöpaaston jälkeen suoritetaan aamulla kevyt harjoitus ennen aamupalan nauttimista.

Tutkimuksessa tutkittavat jaettiin satunnaisesti kahteen ryhmään, sleep low –ryhmään (SL) ja kontrolliryhmään (CON) (Marquet ym. 2016a). Molemmat ryhmät suorittivat kuuden viikon mittaisen ohjatun harjoitusjakson, joka oli jaettu kahteen kolmen viikon osioon. Ensimmäisten kolmen viikon aikana tutkittavat noudattivat normaalia harjoitusohjelmaansa, joka sisälsi juoksua, pyöräilyä ja uintia. Kolmen viikon jälkeen harjoittelu muuttui ja molemmat ryhmät suorittivat saman harjoitusohjelman, mutta erilaisilla ruokavalioilla. SL-ryhmä suoritti korkeatehoisen harjoituksen (HIT), joka sisälsi 8*5 minuuttia pyöräilyä 85% maksimaalisella aerobisella teholla (MAP) tai 6*5 min juoksua tutkittavien omalla kymmenen kilometrin tuntivauhdilla ja yhden minuutin palautuksilla. Korkeatehoinen harjoitus tyhjänsi glykogeenivarastot noin puoleen. Harjoituksen jälkeen SL-ryhmä ei nauttinut hiilihydraatteja loppupäivänä. Aamulla oli toinen harjoitus (LIT) joka suoritettiin yöpaaston jälkeen. Aamun harjoitus oli matalatehoinen, kestoltaan 65 minuuttia ja se suoritettiin 65 % teholla maksimaalisesta aerobisesta tehosta. Kontrolliryhmä teki samat harjoitukset mutta ilman hiilihydraattirajoitusta korkeatehoisen harjoituksen jälkeen ja matalatehoista harjoitusta ei tehty yöpaaston jälkeen. Tutkittavien hiilihydraattien saatavuus pidettiin korkeana harjoituksissa nauttimalla 6% hiilihydraattijuomaa. Korkeatehoisia ja matalatehoisia harjoituspäiviä oli viikossa neljä ja muina päivinä tutkittavat suorittivat matalatehoisia harjoituksia täyttääkseen viikoittaisen harjoittelutuntimääränsä. Molemmat ryhmät nauttivat saman verran hiilihydraatteja, ainoastaan hiilihydraattien ajoitus vaihteli. Riittävä proteiinin saanti varmistettiin molemmilla ryhmillä nauttimalla proteiinijuomaa ennen nukkumista. Molemmat ryhmät pitivät ruokapäiväkirjaa viikon ajan ensimmäisen kolmen viikon ajan ja koko harjoitus-ruokavaliointervention ajan.

Harjoitus-ruokavaliointervention vaikutukset kestävyysurheilusuoritukseen testattiin liikuntatesteillä (Marquet ym. 2016a). Kaikki testit tehtiin ennen kuuden viikon harjoitusohjelman alkamista, juuri ennen harjoitus-ruokavaliointiventtiota ja heti sen jälkeen. Kaikki testit tehtiin ravitussa tilassa. Testejä oli kolme, joista kaksi tehtiin laboratorioissa ja yksi sen ulkopuolella. Ensimmäinen testi oli teholtaan submaksimaalinen, jossa arvioitiin pyöräilytehokkuutta. Testin alussa pyöräiltiin kuusi minuuttia 100 watin teholla jonka jälkeen pyöräiltiin kuusi minuuttia 70 % teholla maksimaalisesta aerobisesta tehosta. Toisena testinä oli supramaksimaalinen testi, joka alkoi submaksimaalisella 3 minuutin osuudella jonka jälkeen maksimaalinen aerobinen teho nostettiin 150 %:iin. Tutkittavien tuli polkea tällä teholla niin pitkään kuin jaksoivat ja testi loppui, kun polkimien pyöritysnopeus putosi alle 70 kierroksen minuutissa. Kolmannen testin tarkoituksena oli simuloida triathlon kisaa. Testi alkoi 40 minuutin pyöräilyllä 70 % teholla maksimaalisesta aerobisesta tehosta, jota seurasi 10 kilometrin juoksu. Testin aikana tutkittavien annettiin halutessaan juoda hiilihydraattipitoista urheilujuomaa. Ryhmien välillä ei ollut eroa juomisen määrässä.

Tutkittavilla tehtiin kehonkoostumusanalyysi ennen ja jälkeen harjoitus-ruokavaliointervention sekä kerättiin verinäytteitä yöpaaston jälkeen viitenä kertana.

Tuloksissa tutkittavaryhmien energiansaanti ja hiilihydraattimäärät eivät eronneet toisistaan ja kaikki tutkittavat olivat sitoutuneet tutkimuksen ruokavaliioon (Marquet ym. 2016a). Liikuntatesteissä SL-ryhmä paransi 10 kilometrin juoksuaikaansa, kontrolliryhmällä ei havaittu muutosta. Submaksimaalissa testissä SL-ryhmän tehon muutos kasvoi merkittävästi enemmän. Rasvamassa laski SL-ryhmällä, mutta ei lihassmassa. Johtopäätöksinä tutkimuksesta saatiin, että lyhytaikainen ruokavaliion hiilihydraatin jaksotus tiettyjen harjoitusten ympärillä edisti merkittävästi pyöräilyn tehokkuutta submaksimaalisella teholla, supramaksimaalista pyöräilykapasiteettia ja 10 kilometrin juoksuaikaa.

Marquet ym. tekivät vuonna 2016 toisenkin tutkimuksen, jossa tutkittiin sleep low –metodia. Tässä tutkimuksessa tutkimusaika oli viikon ja tutkittavina oli 11 pyöräilijää. Ennen tutkimuksen alkua tutkittaville tehtiin liikuntatesti, jossa mitattiin heidän maksimaalinen hapenottokykynsä nousujohteisella pyöräilyllä pyöräergometrillä. Tutkimuksen ensimmäiset kaksi viikkoa tutkittavat harjoittelivat oman normaalin harjoitteluohjelmansa mukaan. Tämän jälkeen heidät jaettiin satunnaisesti kahteen eri ryhmään, jotka molemmat noudattivat samaa harjoitteluohjelmaa viikon ajan erilaisilla ruokavalioidilla. Molempien ryhmien ruokavaliioihin kuului saman verran hiilihydraatteja (6 g/kg/vrk), mutta ne nautittiin erilaisella ajoituksella. Harjoitusohjelmaan kuului korkeatehoinen harjoitus (HIT), joka suoritettiin illalla ja matalatehoinen harjoitus (LIT), joka suoritettiin aamulla. Molempia harjoituksia oli viikon

aikana kolme, aina peräkkäisinä päivinä. Harjoitukset olivat samanlaiset kuin aiemmin esitellyssä tutkimuksessa, jossa sleep low –metodia toteutettiin kolme viikkoa (Marquet ym. 2016a). Toinen ryhmistä (SL, sleep low) nautti kaikki päivän hiilihydraattinsa ennen korkeatehoista harjoitusta ja paastosi yön yli ja suoritti aamun harjoituksen nauttimatta ruokaa. Toisen ryhmän (CON, kontrolli) hiilihydraattien saanti oli jaettu tasaisesti ympäri päivää ja harjoitusten aikana he nauttivat urheilujuomaa.

Tutkittavat suorittivat liikuntatestit kolme kertaa, ensimmäisen kerran ennen kahden viikon totuttelujaksoa, toisen kerran totuttelujakson jälkeen ja kolmannen kerran ruokavalioharjoitusintervention jälkeen (Marquet ym. 2016b). Tehtäviä testejä oli kaksi, joista toinen koostui kymmenen minuutin alkulämmittelystä, jota seurasi 110 minuutin mittainen pyöräily 60 % teholla maksimaalisesta aerobisesta tehosta. Testistä mitattiin hiilihydraattien ja rasvan oksidaation arvot, sydämen syke ja hengitysosamäärä. Testin aikana otettiin kolme verinäytettä, joista mitattiin glyserolin ja vapaiden rasvahappojen määrät sekä adrenaliinin ja noradrenaliinin pitoisuudet. 120 minuutin pyöräilyä seurasi 20 kilometrin aika-ajo. Aika-ajon aikana tutkittavat saivat nauttia urheilujuomaa. Testin aikana mitattiin sydämen syke ja tutkittavat itseraportoivat kokemansa kuormittavuuden tunteen. Aika-ajossa mitattiin lisäksi siihen kulunut aika, keskivoima, keskinopeus ja vauhdin rytmitys. Tutkimuksen aikana myös tutkittavien kehonkoostumus analysoitiin.

Tuloksissa havaittiin, että ryhmien välillä ei ollut eroa nautittujen hiilihydraattien määrissä. Aika-ajon tulos parani kaikilla SL-ryhmän tutkittavilla. Kontrolliryhmällä ei havaittu eroja aika-ajon tuloksissa. Ryhmien välillä ei havaittu eroja tutkittavien kokeman kuormituksen tunteen suhteen aika-ajossa. Hiilihydraattien tai rasvan oksidaatiossa, vapaiden rasvahappojen ja glyserolin määrissä ei havaittu eroja. Katekoliamiinien pitoisuuksissa ei havaittu eroja. Rasvamassa väheni merkitsevästi vain SL-ryhmällä.

Molemmissa tutkimuksissa havaittu suorituksen parantuminen on suhteessa saman suuruinen, vaikka interventioiden pituus oli erilainen (Marquet ym. 2016a). Tämä voisi tarkoittaa, että suorituksen parantumiseen riittäisi lyhytkin altistumisaika sleep low –metodille. Kuitenkaan jälkimmäisessä tutkimuksessa ei havaittu lainkaan metabolisia muutoksia, joten suorituksen parantuminen voi tutkimuksissa johtua eri syistä.

Lane ja kumppanit tutkivat vuonna 2015 akuutteja vaikutuksia harjoiteltaessa yöpaaston jälkeen. Tutkittavina oli seitsemän pyöräilyssä kilpailevaa miestä ja tutkimusasetelmana vaihtovuorokoe. Ensimmäisessä kokeessa tutkittavat tekivät korkeatehoisen harjoituksen, jota ennen he nauttivat koko päivän energian sisältäen hiilihydraatit. Harjoituksen jälkeen tutkittavat

eivät nauttineet ruokaa ja paastosivat yön yli. Seuraavana aamuna tutkittavat pyöräilivät 120 minuuttia tasaisella vauhdilla. Toisessa kokeessa samat tutkittavat suorittivat samat harjoitukset, mutta energian- ja hiilihydraattien saannin ajoitus vaihteli. Ennen korkeatehoista harjoitusta tutkittavat nauttivat puolet päivän energiansaannista ja toisen puolen heti korkeatehoisen harjoituksen jälkeen. Tämän jälkeen he paastosivat yön yli ja suorittivat aamuharjoituksen ilman aamupalaa. Korkeatehoinen harjoitus tyhjensi glykogeenivarastot puoleen. Molemmissa kokeissa tutkittavat nauttivat aamuharjoituksen jälkeen aamupalan ja nukkuivat harjoitustenvälisen yön laboratoriossa. Energian-, hiilihydraattien-, proteiinin- ja rasvan saanti ei eronnut kokeiden ruokavaloissa.

Kaksi viikkoa ennen ensimmäistä koetta tutkittavat suorittivat polkupyöräergometrillä nousujohteisen, uupumukseen asti kestävän testin (Lane ym. 2015). Testissä mitattiin tutkittavien hapenkulutusta, hiilidioksidin tuottoa ja hengitysosamäärää. Maksimaaliseksi hapenotoksi määritettiin tutkittavan suurin hapenottomäärä testin aikana. Korkeimmaksi tehoksi määritettiin tutkittavan viimeinen suoritettu työvastus, johon lisättiin tutkittavan pyöräilemä aika ei-suoritetulla vastuksella.

Korkeatehoisessa harjoituksessa tutkittavat pyöräilivät polkupyöräergometrillä 8*5 minuuttia 82,5 % teholla maksimaalisesta tehosta (Lane ym. 2015). Viiden minuutin suoritusten välissä oli minuutin palautus, joka tehtiin 100 watin teholla. Harjoituksen aikana mitattiin sydämen sykettä ja tutkittavat itseraportoivat kokemansa kuormittavuuden. 120 minuutin harjoituksessa tutkittavat pyöräilivät noin 60 % teholla hapenottokyvyn huippuarvosta. Harjoituksessa mitattiin hengitysosamäärä, sydämensyke ja kuormittavuus. Hengitystiedoista laskettiin hiilihydraattien ja rasvan oksidaatioiden arvot (g/min).

Tutkittavilta otettiin tutkimuksen aikana 17 verinäytettä ja viisi lihasbiopsiaa (Lane ym. 2015). Verinäytteistä tutkittiin plasman insuliini, katekoliamiinien pitoisuudet ja vapaat rasvahapot. Lihasbiopsioista tutkittiin geeniekspressiota ja harjoitusadaptaatioon liittyvien proteiinien ja lihasglykogeenin määrää.

Kummassakaan harjoituksessa ei havaittu eroja sydämen sykkeessä tai kuormittavuuden tunteessa (Lane ym. 2015). Sen sijaan lihasglykogeenin pitoisuus oli korkeampi kaikissa korkeatehoisen harjoituksen jälkeen otetuissa lihasbiopsioissa, kun harjoituksen jälkeen oli nautittu ruokaa. Harjoitusten jälkeen nautittu aamupala nosti glykogeenivarastojen pitoisuutta yhtä paljon. Jotkin signaaliproteiinien ja lipolyysin ja kuljettajaproteiinien määrät näyttivät nousevan, kun hiilihydraattien saantia oli rajoitettu, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Mitokondrion biogeneesiin vaikuttavia proteiinien aktivaatiota ei havaittu.

Taulukko 2 Yhteenvedo sleep low –metodia tutkineista kokeellisista tutkimuksista.

Tutkimus	Otos ja laji	Kesto ja tutkimusasetelma	Tutkimusprotokolla	Liikuntatesti	Päämuuttuja
Marquet ym. 2016a	n=21 triathlon	3+3 viikkoa RCT	Ensimmäiset kolme viikkoa: normaalia harjoittelua (10-15h viikko) Toiset kolme viikkoa: 3*HIT, 3*LIT, neljän päivän aikana	1. nousujohteinen pyöräily uupumukseen asti: 100 W+25 W lisäys 2 min jälkeen 2. submaksimaalinen testi: 6 min 100 W + 6 min 70 % MAP:ista 3. supramaksimaalinen testi: 70s 150 % MAP:ista 4. Triathlonkisan simulaatio: 40 min pyöräily 70 % MAP:ista + 10km aikajuoksu	Pyöräilytehokkuus submaksimaalisella teholla, pyöräilykapasiteetti supramaksimaalisella teholla ja 10km juoksu-aika parani.
Lane ym. 2015	n=7 pyöräily	2 päivää Vaihtovuoroasetelma	1*HIT, 1*120SS	A: nousujohteinen pyöräily uupumukseen asti L: HIT ja 120SS	Sydämen sykkeessä tai koetussa uupumukseen tunteessa ei havaittu eroja. Mitokondrioiden biogeneesi ei lisääntynyt. Signaali-, lipolyysi- ja kuljettajaproteiinien määrä näytti nousevan, ero ei merkitsevä.
Marquet ym. 2016b	n=11 pyöräily	1 viikko Kontrolloitu interventio tutkimus	3*HIT, 3*LIT, kuuden päivän aikana	2h pyöräily 60% MAP + 20km aika-ajo	Aika-ajon tulos parani, rasvamassa väheni merkitsevästi, ei havaittu metabolisia muutoksia

RCT: randomized controlled trial eli randomoitu, kontrolloitu interventiotutkimus; **HIT:** high intensity training eli korkeatehoinen harjoitus; **LIT:** light intensity training eli matalatehoinen harjoitus; **120SS:** 120 min steady state ride eli tasavauhtinen pyöräily; **MAP:** maximal aerobic power eli maksimaalinen aerobinen teho

5.3 Harjoittelu kaksi kertaa vuorokaudessa

Train low-competete high –metodin tutkiminen aloitettiin tekemällä tutkimuksia, joissa harjoiteltiin kaksi kertaa vuorokaudessa, jolloin ne muistuttivat Hansenin ym. muiden tekemää tutkimusta vuonna 2005 (Lane ym. 2015). Hansenin ja kumppaneiden tutkimuksissa tutkittavat olivat kuitenkin ennestään harjoittelemattomia ja harjoitusohje lma ei sisältänyt kestävyysurheilua. Sen sijaan vuonna 2008 julkaistussa tutkimuksessa, jossa tutkittiin harjoittelua kahdesti päivässä, tutkittavat olivat kestävyysurheilua harrastavia pyöräilijöitä ja triathlonisteja ja harjoitusohjelmassa vuorottelivat korkeatehoiset ja tasavauhtiset harjoitukset (Yeo ym. 2008). Tutkimuksessa 14 tutkittavaa jaettiin kahteen ryhmään, joista toinen suoritti yhden harjoituksen joka päivä ja toinen kaksi harjoitusta päivässä. Yhden harjoituksen päivässä suorittanut ryhmä suoritti kaikki harjoitukset täysillä lihaglykokeenivarastoilla. Kaksi harjoitusta päivässä suorittanut ryhmä suoritti päivän ensimmäisen harjoituksen täysillä glykokeenivarastoilla ja toisen vajailla varastoilla.

Harjoituksia oli kahdenlaisia, jotka suoritettiin vuorotellen (Yeo ym. 2008). Ensimmäinen harjoitus oli 100 minuutin tasavauhtinen pyöräily 70 % teholla hapenottokyvyn huippuarvosta (AT). Toinen harjoitus oli korkeatehoinen harjoitus (HIT) joka koostui 8*5 minuutin osioista maksimaalisella teholla ja minuutin palautuksilla. Hapenottokyvyn huippuarvo määritettiin ennen interventiota nousujohteisella uupumukseen asti kestäväällä pyöräilytestillä. Kahdesti päivässä harjoitelleella ryhmällä oli harjoitusten välissä tunti aikaa ja kerran päivässä harjoitelleella ryhmällä vuorokausi. Intervention loppumisen jälkeen kaikki tutkittavat suorittivat liikuntatestin, joka koostui 60 minuutin tasavauhtisesta pyöräilystä 70 % teholla hapenottokyvyn huippuarvosta ja sitä seuranneesta 60 minuutin aika-ajosta. Tutkimuksessa mitattiin suorituskykyä, rasvan oksidaatiota ja harjoitusadaptaatioon liittyvien mitokondrionaalisten entsyymien ja signaaliproteiinien (HAD ja CS) määrää.

Tutkimuksen mukaan korkeatehoinen suorituskyky kärsi intervention seurauksena kahdesti päivässä harjoitelleella ryhmällä (Yeo ym. 2008). Ero oli kuitenkin merkitsevä vain intervention ensimmäisellä viikolla. 60 minuutin aika-ajon tulokset paranivat molemmilla ryhmillä, mutta ero ryhmien välillä ei ollut merkitsevä. 3 viikon intervention jälkeen lihaglykokeenin pitoisuus kasvoi merkitsevästi ainoastaan kahdesti päivässä harjoitelleella ryhmällä. Rasvan oksidaatio näytti tehostuvan tällä ryhmällä. Sitraattisyntaasin määrä oli merkitsevästi suurempi intervention jälkeen ryhmällä, joka harjoitteli kahdesti päivässä, kuin kerran päivässä harjoitelleella ryhmällä, jolla sen määrä ei muuttunut. HAD:in määrä kasvoi

merkitsevästi, kun harjoiteltiin kahdesti päivässä. Mitokondrionaalisen DNA:n määrässä ei havaittu muutoksia kummallakaan ryhmällä.

Kahdesti päivässä harjoittelun akuutteja vaikutuksia tutkittiin tutkimuksessa, jossa 12 tutkittavaa jaettiin kahteen ryhmään, joista toinen harjoitteli kahdesti päivässä ja toinen peräkkäisinä päivinä (Yeo ym. 2010). Harjoitukset olivat samanlaisia kuin Yeon ja kumppaneideiden vuonna 2008 tekemässä tutkimuksessa. Toisella ryhmällä harjoitusten välissä oli 24 tuntia ja molemmat harjoitukset suoritettiin täysillä glykogeenivarastoilla. Toisella ryhmällä harjoitusten välinen aika oli 1-2h, ja toinen harjoitus suoritettiin matalilla glykogeenivarastoilla.

Ennen interventiota tutkittavat suorittivat nousujohteisen pyöräilytestin, jossa määritettiin heidän hapenottokykynsä huippuarvo (Yeo ym. 2010). Hapenottokyvyn huippuarvoa käytettiin intervention harjoitusten tehon säätämisessä. Intervention aikana tutkittavilta otettiin lihasbiopsiat, joista määritettiin lihasglykogeenin ja mitokondrionaalisten, harjoitusadaptaatioon liittyvien entsyymien määrä.

Tutkimuksen tuloksissa havaittiin, että tutkittavien itse valitsema teho kovatehoisessa harjoituksessa oli merkitsevästi matalampi, kun harjoitus suoritettiin matalilla glykogeenivarastoilla (Yeo ym. 2010). Mitokondrionaalisissa entsyymeissä ei havaittu merkitseviä eroja ryhmien välillä.

Hulston ym. tekivät vuonna 2010 samankaltaisen tutkimuksen kuin Yeo ja kumppanit vuonna 2008. 14 pyöräilijää jaettiin satunnaisesti 2 ryhmään joista toinen harjoitteli 2 kertaa päivässä ja toinen kerran päivässä peräkkäisinä päivinä. Tutkimuksen kesto oli 3 viikkoa ja harjoituksina oli korkeatehoinen harjoitus (HIT) ja tasavauhtinen harjoitus (AT). Korkeatehoinen harjoitus oli samanlainen kuin Yeon ym. tutkimuksessa, mutta tasavauhtinen harjoitus kesti 90 minuuttia. Ennen interventiota tutkittavat suorittivat nousujohteisen uupumukseen asti kestävän pyöräilyn ja 60 minuutin aika-ajon erillisillä kerroilla. Intervention jälkeen tutkittavat suorittivat 60 minuutin tasavauhtisen pyöräilyn, jota seurasi 60 minuutin aika-ajo.

Tulosten mukaan korkeatehoisen harjoituksen itse valittu teho kasvoi intervention seurauksena, mutta ryhmien välillä ei ollut eroa (Hulston ym. 2010). 60 minuutin aika-ajon tulos parani molemmilla ryhmillä samassa suhteessa. Hapenottokyvyssä ei tapahtunut intervention seurauksen muutoksia. Hengitysosamäärä laski kaksi harjoitusta päivässä tehneellä ryhmällä, rasvan oksidaatio lisääntyi ja hiilihydraattien oksidaatio laski merkitsevästi. HAD:n määrä kasvoi merkitsevästi, kun harjoiteltiin kahdesti päivässä.

Taulukko 3 Yhteenveto kahdesti päivässä harjoittelua tutkineista kokeellisista tutkimuksista

Tutkimus	Otos ja laji	Kesto ja tutkimusasetelma	Tutkimusprotokolla	Liikuntatesti	Päämuuttuja
Yeo ym. 2008	n=14, pyöräily/triathlon	3 viikkoa Vertailututkimus	HIT ja AT samana päivänä, HIT vajailla glykogeenivarastoilla vs HIT ja AT peräkkäisinä päivinä täysillä glykogeenivarastoilla	60SS ja 60min aika-ajo	Aika-ajon aika parani, tulos ei eronnut ryhmien välillä, CS:n ja HAD:n määrä merkittävästi korkeampi, rasvan oksidaatio näytti tehostuvan, mitokondrionaalisen DNA:n suhteen ei muutoksia
Yeo ym. 2010	n=12, pyöräily/triathlon	2 päivää Vertailututkimus	HIT ja AT samana päivänä, HIT vajailla glykogeenivarastoilla vs HIT ja AT peräkkäisinä päivinä täysillä glykogeenivarastoilla	HIT ja AT	Itse valittu teho suorituksen aikana matalampi, ei eroa mitokondrionaalisissa entsyymeissä
Hulston ym. 2010	n=14, pyöräily	3 viikkoa RCT	HIT ja AT samana päivänä, HIT vajailla glykogeenivarastoilla vs HIT ja AT peräkkäisinä päivinä täysillä glykogeenivarastoilla	60SS ja 60 min aika-ajo	Itse valituissa tehossa, aika-ajon tuloksissa ei eroja ryhmien välillä, hengitysosamäärä laski, HAD määrä nousi

HIT: high intensity training eli kovatehoinen harjoitus; **AT:** aerobic training eli aerobinen harjoitus; **60SS:** 60 min steady-state ride eli tasavauhtinen pyöräily; **CS:** sitraattisyntaasi; **HAD:** β -hydroksiasyyli-koentsyymi A dehydrogenaasi; **RCT:** randomized controlled trial eli randomoitu, kontrolloitu interventiotutkimus

5.4 Kroonisesti matalahiilihydraattinen ruokavalio

Kroonisesti matalalla hiilihydraattien saannilla tarkoitetaan ruokavaliosta saatavien hiilihydraattien rajoittamista siten, että niitä saadaan vähemmän kuin tarvittaisiin (Burke 2010). Kroonisesti matalahiilihydraattisen ruokavaliion seurauksena glykogeenivarastot ovat vajaina kaikissa harjoituksissa. Kun hiilihydraatteja saadaan liian vähän tarpeeseen nähden voi kehoon syntyä ketoositila (Cox ja Clarke 2014). Vähäisen hiilihydraattien saannin seurauksena kehon insuliinitasot laskevat ja rasvahappoja vapautuu verenkiertoon. Maksa hapettaa rasva-aineista ketoaineita, joita osa kudoksista pystyy käyttämään energiaksi. Ketoaineita ovat 3-hydroksibutyyraatti ja asetoasetyyri. Ketoosissa ketoaineiden pitoisuus veressä on yli 0,5 mmol/l (Volek ym. 2015).

Kroonisesti matala hiilihydraattinen ruokavalio voi olla ketogeeninen tai ei-ketogeeninen (Burke ym. 2017). Ketogeenisessä ruokavaliossa hiilihydraatteja on alle 20 g vuorokaudessa ja rasvaa 80 % kokonaisenergiasta. Ei-ketogeenisessä mutta vähähiilihydraattisessa ruokavaliossa hiilihydraatteja on 15-20 % ja rasvaa 60-65 % energiasta. Tutkimuksissa käytetään usein termiä LCHF-ruokavalio, jolla tarkoitetaan ketogeenista, matalahiilihydraattista ja runsasrasvaista ruokavaliota.

Burke ym. tutkivat vuonna 2017 julkaistussa tutkimuksessaan LCHF-ruokavaliion vaikutusta suorituskykyyn kilpakävelijöillä. Tutkimuksen kesto oli 3 viikkoa ja se oli ensimmäinen aihetta käsittelevä tutkimus, jossa tutkittiin nimenomaan ruokavaliion vaikutusta suorituskykyyn. Tutkittavaa tietoa oli 29 kilpakävelijältä. Toteutettavia ruokavaliota tutkimuksessa oli kolme: runsashiilihydraattinen (HCHO), ajoitetusti runsashiilihydraattinen (PCHO) ja LCHF-ruokavalio. Runsashiilihydraattisessa ruokavaliossa hiilihydraatteja oli säännöllisesti ympäri vuorokautta. Ajoitetusti runsashiilihydraattisessa ruokavaliossa hiilihydraatit oli ajoitettu tärkeimpien harjoitusten ympärille ja osa harjoituksista suoritettiin yöpaaston jälkeen tai matalilla glykogeenivarastoilla. LCHF-ruokavalio sisälsi rasvaa 75-80 E%, proteiineja 15-20 E% ja hiilihydraatteja alle 50 g vuorokaudessa ja kaikki harjoitukset suoritettiin matalilla glykogeenivarastoilla.

Interventiossa oli viikoittain kuusi pakollista harjoitusta, jotka sisälsivät kävelyä, vastusharjoittelua, pyöräilyä, juoksua ja uintia (Burke ym. 2017). Ennen harjoitusjaksoa ja sen jälkeen tutkittavat suorittivat kolme liikuntatestiä kolmen päivän aikana. Ensimmäinen testi suoritettiin juoksumatolla sisätiloissa. Testissä mitattiin kävelytehokkuus, hapenottokyvyn huippuarvo ja sydämen syke. Tutkittavat itsearvioivat myös kokemansa kuormituksen tunteen

ja heiltä otettiin verinäytteitä. Toisena testinä oli 10 kilometrin kilpailu, joka suoritettiin ulkona urheilukentällä. Kolmantena testinä oli 25 kilometrin kävely.

Tutkimuksessa havaittiin, että LCHF-ruokavaliota noudattaneilla rasvan oksidaatio oli merkittävästi tehostunut ja hapenottokyvyn huippuarvo kasvanut, mutta huolimatta muutoksista, suorituskyky ei parantunut (Burke ym. 2017). HCHO- ja PCHO-ryhmillä suorituskyky parani.

Zajak ym. julkaisivat vuonna 2014 tutkimuksen jossa tutkittiin myös ketogeenisen ruokavalion vaikutusta aerobiseen suorituskykyyn ja harjoittelun aikaiseen aineenvaihduntaan. Tutkittavat jaettiin kahteen ryhmään, joista toinen noudatti ketogeenista ja toinen kontrolliruokavaliota. Ketogeeninen ruokavalio sisälsi 15 E% hiilihydraatteja, 70 E% rasvaa ja 15 E% proteiinia. Kontrolliruokavaliossa hiilihydraatteja oli 50 E%, rasvaa 30 E% ja proteiinia 20 E%. Ruokavaliota noudatettiin neljä viikkoa, jonka jälkeen tutkittavat suorittivat kolme päivää kestävän testijakson. Testijakson jälkeen oli viikon palautumisjakso, jonka jälkeen ruokavaliot vaihtuivat. Samat liikuntatestit suoritettiin jälleen kuukauden ruokavaliointervention jälkeen. Interventio oli samaan aikaan kuin kilpailukaudelle valmistava harjoitusjakso, jolloin harjoittelumäärä oli korkea.

Testausvaiheessa tutkittavat suorittivat kaksi pyöräilykoetta (Zajac ym. 2014). Ensimmäinen koe oli nousujohteinen uupumukseen asti kestävä pyöräily, jossa määritettiin maksimaalinen hapenottokyky ja laktaattikynnys. Toisena testinä oli 105 minuuttia kestävä pyöräily, jossa ensimmäiset 90 minuuttia pyöräiltiin 85 % teholla laktaattikynnyksestä. 90 minuutin jälkeen teho nostettiin 115 % laktaattikynnyksestä. Intervention aikana tutkittavat myös punnittiin ja heidän kehonkoostumuksensa analysoitiin.

Tutkimuksessa havaittiin 3-hydroksibutyraatin pitoisuuden nousu ketogeenisen ruokavalion jälkeen (Zajak ym. 2014). Maksimaalinen hapenottokyky ja laktaattikynnys kasvoivat tilastollisesti merkitsevästi ketogeenisen ruokavalion jälkeen. Maksimaalinen teho ja teho laktaattikynnyksellä olivat kuitenkin korkeammat kontrolliruokavalion jälkeen. Paino aleni ja rasvamassa väheni enemmän ketogeenisen ruokavalion jälkeen.

Zajac ym. ja Burke ym. tutkimuksissa tutkittavat olivat ketogeenisellä ruokavaliolla viikkoja, mutta Carey ja kumppanit tutkivat vuonna 2001 julkaistussa tutkimuksessaan runsasrasvaisen ruokavalion vaikutuksia lyhyemmällä aikavälillä. Tutkimuksessa oli seitsemän pyöräilijää, jotka söivät ensin yhden vuorokauden standarnisoidusti hiilihydraatteja sisältävän ruokavalion mukaan, jonka jälkeen he noudattivat joko runsashiilihydraattista tai runsasrasvaista ruokavaliota kuusi päivää. Kahdeksantena päivänä kaikki tutkittavat söivät runsaasti

hiilihydraatteja. Ennen interventiota ja yhdeksäntenä päivänä tutkittavat suorittivat neljän tunnin pyöräilyn 65 % teholla maksimaalisesta hapenottokyvystä. Pyöräilyn aikana tutkittavat nauttivat glukoosijuomaa. Neljän tunnin pyöräilyn jälkeen tutkittavat suorittivat 60 minuutin aika-ajon. 18 päivän välijakson jälkeen tutkittavat vaihtoivat ruokavalioita.

Hengitysosamäärä laski runsasrasvaisen ruokavalion jälkeen (Carey ym. 2001). Rasvan oksidaatio oli suurempaa ja hiilihydraattien oksidaatio vähäisempää runsasrasvaisen ruokavalion jälkeen. Tutkimuksessa ei havaittu merkitsevää parannusta suorituskykyyn, vaikka aika-ajon teho oli keskimäärin suurempi runsasrasvaisen ruokavalion jälkeen.

Taulukko 4 Yhteenveto kroonisesti matalahiilihydraattista ruokavaliota tutkineista kokeellisista tutkimuksista

Tutkimus	Otos ja laji	Kesto ja tutkimusasetelma	Tutkimusprotokolla	Liikuntatesti	Päämuuttuja
Burke ym. 2017	n= 29, kilpakävely	3 viikkoa Vertailututkimus	HCHO, PCHO vs. LCHF	Nousujohteinen kävely matolla, 10km kilpailu, 25 km kävely	Rasvan oksidaatio tehostui, hapenottokyvyn huippuarvo kasvoi, ei parannusta suorituskyvyssä
Zajak ym. 2014	n=8, maastopyöräily	1+1 kk, RCT	Runsashiilihydraattinen ruokavalio vs. ketogeeninen ruokavalio	Nousujohteinen pyöräily uupumukseen asti, 105 min pyöräily	VO _{2max} ja laktaattikynnys kasvoivat, paino ja rasvamassa alenivat, vähensi kovatehoista suorituskykyä
Carey ym. 2001	n=7, pyöräily/triathlon	9+9 päivää, Vaihtovuoroasetelma	Runsas hiilihydraattinen ruokavalio vs. runsasrasvainen ruokavalio	4 h pyöräily 65 % VO _{2peak} , 60 min aika-ajo	Rasvan oksidaatio tehostui, ei havaittu vaikutusta suorituskykyyn

HCHO: runsashiilihydraattinen ruokavalio; **PCHO:** ajoitetusti runsashiilihydraattinen ruokavalio; **LCHF:** ketogeeninen, matalahiilihydraattinen, runsasrasvainen ruokavalio, **RCT:** randomized controlled trial eli randomoitu, kontrolloitu interventiotutkimus; **VO_{2max}:** maksimaalinen hapenottokyky; **VO_{2peak}:** hapenottokyvyn huippuarvo

6 POHDINTA

Tämän kirjallisuuskatsauksen mukaan train low-competete high –metodeilla näytti olevan harjoitusadaptaatiota vahvistava vaikutus kestävyyslajeissa. Tämä vaikutus ilmeni eri metodeja käsittelevissä tutkimuksissa. Train low-competete high –menetelmien vaikutus suorituskyykyyn oli epäselvä tai sitä ei havaittu, kun harjoiteltiin kahdesti vuorokaudessa tai kun hiilihydraattien saanti oli kroonisesti alhaista. Lisäksi näiden metodien seurauksena osassa tutkimuksista havaittiin kovatehoisen suoritustehon kärsiminen. Sen sijaan parantunut suorituskyyky havaittiin tutkimuksissa, joissa tutkittiin harjoittelua yöpaaston jälkeen.

Mielenkiintoista oli, että vaikka train low-competete high –metodeissa havaittiin harjoitusadaptaation tehostuminen, se ei näkynyt suorituskyyvyn parantumisena. Tähän saattaa olla syynä tutkimuksien lyhyt kesto. Pisin interventiotutkimus, joka käsiteltiin tässä kirjallisuuskatsauksessa, kesti kuukauden ja muut muutamia viikkoja tai päiviä. Harjoitusadaptaatio on tiettyjen proteiinien toistuvaa akkumulaatiota (Hansen ym. 2005). Koska interventiot olivat lyhyitä, voi olla, että vaikka harjoitusadaptaatio oli tehostunut vertailuryhmään verrattuna, ei se ollut tehostunut riittävällä voimakkuudella, jotta se olisi näkynyt suorituskyyvyssä. Tämä saattaisi olla syynä tutkimuksissa, joissa ryhmien suorituskyykyjen välillä ei havaittu eroja. Olisi mahdollisesti tarvittu pidempi tutkimusaika, jotta akkumulaatio olisi ehtinyt tapahtua riittävällä nopeudella.

Harjoittelu kahdesti päivässä ja kroonisesti matala hiilihydraattien saanti näyttivät vähentävän urheilijan itse valitsemaa suoritustehoa harjoituksen aikana. Harjoiteltaessa kahdesti päivässä kovatehoinen harjoitus suoritettiin jälkimmäisenä, jo glykokeenivarastoja tyhjentäneen tasavauhtisen harjoituksen jälkeen. Kovatehoisten harjoitukset vaativat anaerobista suorituskyykyä, jolloin energiaa saataisiin ainoastaan hiilihydraateista (Aro ym. 2012). Vajaat glykokeenivarastot taas on yhdistetty urheilijan kokemaan uupumuksen tunteeseen (Lanham-New ym. 2011). Kun glykokeenivarastot olivat vajaat, kokivat tutkittavat näissä tutkimuksissa mahdollisesti enemmän väsymistä suorituksen aikana ja glykokeenia ei riittänyt energiantuottoon, mikä tuloksissa havaittiin matalampina suoritustehoina. Tutkimuksissa havaittu tehostunut rasvan oksidaatio osaltaan vaikuttaa myös kovatehoisen harjoittelun kärsimiseen (Lanham-New ym. 2011). Tapahtumaketju, jonka seurauksena rasvan oksidaatio tehostuu, hiljentää samalla reittejä, jotka ovat tärkeitä hiilihydraattien oksidaation kannalta. Reittien hiljentymisen seurauksena hiilihydraattien oksidaation teho huononee.

Harjoittelun yöpaaston jälkeen havaittiin parantavan suorituskyykyä kahdessa tutkimuksessa (Marquet ym. 2016a, Marquet ym. 2016b). Toisessa ei kuitenkaan havaittu rasvan oksidaation

tai harjoitusadaptaation tehostumista ja toisessa näitä ei mitattu. Tutkimusten pohjalta ei voida näin ollen vetää suoria johtopäätöksiä, että nimenomaan harjoitusadaptaatio olisi tehostunut. Syynä voi olla glykogeenivarastojen täyttymisen tehostuminen (Marquet ym. 2016b). Kun hiilihydraattien saanti on ollut jaksotettua, on joissakin tutkimuksissa mitattu korkeampia lepoglykogeenipitoisuuksia, kun varastot on täytetty verrattuna siihen, kun hiilihydraatteja on jatkuvasti ollut tarjolla. Train low-compete high –metodin mukaan harjoitellaan vajailla glykogeenivarastoilla, mutta kilpailut ja tärkeimmät harjoitukset suoritetaan täysillä glykogeenivarastoilla (Hansen ym. 2005). Tätä noudattaen myös tutkimusten liikuntatellit suoritettiin ravitussa tilassa, siten, että glykogeenivarastot olivat ehtineet täytyä. Marquetin ja kumppaneiden toisessa tutkimuksessa vuonna 2016 ryhmällä, joka oli harjoitellut vajailla glykogeenivarastoilla, huomattiin suuremmat itsevalitut tehot aika-ajotestin toisella puoliskolla. Heillä oli siis erilainen vauhdinjako. Vauhdinjako perustuu moneen tekijään, mutta tehon valitseminen riippuu aivoista, jotka aistivat glykogeenitasoja (Marquet ym. 2016b). Korkeammilla glykogeenivarastoilla aivot aistivat varastojen tyhjenemisen myöhemmin, jolloin uupumissignaali ei lähde liikkeelle ja tehoa voidaan ylläpitää pidempään.

Tutkimuksien tulokset eivät ole suoraan keskenään vertailukelpoisia. Tutkimuksissa käsiteltiin eri lajeja, joiden vertailu on vaikeaa, vaikka ne kaikki kuuluvatkin kestävyysurheilukäsitteen alle. Eri lajeissa kilpailusuoritukset ja harjoitukset ovat eri pituisia ja harjoituskauden jaksotus voi olla erilainen. Lisäksi tutkittavien kuntotaso voi vaihdella, vaikka tutkimuksiin pyrittiinkin valitsemaan tutkittavia, joilla on samanlainen harjoitustausta. Tutkimuksissa myös ruokavaliot erosivat toisistaan ja samaa metodologiaa tutkineiden tutkimusten ruokavaliot voivat poiketa suurestikin. Harjoittelua yöpaaston jälkeen tutkineissa tutkimuksissa esimerkiksi hiilihydraattien kokonaismäärä vaihteli tutkimusten välillä, vaikka se tutkimusten sisäisten ryhmien välillä oli samankaltaista. Kroonisesti matalahiilihydraattista ruokavaliota tutkineissa tutkimuksissa ruokavalio saattoi olla joko ketogeeninen tai ei-ketogeeninen ja hiilihydraattien, proteiinit ja rasvan määrät vaihtelivat näiden käsitteiden sisälläkin. Tutkimuksien tuloksia heikentää myös otoskokojen pienuus.

Tutkimusasetelmat tutkimuksissa olivat luotettavia. Useissa tutkimuksissa oli sekä tutkittava ryhmä, että kontrolliryhmä, joka mahdollistaa luotettavan vertailun ryhmien välillä. Tutkittavat myös satunnaistettiin ryhmiin. Osassa tutkimuksissa tutkittavat itse toimivat itsensä kontrolliryhmänä, kun ruokavalioita vaihdettiin tutkimuksen aikana. Tämä toimii urheiluravitsemusta tutkittaessa hyvin, koska tällöin tutkittavien kuntotaso on sama sekä tutkimusryhmällä, että vertailuryhmällä.

Tutkimusten lyhyen keston ja vähäisen määrän vuoksi ei voida sanoa mitä vaikutuksia pitkäaikaisella train low-compet high –metodin käytöllä voisi olla (Burke 2010). Aiemmin pohdittujen tekijöiden vaikutuksesta suorituskyky saattaisi parantua, kun harjoitusadaptaatiota olisi vahvistettu pidemmän aikaa. Toisaalta lyhyiden tutkimusten heikkoutena on se, että ei nähdä mahdollisia pidemmän aikavälin haittavaikutuksia. Kroonisesti matalan hiilihydraatin saannin on todettu kasvattavan riskiä ylikunnon kehittymiselle (Yeo ym. 2008). Lisäksi tutkimuksissakin havaittiin urheilijoiden itsevalitseman harjoitustehon kärsiminen. Kun urheilija ei pystyisi suorittamaan tärkeimpiä harjoituksia parhaalla mahdollisella teholla, alkaisi tämä pidemmällä aikavälillä näkyä myös kilpailujen tuloksissa (Burke 2010).

Aiheesta kaivataan lisää tutkimustietoa, mutta train low-compet high –metodit ovat mahdollinen keino parantaa suorituskykyä (Burke 2010). Kestävyysurheilijalla niiden käyttö voisi olla kehittymisen kannalta hyödyllistä, mutta käyttö pitäisi mahdollisesti ajoittaa esimerkiksi peruskuntokaudelle jolloin suurin osa harjoituksista olisi suoritusteholtaan matalia. Tällöin kovatehoisten harjoitusten suorittaminen ei vaarantuisi.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän kirjallisuuskatsauksen mukaan train low – compete high –metodeilla on harjoitusadaptaatiota ja rasvan oksidaatiota tehostava vaikutus. Harjoittelu yöpaaston jälkeen paransi suorituskykyä kirjallisuuskatsauksessa käsitellyissä tutkimuksissa. Kahdesti päivässä harjoittelun ja kroonisesti vähäisen hiilihydraatin saannin seurauksena suorituskyky ei parantunut. Urheilijoiden itsevalitsemat suoritustehot kärsivät, kun harjoiteltiin kahdesti päivässä tai kun hiilihydraatteja saatiin kroonisesti liian vähän. Train low-compet high –metodeista voi olla hyötyä suorituskyvyn parantamisessa, jos ne ajoitettaisiin harjoituskauden vaatimukset huomioiden.

Aiheesta tarvitaan lisää laadukkaita kokeellisia tutkimuksia joissa otoskoko olisi suurempi, käytettävät ruokavaliot ja liikuntatestit samanlaisia ja tutkimusaika pidempi.

8 LÄHTEET

- Aro A, Aro A, Mutanen M, Uusitupa M, Aantaa R. Ravitsemustiede. Helsinki: Duodecim 2012.
- Borg P, Fogelholm M, Hiilloskorpi H. Liikkujan ravitseminen: teoriasta käytäntöön. Helsinki: Edita 2004.
- Burke. Fueling strategies to optimize performance: training high or training low? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 2010;20:48-58.
- Burke LM. Re-Examining High-Fat Diets for Sports Performance: Did We Call the 'Nail in the Coffin' Too Soon? *Sports Med* 2015;45 Suppl 1:33.
- Burke LM, Ross ML, Garvican-Lewis LA, Welvaert M, Heikura IA, Forbes SG, Mirtschin JG, Cato LE, Strobel N, Sharma AP, Hawley JA. Low carbohydrate, high fat diet impairs exercise economy and negates the performance benefit from intensified training in elite race walkers. *J Physiol (Lond)* 2017;595:2785-2807.
- Carey AL, Staudacher HM, Cummings NK, Stepto NK, Nikolopoulos V, Burke LM, Hawley JA. Effects of fat adaptation and carbohydrate restoration on prolonged endurance exercise. *J Appl Physiol* 2001;91:115-122.
- Cox PJ, Kirk T, Ashmore T, Willerton K, Evans R, Smith A, Murray AJ, Stubbs B, West J, McLure SW, King MT, Dodd MS, Holloway C, Neubauer S, Drawer S, Veech RL, Griffin JL, Clarke K. Nutritional Ketosis Alters Fuel Preference and Thereby Endurance Performance in Athletes. *Cell Metab* 2016;24:256-268.
- Cox PJ, Clarke K. Acute nutritional ketosis: implications for exercise performance and metabolism. *Extrem Physiol Med* 2014;3:17.
- Hansen AK, Fischer CP, Plomgaard P, Andersen JL, Saltin B, Pedersen BK. Skeletal muscle adaptation: training twice every second day vs. training once daily. *J Appl Physiol* 2005;98:93-99.
- Hawley JA, Burke LM. Carbohydrate availability and training adaptation: effects on cell metabolism. *Exerc Sport Sci Rev* 2010;38:152-160.
- Heino J, Vuento M. Biokemian ja solubiologian perusteet. Helsinki: Sanoma Pro 2014.
- Hemmilä J. Ylimenokausi vireyttää juoksijan. 2014. <http://www.kestavyysurheilu.fi/plus/5248-ylimenokausi-vireyttaa-juoksijan> .
- Hulston CJ, Venables MC, Mann CH, Martin C, Philp A, Baar K, Jeukendrup AE. Training with low muscle glycogen enhances fat metabolism in well-trained cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 2010;42:2046-2055.
- Ilander O, Ilander O, Laaksonen M, Lindblad P, Mursu J. Liikuntaravitseminen : tehoa, tuloksia ja terveyttä ruuasta. Lahti: VK-Kustannus 2014.
- Lambert EV, Hawley JA, Goedecke J, Noakes TD, Dennis SC. Nutritional strategies for promoting fat utilization and delaying the onset of fatigue during prolonged exercise. *J Sports Sci* 1997;15:315-324.

Lane SC, Camera DM, Lassiter DG, Areta JL, Bird SR, Yeo WK, Jeacocke NA, Krook A, Zierath JR, Burke LM, Hawley JA. Effects of sleeping with reduced carbohydrate availability on acute training responses. *J Appl Physiol* 2015;119:643-655.

Lanham-New S, Lanham-New S, Roche HM, Macdonald I. Nutrition and metabolism. Chichester, West Sussex, UK ; Ames, Iowa: Wiley-Blackwell 2011.

Liikunta. Käypä hoito -suositus. Suomalaisen Lääkäriseuran Duodecimin ja Käypä hoito -johtoryhmän asettama työryhmä. Helsinki: Suomalainen Lääkäriseura Duodecim. Päivitetty 2016.

Marquet L, Brisswalter J, Louis J, Tiollier E, Burke LM, Hawley JA, Hausswirth C. Enhanced Endurance Performance by Periodization of Carbohydrate Intake: "Sleep Low" Strategy. *Med Sci Sports Exerc* 2016;48:663-672.

Marquet L, Hausswirth C, Molle O, Hawley JA, Burke LM, Tiollier E, Brisswalter J. Periodization of Carbohydrate Intake: Short-Term Effect on Performance. *Nutrients* 2016;8:.

Sand O, Sand O, Sjaastad ØV, Haug E, Toverud KC, Bjålie JG, Hekkanen R, Sjaastad OV, Hekkanen R. Ihminen : fysiologia ja anatomia. Helsinki: Sanoma Pro 2012.

Tarnopolsky M. Protein requirements for endurance athletes. *Nutrition* 2004;20:662-668.

Thomas DT, Erdman KA, Burke LM. American College of Sports Medicine Joint Position Statement. Nutrition and Athletic Performance. *Med Sci Sports Exerc* 2016;48:543-568.

Valtion ravitsemusneuvottelukunta. Terveyttä ruoasta. Suomalaiset ravitsemussuositukset 2014. Tampere: Juvenes Print – Suomen Yliopistopaino 2014.

Volek JS, Noakes T, Phinney SD. Rethinking fat as a fuel for endurance exercise. *Eur J Sport Sci* 2015;15:13-20.

Yeo WK, McGee SL, Carey AL, Paton CD, Garnham AP, Hargreaves M, Hawley JA. Acute signalling responses to intense endurance training commenced with low or normal muscle glycogen. *Exp Physiol* 2010;95:351-358.

Yeo WK, Paton CD, Garnham AP, Burke LM, Carey AL, Hawley JA. Skeletal muscle adaptation and performance responses to once a day versus twice every second day endurance training regimens. *J Appl Physiol* 2008;105:1462-1470.

Zajac A, Poprzecki S, Maszczyk A, Czuba M, Michalczyk M, Zydek G. The effects of a ketogenic diet on exercise metabolism and physical performance in off-road cyclists. *Nutrients* 2014;6:2493-2508.

Zaryski C, Smith DJ. Training principles and issues for ultra-endurance athletes. *Curr Sports Med Rep* 2005;4:165-170.

