

SUORITUKSEN AIKAISEN HIILIHYDRAATTIEN SAANNIN
VAIKUTUS URHEILIJOIDEN SUORITUSKYKYYN
PALLOILULAJEISSA

Lepistö Janette
Kandidaatin tutkielma
Ravitsemustiede
Lääketieteen laitos
Terveystieteiden tiedekunta
Itä-Suomen yliopisto
Maaliskuu 2021

Itä-Suomen yliopisto, Terveystieteiden tiedekunta
Kansanterveystieteen ja kliinisen ravitsemustieteen yksikkö
Ravitsemustiede

LEPISTÖ JANETTE J: Suorituksen aikaisen hiilihydraattien saannin vaikutus urheilijoiden suorituskykyyn palloilulajeissa

Kandidaatin tutkielma, 36 sivua, 0 liitettä (36 sivua)

Ohjaaja(t): TtT Reija Männikkö, FT Aino-Maija Eloranta

Maaliskuu 2021

Avainsanat: Hiilihydraatit, palloilu, suorituskyky, urheilu

SUORITUKSEN AIKAISEN HIILIHYDRAATTIEN SAANNIN VAIKUTUS URHEILIJOIDEN SUORITUSKYKYYN PALLOILULAJEISSA

Palloilulajit kattavat laajan kirjon eri lajeja, joissa vaaditaan erilaisia fyysisiä ominaisuuksia. Palloilulajeille tyypillistä on harjoituksen pitkä tai kohtuullinen kesto sisältäen korkeaintensiteettisiä osioita ja matalatehoisia lepojaksia. Energiantuotannosta vastaa pääasiassa anaerobinen energiantuottojärjestelmä, koska suurin osa liikunnasta tapahtuu yli 85 % teholla maksimaalisesta hapenottokyvystä. Hiilihydraatit toimivat energianlähteenä aerobisessa ja anaerobisessa energiantuottojärjestelmässä, joten niiden merkitys palloilulajien urheilijoiden ruokavaliossa on korostunut. Glykokeenivarastojen hyödyntäminen energiantuotannossa on suurta ja lihasglykokeeni voi olla suorituskykyä rajoittava tekijä. Hiilihydraattien nauttiminen suorituksen aikana voi parantaa suorituskykyä säästämällä glykokeenivarastoja ja ylläpitämällä veren glukoosipitoisuutta.

Kaikki urheilulajit sisältävät motoristen ja kognitiivisten taitojen soveltamista. Palloilulajeissa niitä täytyy pystyä ylläpitämään pelin vaatimalla tasolla huolimatta suorituksen edetessä tulevasta väsymyksestä. Motorisia taitoja palloilulajeissa ovat esimerkiksi sprinttiominaisuudet, suunnanmuutokset, hypyt ja lajitaidolliset ominaisuudet, sekä kognitiivisia toimintoja reaktioaika, päätöksenteko ja havainnointi- ja keskittymiskyky.

Tämän kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on selvittää, vaikuttaako suorituksen aikainen hiilihydraattien saanti palloilulajien urheilijoiden motorisiin taitoihin ja kognitiivisiin toimintoihin. Tutkielmassa tarkastellaan liuksena nautittua hiilihydraattia.

Kirjallisuuskatsauksessa havaittiin, että suorituksen aikainen hiilihydraattiliuksen nauttiminen paransi suorituskykyä etenkin harjoituksen loppupuolella ja hidastaneen suorituskyvyn laskua. Hiilihydraattiliuos pidensi uupumukseen kuluvaa aikaa ja paransi sprinttinopeutta suorituksen lopulla plaseboliukseen verrattuna, sekä vaikutti edullisesti muun muassa reagointiaikaan, virheiden määrään ja syöttötarkkuuteen. Hiilihydraattiliuksen vaikutuksia havaittiin paremmin motoristen taitojen testeissä ja havainnot kognitiivisissa toiminnoissa olivat osittain ristiriitaisia.

Tulevaisuudessa tarvitaan lisää tutkimusta suorituksen aikaisesta hiilihydraattien saannin vaikutuksesta motorisiin taitoihin ja kognitiivisiin toimintoihin palloilulajeissa, sekä validoituja menetelmiä mittaamaan kognitiivisia toimintoja. Tutkimusasetelmina olisi hyödynnettävä mahdollisimman pelinomaisia asetelmia, menetelmiä ja valmistautumista tulosten yleistettävyyden kannalta.

SISÄLTÖ

1.	JOHDANTO.....	4
2.	PALLOILULAJIT	5
2.1	Lajien vaatimukset.....	5
2.1	Motoriset taidot.....	6
2.2	Kognitiiviset toiminnot.....	7
3.	ENERGIA-AINEENVAIHDUNTA	9
3.1	Energiantuottojärjestelmät urheilussa.....	9
3.2	Energiantuottojärjestelmät palloilulajeissa.....	10
4.	HIILIHYDRAATIT.....	12
4.1	Hiilihydraattien merkitys palloilulajeissa.....	12
4.2	Suorituksen aikainen hiilihydraattien nauttiminen	13
5.	SUORITUKSEN AIKAINEN HIILIHYDRAATTIEN SAANTI	15
5.1	Suorituksen aikaisen hiilihydraattien nauttimisen vaikutus jalkapallossa.....	15
5.2	Suorituksen aikaisen hiilihydraattien nauttimisen vaikutus muissa palloilulajeissa	20
6.	POHDINTA.....	27
6.1	Tutkittavat ja tutkimusasetelmat.....	27
6.2	Tutkimusmenetelmät	28
6.2.2	Motoristen taitojen mittaaminen.....	28
6.2.3	Kognitiivisten toimintojen mittaaminen.....	29
6.2.4	Liuosten koostumus	30
6.2.5	Tulosten analysointi.....	31
6.3	Jatkotutkimukset.....	32
7.	JOHTOPÄÄTÖKSET	33
8.	LÄHTEET	34

1. JOHDANTO

Palloilulajit kattavat laajan kirjon eri lajeja, joissa vaaditaan erilaisia fyysisiä ja ravitsemuksellisia ominaisuuksia (Bishop 2010). Tyypillistä palloilulajeille on harjoituksen kohtuullinen tai pitkä kesto, sisältäen korkeaintensiteettisiä osioita, matalatehoisia lepojaksuja ja passiivista lepoa (Mujika ja Burke 2010, Bishop 2010, Williams ja Rollo 2015). Anaerobinen energiantuottojärjestelmä vastaa pääasiassa energiantuotannosta, koska huomattava osa liikunnasta tapahtuu yli 85 % teholla maksimaalisesta hapenottokyvystä (Borg ym. 2004). Aerobinen energiantuotto vallitsee palautumisjaksojen aikana (Maughan 2000).

Hiilihydraatit toimivat energianlähteenä aerobisessa ja anaerobisessa energiantuottojärjestelmässä. Palloilulajeissa glykokeenin hyödyntäminen energiantuotannossa on suurta, ja lihasglykokeeni voikin olla suorituskykyä rajoittava tekijä. Riittämätön hiilihydraattien saatavuus heikentää suorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä (Thomas ym. 2016). Hiilihydraattien nauttiminen ajoittaisen korkeaintensiteettisen suorituksen aikana voi parantaa suorituskykyä ylläpitämällä veren glukoosipitoisuutta ja säästämällä lihasten glykokeenivarastoja (Lanham-New ym. 2011). Suorituksen aikaista hiilihydraattien saannin vaikutusta suorituskykyyn on pääasiassa tutkittu kestävyysurheilussa, ja tutkimusnäyttö palloilulajeista on vähäistä ja ristiriitaista.

Kaikki urheilulajit sisältävät kognitiivisten ja motoristen taitojen soveltamista, joissa pelaajalla on oltava hyvä tekniikka ja osattava hyödyntää sitä oikeassa toiminnassa oikeaan aikaan, säilyttää se pelin edetessä tulevan väsymyksen kanssa ja mukauttaa toimintaansa muuttuvassa ympäristössä (Ali 2011). Palloilulajeissa vaaditaan monipuolisia motorisia taitoja, kuten sprinttiominaisuuksia, suunnanmuutoksia, hyppyjä ja lajitaidollisia ominaisuuksia, joita ovat esimerkiksi pallonhallinta, syöttäminen ja kuljetus (Hills ja Russell 2017, Dolci ym. 2018). Taitosuorituksissa ratkaisevassa asemassa ovat kognitiiviset toiminnot, jotka ovat myös tärkeitä pelikyvyn määrittäjiä (Ali 2011, Hills ja Russell 2017). Kognitiivisia toimintoja palloilulajeissa ovat esimerkiksi valppaus, reaktioaika, päätöksenteko sekä havainnointi- ja keskittymiskyky.

Tämän tutkielman tavoitteena on tarkastella suorituksen aikaista hiilihydraattien saannin vaikutusta palloilulajien urheilijoiden motorisiin taitoihin ja kognitiivisiin toimintoihin. Tutkielmassa tarkastellaan liuksena nautittuja hiilihydraatteja ja palloilulajeista erityisesti jalkapalloa, koska sitä on tutkittu aiheen näkökulmasta eniten.

2. PALLOILULAJIT

Palloilulajit kattavat laajan kirjon eri lajeja, jotka voidaan jakaa ulko- ja sisälajeihin (Bishop 2010, Holway ja Spriet 2011). Ulkolajit voidaan jakaa vielä voimalajeihin (amerikkalainen jalkapallo), kestävyyslajeihin (jalkapallo) ja mailapeleihin (pesäpallo). Ne perustuvat ajoittaisiin korkean intensiteetin työvaiheisiin ja vaaditut fyysiset ominaisuudet vaihtelevat eri lajien, pelipaikkojen, pelityylien ja pelien välillä (Bishop 2010, Mujika ja Burke 2010). Nopeus, voima, teho, toistuva ja jaksottainen sprinttikyky sekä aerobinen kestävyys palautumisen nopeuttamiseksi ovat kuitenkin tärkeitä ominaisuuksia menestymisen kannalta. Eri lajeissa vaadittujen fyysisten ominaisuuksien vuoksi myös ravitsemukselliset vaatimukset vaihtelevat pelikentän koon, pelien keston, kauden pituuden, harjoitusvaiheen, pelaajien lukumäärän, pelipaikan ja kilpailutason mukaan (Holway ja Spriet 2011). Myös taidot, psykologia ja ulkoiset vaikutteet, kuten ympäristö, vaikuttavat suorituskykyyn palloilulajeissa (Williams ja Rollo 2015). Kilpailukaudella pelitahti vaihtelee 1–3 pelin viikkotahdistista turnaustyyppisiin viikonloppuihin (Mujika ja Burke 2010).

2.1 Lajien vaatimukset

Jalkapallo sisältää korkean ja matalan intensiteetin jaksoja, joissa pelaajalta vaaditaan spurtti-, kuljetus-, syöttö- ja laukaisukykyä (Salokannel ja Savolainen 2018). Jalkapallossa keskimääräinen työntensiteetti on 85 % maksimisykkeestä ja liike on intensiteetiltään vaihtelevaa. Pelipaikka vaikuttaa ottelussa liikuttuun matkaan ja liikunnan intensiteettiin. Ottelun aikana pelaajan syke ei laske alle 60 % maksimisykkeestä käytännössä lainkaan. Aerobinen energiantuotto muodostaa energiantuoton perustan, mutta nopeuskestävyydellä on merkittävä rooli. Lihaksiin varastoitunut glykogeeni on ottelun aikana tärkein energianlähde, mutta korkeaintensiteettisissä osioissa energia tuotetaan välittömistä energianlähteistä. Matalan intensiteetin vaiheissa ja lepoaiheissa energiaa tuotetaan rasvoista ja lyhyissä kovatehoisissa suorituksissa adenosiinitrifosfaatti- (ATP-) ja kreatiinifosfaattivarastot toimivat energianlähteinä. Pidemmässä, kovatehoisissa suorituksissa energia tuotetaan anaerobisen glykolyysin avulla.

Jääkiekko on taitolaji, jossa vaaditaan monipuolisia fyysisiä ominaisuuksia, kuten motorisia taitoja, lihasvoimaa, nopeutta, reaktiokykyä ja kestävyyttä (Huovinen 2009). 45 sekunnin

vaihdon aikana jääkiekkoilija suorittaa useita maksimaalisia spurteja, laukauksia, syöttöjä ja taklauksia, käyttäen energiantuottoon pääasiassa välittömiä energianlähteitä ja anaerobista glykolyysiä. 40–60 sekuntia kestäviä vaihtoja pelaajalle tulee ottelussa noin 20 kappaletta riippuen pelipaikasta ja roolista. Hyvä aerobinen kestävyys mahdollistaa nopean palautumisen vaihdoista sekä lihasvoima, teho ja anaerobinen kestävyys mahdollistavat toistuvat spurtit, suunnanmuutokset ja taklaustilanteet. Vaihtojen aikana laktaattipitoisuus nousee korkealle ja keskisyke on noin 85 % maksimisykkeestä. Suurin osa lihaksen tarvitsemasta energiasta tuotetaan anaerobisen energiantuotannon kautta.

Koripallo on monipuolinen laji, joka vaatii hyvän kestävyyskunnan lisäksi nopeutta, ketteryyttä, voimaa, liikkuvuutta ja teknisiä taitoja (Forssell 2016). Pääosa energiantuotannosta (85 %) koostuu välittömistä energianlähteistä ja anaerobisesta glykolyysistä, loput 15 % tapahtuu aerobisella energiantuotannolla. Tehokas palautuminen vaihtojen aikana ja maitohapon sietokyky mahdollistuvat hyvällä aerobisella kapasiteetilla, mikä mahdollistaa tehokkaamman anaerobisten suoritusten toistamisen. Jopa 80 % peliajasta pelaajien keskisykkeet ovat yli 85 % maksimisykkeestä. Koripallossa vaaditaan merkittävää anaerobista energia-aineenvaihduntaa, koska pelisuoritus koostuu yksittäisistä alle 10 sekunnin työjaksoista (Sakselin 2019). Verrattuna muihin palloilulajeihin, koripallossa suoritetaan lyhyempiä liikesarjoja ja useammin johtuen kentän pienestä koosta.

2.1 Motoriset taidot

Kaikki urheilulajit sisältävät kognitiivisten, havainnollisten ja motoristen taitojen soveltamista, joista taito on määritelty opittuna kykynä tuottaa ennalta määrättyjä tuloksia maksimaalisella varmuudella usein mahdollisimman pienessä ajassa, pienellä energialla tai molemmilla (Ali 2011). Palloilulajit ovat usein avoimen taidon lajeja, jossa pelaajalla täytyy olla hyvä tekniikka ja osata hyödyntää sitä oikeassa toiminnassa oikeaan aikaan. Tekniikan säilyttäminen pelin edetessä tulevan väsymyksen kanssa on toinen taitoon vaikuttava tekijä. Olennainen osa taitoa on kognitiivinen osa päätöksenteon muodossa, jossa pelaajalla on opittu kyky valita ja suorittaa oikea tekniikka tilanteen vaatimalla tavalla.

Joukkuepalloilulajeissa menestyminen on liitetty ainutlaatuihin yhdistelmään synnynnäisiä ja harjoiteltuja fyysisiä, teknisiä, taktisia ja psykososiaalisia ominaisuuksia (Farley ym. 2020). Mitattavissa olevia fyysisiä ominaisuuksia ovat kehon koostumus, kardiorespiratorinen kunto, lihasvoima, lihaskestävyys, liikkuvuus, ketteruus, tasapaino, koordinaatio, teho, reaktioaika ja

nopeus, joiden eri yhdistelmät korostuvat eri lajien kontekstista riippuen. Esimerkiksi jalkapallon potkaiseminen, kuljettaminen kentän halki tai baseballin syöttäminen ovat lajispesifisiä teknisiä taitoja, jotka edellyttävät useiden motoristen taitojen yhteensovittamista.

Palloilulajeissa vaaditaan monipuolisia motorisia taitoja, kuten sprinttiominaisuuksia, suunnanmuutoksia, hyppyjä, taklauksia ja lajitaidollisia ominaisuuksia dynaamisessa ja vaihtelevassa ympäristössä (Dolci ym. 2018). Lajitaidollisia ominaisuuksia jalkapallossa ovat muun muassa kuljetus, pallonhallinta, syöttäminen ja laukaus, kun taas baseballin heittoliikkeessä korostuvat koko kehon koordinaatio, nopeus sekä kineettisen ketjun toiminta räjähtävän voiman tuottoon (Hills ja Russell 2017).

Motorisia taitoja palloilulajeissa voidaan mitata esimerkiksi Loughboroughin jaksottaisella viivajuoksutestillä (Loughborough Intermittent Shuttle Test, LIST) (Nuccio ym. 2017). LIST on suunniteltu mittaamaan erityisesti jalkapallopelille tyypillisiä ominaisuuksia (Nicholas ym. 2000). Kaksiosaisen testin A-osassa suoritetaan kiinteällä ajalla yleensä 4–6 15 minuutin harjoitusta, kolmen minuutin tauoilla. Osioiden aikana suoritetaan korkeaintensiteettisiä sprinttejä eri nopeuksilla. B-osassa tarkoituksena on pakottaa testattavat uupumukseen noin 10 minuutin kuluessa. Siinä juostaan 20 metrin vetoja, joista jokainen veto eri nopeuksilla, vastaten 55–95 % nopeutta osallistujien maksimaalisesta hapenottokyvystä.

2.2 Kognitiiviset toiminnot

Palloilulajeissa kognitiiviset toiminnot ovat ratkaisevassa asemassa taitosuorituksissa (Hills ja Russell 2017). Huippusuoritukselle välttämätöntä on optimaalinen kognitiivinen toiminta, johon kuuluu esimerkiksi tiedon prosessointinopeus ja huomiointi, tila- ja työmuisti sekä toiminnanohjaustaidot (Kennedy 2019). Esimerkiksi valppaus, keskittymiskyky, energiatasot ja itseraportoidut väsymyksen tunteet ovat osa urheilun kognitiivisia toimintoja (Shabir ym. 2018).

Palloilulajeissa vaadittavia kognitiivisia toimintoja ovat muun muassa valppaus, reaktioaika, tarkkaavaisuus, päätöksenteko, työmuistin reaktioaika, reaktiivinen ketteryys, mentaalinen keskittymiskyky, hienomotorinen nopeus ja visuaalinen havainnointikyky. Palloilulajeissa kognitiivista suorituskykyä on haastava mitata (Nuccio ym. 2017, Hills ja Russell 2017). Aivojen optimaalinen toiminta on riippuvainen veren glukoosipitoisuudesta, joten

päätöksentekoon ja taitosuorituskykyyn palloilulajien otteluissa todennäköisesti vaikuttaa veren glukoosipitoisuus (Hills ja Russell 2017).

Useimmissa palloilulajeissa kognitiiviset- ja havainnointitaidot ovat tärkeitä pelikyvyn määrittäjiä, koska pelaajien on nopeasti arvioitava tietoa nopeasti muuttuvasta ympäristöstä (Ali 2011). Hyvät kognitiiviset taidot edesauttavat pelinlukua. Kognitiivisia toimintoja voidaan mitata erilaisilla mentaalisen keskittymisen testeillä sekä havainnointi-, ennakointi- ja psykomotorisilla testeillä. Esimerkiksi Stroop Color and Word Test on yksi mentaalista keskittyneisyyttä mittaava testi, jossa testattava lukee mahdollisimman paljon sanoja, värejä tai väritettyjä sanoja 45 sekunnin aikana.

3. ENERGIA-AINEENVAIHDUNTA

Ihmisen solut tarvitsevat energiaa jatkuvasti (Sand ym. 2012). Energiaravintoaineista tuotetaan energiaa kemiallisissa reaktioissa. ATP on välitön energianlähde kaikilla soluilla, ja solut ovat riippuvaisia sen tuotannosta. ATP:a tuotetaan luurankolihasissa kahden metabolisen reitin kautta: aerobisen ja anaerobisen, jotka toimivat yhdessä (Williams ja Rollo 2015). Liikunnassa pääasialliset energianlähteet ovat hiilihydraatit ja rasvat, joiden hapettumissuhteeseen lihaksissa liikunnan teho, suorituksen kesto ja edeltävä ravitsemustila vaikuttavat (Borg ym. 2004, Aro ym. 2012).

3.1 Energiantuottojärjestelmät urheilussa

Urheilussa energiaa voidaan tuottaa välittömistä energianlähteistä, aerobisesti hiilihydraateista ja rasvoista sekä anaerobisesti hiilihydraateista. Välittömiä energianlähteitä ovat ATP ja kreatiinifosfaatti, joista tulee energia muutaman sekunnin suorituksiin (Maughan 2000). ATP on korkeaenerginen fosfaattisidoksen sisältävä yhdiste, joka ei voi toimia energiavarastona ja sitä on elimistössä vähän (Aro ym. 2012). ATP-varastot riittävät vain kahden sekunnin maksimaaliseen työhön (Lanham-New ym. 2011). Kreatiinifosfaatti on varastoituneena lihas- ja hermokudoksessa, josta voidaan tuottaa energiaa nopeasti erityisesti liikunnan alussa ja anaerobisissa olosuhteissa (Aro ym. 2012). Kreatiinifosfaatista voidaan muodostaa ATP:a kreatiinifosfaatin luovuttaessa fosfaatin ADP:lle (Sand ym. 2012). Kreatiinifosfaatilla on merkitystä lähinnä lyhyissä, maksimaalisissa suorituksissa, koska sen määrä elimistössä on pieni (Borg ym. 2004).

Glukoosista, rasvahapoista ja aminohappojen hiilirungoista voidaan tuottaa energiaa aerobisissa olosuhteissa (Aro ym. 2012). Glukoosista vapautuu energiaa kolmen reaktion kautta: glykolyysi, sitruunahappokierto ja elektroninsiirtoketju, joista ensimmäinen tapahtuu solun nesteosassa ja kaksi jälkimmäistä mitokondrioissa (Sand ym. 2012). Glykolyysissä glukoosi hajoaa palorypälehapoksi ja muodostuu kaksi ATP-molekyyliä ja kaksi pelkistynyttä koentsyymiä. Aerobisissa olosuhteissa palorypälehappomolekyylit jatkavat pilkkoutumista sitruunahappokierrossa, jossa muodostuu asetyyli-koentsyymi-A:ta, hiilidioksidia, ATP:a ja pelkistyneitä koentsyymejä. Muodostuneet koentsyymit luovuttavat elektroneja elektroninsiirtoketjulle koentsyymien hapettuessa. Elektroninsiirtoketjun viimeisessä vaiheessa elektronit siirtyvät hapelle, joka pelkistyy vedeksi ja vapautuu energiaa. Elektroninsiirtoketjun

toiminta lakkaa ilman hapen läsnäoloa. Hapellisissa olosuhteissa jokaisesta glukoosimolekyylistä muodostuu reaktioiden kautta yhteensä 34 ATP-molekyylä.

Rasvahapoista tuotetaan energiaa beetaoksidation kautta, jossa rasvahappo lyhenee kahden hiiliatomin mittaisissa paloissa ja muodostuu asetyyli-koentsyymi-A:ta sekä koentsyymejä (Heino ja Vuento 2014). Jokaisen asetyyli-koentsyymi-A:n tuotannon aikana muodostuu viisi ATP-molekyylä (Gibney 2009). Muodostuneet asetyyli-koentsyymi-A-molekyylit jatkavat hapettumista sitruunahappokierrossa ja elektroninsiirtoketjussa kuten glukoosi, tuottaen ATP:tä (Heino ja Vuento 2014). Näin asetyyli-koentsyymi-A:n tasolla yhdistyvät hiilihydraateista ja rasvoista lähtevät aineenvaihduntareitit.

Glykolyysi mahdollistaa ATP:n tuotannon hapettomissa eli anaerobisissa olosuhteissa (Sand ym. 2012). Siinä yhdestä glukoosimolekyylistä tuotetaan kaksi ATP-molekyylä ja kolme ATP-molekyylä silloin, kun glukoosi tuotetaan glykogeenivarastoista (Lanham-New ym. 2011). Anaerobisissa olosuhteissa palorypälehappomolekyylit eivät päädy sitruunahappokiertoon, vaan ne muuttuvat maitohapoksi eli laktaatiksi (Sand ym. 2012, Heino ja Vuento 2014). Maitohapon kertyminen lihakseen heikentää lihaksen supistumiskykyä. Maitohappo siirtyy yhdessä palorypälehapon kanssa vereen ja ne kulkeutuvat maksaan, jossa muuttuvat glukoosiksi.

3.2 Energiantuottojärjestelmät palloilulajeissa

Palloilulajeissa energiantuotannosta vastaa pääasiassa anaerobinen energiantuottojärjestelmä, koska huomattava osa liikunnasta tapahtuu yli 85 % teholla maksimaalisesta hapenottokyvystä (Borg ym. 2004). Aerobinen energiantuotto on vallitseva palautumisjaksojen aikana suuren hapenkulutuksen vuoksi (Maughan 2000). Palloilulajeille tyypillistä on harjoituksen kohtuullinen tai pitkä kesto, sisältäen korkeaintensiteettisiä osioita, matalatehoisia lepojaksia ja passiivista lepoa (Mujika ja Burke 2010, Bishop 2010, Williams ja Rollo 2015). Suurin fysiologinen suorituskyvyn määrittäjä on pelaajan kyky suorittaa toistuvia sprinttejä lyhyillä palautumisajoilla (Mujika ja Burke 2010). Hiilihydraatit toimivat energianlähteinä aerobisessa ja anaerobisessa energiantuottojärjestelmässä, minkä vuoksi niiden saantia ruokavaliossa on syytä korostaa (Holway ja Spriet 2011).

Ottelun aikaisessa energiantuotannossa on paljon yksilöiden välistä vaihtelua, mikä johtuu intensiteettiin vaikuttavista tekijöistä, kuten motivaatiosta, fyysisestä kapasiteetista ja taktisista

rajoitteista (Maughan 2000). Pelin aikaisten intensiivisten osioiden suorituskyky voi määriittyä kreatiinifosfaatin saatavuudella, koska kreatiinifosfaatti tuottaa fosfaattia ATP:n uudissynteesiin nopeiden intensiteetin nousujen aikana (Maughan 2000). Palloilulajeissa glykogeeni on tärkein substraatti ja sen hyödyntäminen energiantuotannossa on suurta. Lihasglykogeeni voikin olla suorituskykyä rajoittava tekijä, vaikka lihasglykogeenivarastot eivät olisi täysin tyhjentyneet. Lisäksi suorituskykyä palloilulajeissa heikentää metaboliittien kertyminen ja toistuvaa sprinttisuorituskykyä voi rajoittaa työskentelevän lihaksen rajallinen aktivaatio (Bishop 2010).

4. HIILIHYDRAATIT

Hiilihydraatit ovat ravinnossa esiintyviä komponentteja, jotka koostuvat eri pituisista sokeriketjuista ja ravintokuidusta (Aro ym. 2012). Hiilihydraatit luokitellaan niiden kemiallisen rakenteen mukaan (Maughan 2000). Veren glukoosipitoisuuden ylläpito ja energian tuotto ovat hiilihydraattien pääasialliset tehtävät (Aro ym. 2012). Hiilihydraattien lähteitä ovat viljatuotteet, hedelmät, marjat, kasvikset, palkokasvit ja maitotuotteet.

Hiilihydraatit varastoidaan glykokeenina maksaan ja lihaskudokseen (Lanham-New ym. 2011). Luustolihasien glykokeenivarastojen suuruuteen vaikuttavat lihasmassan määrä ja ruokavalio, joten niiden suuruus vaihtelee noin 300–800 gramman välillä. Maksan glykokeenivarastot ovat pienemmät, noin 80 grammaa. Elimistön glykokeenivarastot tyhjenevät kovassa lihastyössä 1–2 tunnissa (Sand ym. 2012). Vapaat rasvahapot ovat lihasten tärkein energianlähde glykokeenivarastojen tyhjennyttyä. Liikunnan aikana maksan glykokeenivarasto auttaa verensokerin ylläpitämisessä, kun taas lihasten glykokeenivarastot käytetään paikallisesti (Ilander ym. 2014).

Suurin osa terveyttä edistävän ruokavalion energiasta tulisi koostua hiilihydraateista ja hiilihydraattipitoisista ruoista (Maughan 2000). Energian lisäksi monet hiilihydraattipitoiset ruoat sisältävät runsaasti suojaravintoaineita. Riittävä hiilihydraattien saanti tukee harjoittelun, kilpailemisen ja palautumisen aiheuttamaa energiantarvetta. Valtion ravitsemusneuvottelukunnan laatimien Suomalaisten ravitsemussuositusten (2014) mukaan hiilihydraattien saantisuositus valtaväestölle on 45–60 % kokonaisenergiansaannista. Urheilijoille hiilihydraattien saantisuositus on 40–65 E% (Ilander ym. 2014). Joukkuepallolajit ovat kohtalaisen energiankulutuksen lajeja, joissa tavoiteltava hiilihydraatinsaanti vuorokaudessa on 5–7 g/kg.

4.1 Hiilihydraattien merkitys palloilulajeissa

Urheilussa ravinnonsaantia tulisi varioida lajin mukaan, sillä eri lajeilla on erilaiset ravitsemukselliset vaatimukset (Lanham-New ym. 2011). Riittävää hiilihydraattien saantia on syytä tavoitella, koska se tukee harjoittelua ja palautumista sekä mahdollistaa kovemman ja laadukkaamman harjoittelun (Ilander ym. 2014). Syömällä päivittäin riittävästi hiilihydraatteja,

glykogeenivarastot täydentyvät ennen seuraavaa harjoitusta varmistaen urheilijan hyvän hiilihydraattien saatavuuden harjoituksen aikana.

Palloilulajien harjoittelussa glykogeenivarastojen ehtyminen on merkittävä tekijä, koska palloilulajit sisältävät useita lyhyitä sprinttejä (Maughan 2002). Pitkäaikaisessa ja jaksottaisessa liikunnassa hiilihydraattivarastot ovat suorituskykyä rajoittava tekijä, sillä niiden ehtyminen on yhdistetty väsymykseen ja intensiteetin laskuun pitkäkestoisen liikunnan aikana (Thomas ym. 2016). Lihasten glykogeenipitoisuus voi laskea alkuperäisestä jopa 16 % kuuden sekunnin sprintin aikana (Maughan 2002). Keskushermostossa riittämätön hiilihydraattien saatavuus heikentää suorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä, kuten väsymyksen tiedostamista, motorisia taitoja ja keskittymistä (Thomas ym. 2016).

Tärkeissä harjoituksissa ja kilpailutapahtumissa suorituksen vaatimukset on yhteensovittettava hiilihydraattivarastojen kanssa suorituskyvyn optimoimiseksi, esimerkiksi edistämällä hiilihydraattien saatavuutta ennen harjoitusta, sen aikana ja harjoituksen jälkeen (Thomas ym. 2016). On osoitettu, että suorituskyky toistuvissa intensiivisissä suorituksissa voi heikentyä, jos lihasten glykogeenivarastot ovat olleet alhaiset ennen ottelua (Maughan 2000). Suorituskyvyn optimoimiseksi intensiivisissä, ajoittaisissa suorituksissa on korkeat glykogeenipitoisuudet välttämättömät.

4.2 Suorituksen aikainen hiilihydraattien nauttiminen

Tutkimusten mukaan hiilihydraattien nauttiminen jaksottaisen korkeaintensiteettisen suorituksen aikana voi parantaa kestävyyttä ja suorituskykyä (Lanham-New ym. 2011). Suorituksen aikaisella hiilihydraattien nauttimisella pyritään parantamaan suorituskykyä ylläpitämällä veren glukoosipitoisuutta ja säästämällä lihasten glykogeenivarastoja ylläpitämällä hiilihydraattien korkeaa hapettumisastetta. Alle 60 minuutin harjoituksissa jo suun huuhtelu hiilihydraattijuomalla voi olla riittävä stimuloimaan aivoja tuntemaan olo paremmaksi ja saada urheilija työskentelemään kovemmin harjoituksen aikana, koska hiilihydraattien nauttiminen suorituksen aikana parantaa myös aivojen ja keskushermoston toimintaa. Suorituksen aikana lihasten ja keskushermoston käytettävissä olevalla hiilihydraattien määrällä tarkoitetaan hiilihydraattien saatavuutta, joka riippuu glykogeenivarastojen täyttöasteesta ja juuri ennen suoritusta sekä suorituksen aikana nautitusta hiilihydraattimäärästä (Ilander ym. 2014).

Pitkäaikaisen rasittavan liikunnan aikana hiilihydraattien saatavuuden merkitys korostuu lihasglykokeenin ehtyessä (Maughan 2000). Suorituksen aikana hiilihydraatteja voidaan täydentää eri lähteistä, kuten glukoosista, sakkaroosista, fruktoosista, galaktoosista, maltodekstriinistä tai niiden eri yhdistelmistä. Riittävä hiilihydraatin tarjonta veren glukoosipitoisuuden ja hiilihydraattien hapettumisen ylläpitoon ovat tärkeimmät tavoitteet suorituksen aikaiseen hiilihydraattien täydentämiseen. Hiilihydraatteja suorituksen aikana voidaan nauttia esimerkiksi urheilujuomien, -geelien tai -patukoiden muodossa (Mujika ja Burke 2010). Usein hiilihydraattien lisäksi valmisteet sisältävät myös elektrolyyttejä. Suorituksen aikaista hiilihydraattien saantia on hyvä mukauttaa yksilöllisten tarpeiden, tavoitteiden ja ominaisuuksien mukaan (Ilander ym. 2014). Suorituksen aikaisesta hiilihydraattien nauttimisesta on hyötyä erityisesti niillä urheilijoilla, joilla on glykokeenivarastoissa vajausta jo suoritukseen lähettäessä.

Hiilihydraatti-elektrolyyttijuomien mahdollisia väsymystä viivästyttäviä mekanismeja ovat lihasglykokeenin ehtymisen vähentäminen, verensokeritason ylläpitäminen ja energianlähteenä toimiminen lihaksille ja aivoille (Welsh ym. 2002). Hiilihydraatti-elektrolyyttijuomat voivat myös mukauttaa aivojen välittäjäaineita, joka vaikuttaa kognitioon, mielialaan, motivaatioon ja motorisiin taitoihin. Hiilihydraattien vaikutusmekanismit jaksottaisessa korkeaintensiteettisissä lajeissa ovat mahdollisesti erilaiset kestävyysurheiluun verrattuna, koska intensiteetti, liikunnan kesto, tauot ja taitovaatimukset vaihtelevat jaksottaisissa korkeaintensiteettisissä lajeissa jatkuvasti.

5. SUORITUKSEN AIKAINEN HIILIHYDRAATTIEN SAANTI

Tutkielmassa tarkastellaan tämän hetken tutkimusnäyttöä suorituksen aikaisesta hiilihydraattien nauttimisesta ja sen vaikutuksista motorisiin taitoihin ja kognitiivisiin toimintoihin palloilulajeissa. Tarkastelun kohteena on liuoksen muodossa nautittu hiilihydraatti ja tarkastelun ulkopuolelle jätettiin ne, joissa oli nautittu esimerkiksi kofeiinia hiilihydraattielektrolyyttiliuoksen yhteydessä. Tarkastelusta rajattiin pois myös ne tutkimukset, joissa tarkasteltiin ruokavalion hiilihydraattien kokonaismäärää ja sen vaikutusta suorituskykyyn. Mukaan on valittu ne, joissa olosuhteet on pyritty mukauttamaan mahdollisimman samankaltaisiksi eri tutkimuskertojen välillä ja tutkimus on kohdistunut suorituksen aikaiseen hiilihydraattien nauttimiseen ja sen vaikutuksiin. Jalkapalloa käsittelevien tutkimusten yhteenveto löytyy taulukoista 1 ja 2, muiden palloilulajien yhteenveto taulukosta 3.

Kaikki tutkimukset olivat vaihtovuoroisia, joissa jokainen tutkittava oli nauttinut sekä hiilihydraatti- että plaseboliuoksen. Tutkimusjaksojen välillä kaikissa tutkimuksissa oli noin 5–9 päivää ja tutkittavat kävivät vähintään kerran etukäteen tutustumassa tutkimuslaboratoriossa tutkimusprotokollaan sekä tekemässä etukäteismittauksia. Tutkittavia ohjeistettiin välttämään voimakasta harjoittelua ja kofeiini- ja alkoholipitoisia juomia vähintään 24 tuntia ennen tutkimusta sekä kirjaamaan ylös kaikki syömisensä ja juomisensa 24–48 tuntia ennen tutkimussuoritusta ja toistamaan sama kaava jokaisella tutkimuskerralla.

5.1 Suorituksen aikaisen hiilihydraattien nauttimisen vaikutus jalkapallossa

Yliopistojalkapalloilijoilla (n=16) tutkittiin jalkapallospesifisen harjoituksen vaikutuksia kognitiivisiin toimintoihin, kun tutkittavat olivat nauttineet elektrolyyttiliuosta, jossa oli 6 % hiilihydraattia, liuosta, jossa oli 4 % hiilihydraattia ja 2 % proteiinia, tai plaseboa (Sun ym. 2020). Tutkittavat suorittivat LIST-testin, joka koostui kuudesta 15 minuutin osiosta, kolmen minuutin tauoilla osioiden välillä. Kognitiivisia toimintoja mitattiin 15 minuuttia kestäväällä testipatteristolla, joka koostui havainnointikyvyn (Visual Search Test, VST), tarkkaavaisuuden (Stroop Test, ST), pitkäaikaisen huomion kyvyn ja valppauden (Rapid Visual Information Processing Test, RVIPT) testistä sekä toiminnanohjaustaitojen mittaamisesta.

VST-testissä reagointiajat paranivat hiilihydraattijaksossa plasebojakssoon verrattuna, mutta tarkkuutta pystyttiin ylläpitämään paremmin plasebojaksossa, kun hiilihydraattijaksossa se

hieman laski. Tarkkaavaisuutta mittaavassa testissä vasteajat hidastuivat plasebojaksossa ja paranivat harjoituksen lopussa hiilihydraattijaksossa. Vasteajat ja tarkkuus pysyivät samana plasebojaksossa RVIPT:ssä, mutta paranivat hiilihydraattijaksossa ennen harjoitusta mitatuista arvoista harjoituksen jälkeen mitattuihin. Tutkimusjaksojen välillä ei ollut eroja koetussa rasittavuudessa.

12-prosenttisen hiilihydraatti-elektrolyyttiliuoksen vaikutusta jalkapallon suorituskykyyn, sprinttinopeuteen, pallon kuljetukseen, syöttöön ja korkeaintensiteettiseen juoksukapasiteettiin tutkittiin 18 eliittiakatemian jalkapalloilijalla (Rodriguez-Giustiniani ym. 2019). Tutkimus koostui jalkapallo-ottelusimulaatiosta, joka kesti yhteensä 90 minuuttia ja se jaettiin kuuteen lohkoon ja kahteen 45 minuutin jaksoon. Lajitaidoista pallonkuljetustaitoa mitattiin kuljettamalla palloa kuuden kartion välistä mahdollisimman nopeasti ja tarkasti, sekä syöttötarkkuutta syöttämällä pallo vaihtelevasti vasemmalla ja oikealla 7,9 metrin etäisyydellä olevia kohteita kohti. Syöttöjaksot koostuivat kahdeksasta syötöstä, neljä hallitsevalla ja neljä heikommalla jalalla. Sprinttinopeutta mitattiin juoksemalla mahdollisimman nopeasti 15 metrin etäisyydellä olevien ajastettujen porttien läpi. Korkeaintensiteettinen juoksukapasiteetin testi uupumukseen asti suoritettiin jalkapallo-ottelusimulaation jälkeen, missä tutkittavat juoksivat 20 metrin sukkuloita 90 % nopeudella maksimaalisesta hapenottokyvystään.

Koetussa rasittavuudessa ei ollut eroja hiilihydraatti-elektrolyyttiliuoksen ja plaseboliuoksen välillä, mutta koettu rasittavuus lisääntyi harjoituksen loppua kohti. Kuljetusnopeus ei laskenut harjoituksen edetessä hiilihydraatti- eikä plasebojaksoissa, eikä keskimääräinen kuljetusnopeus eronnut jaksojen välillä. Samoja havaintoja tehtiin kuljetustarkkuuden osalta. Hiilihydraattijaksossa syöttötarkkuus oli parempi hallitsevalla jalalla 15 ja 90 minuutin aikapisteissä ja heikommalla jalalla 60 ja 75 minuutin aikapisteissä. Hallitsevan jalan syöttönopeus oli sama molemmissa jaksoissa, mutta heikommalla jalalla keskimääräinen syöttönopeus oli parempi hiilihydraattijaksossa. Lisäksi 75 minuutista eteenpäin syöttönopeutta pystyttiin paremmin ylläpitämään hiilihydraattijaksossa. 90 minuutin kokeen aikana keskimääräinen sprinttinopeus oli sama jaksojen välillä. Harjoituksen jälkeinen korkeaintensiteettinen juoksukapasiteetti parani hiilihydraattijaksossa.

Yliopistojalkapalloilijat (n=15) suorittivat 90 minuuttia kestävä jalkapallo-ottelusimulaation, jossa mitattiin fyysistä, psyykkistä ja kognitiivista suorituskykyä tutkittavien nauttiessa 12-prosenttista hiilihydraatti-elektrolyyttiliuosta, plasebo-elektrolyyttiliuosta tai vettä (Harper ym. 2017). Juomaa nautittiin alkuverryttelyn jälkeen sekä puoliajalla. Tutkimuksen aikana

tutkittavat suorittivat ääniohjauksella määrättyjä ja itsevalittuja suorituksia jalkapallo-ottelusimulaation muunnelmasta, sisältäen vaihtelevalla intensiteetillä juoksua taaksepäin, sivuttain, sprinttejä sekä 18 metrin pallonkuljetusta kartioiden välistä mahdollisimman nopeasti ja tarkasti. Kognitiivista suorituskykyä mitattiin päätöksenteolla, nopealla visuaalisen tiedon käsittelyllä, numeerisella työmuistilla, kuvantunnistuksella, sanatunnistuksella, välittömällä sanan toistolla ja viivästyneellä sanan toistolla, joista kahdessa viimeisessä määritettiin oikeiden ja väriiden vastausten määrä ja muissa oikeiden vastausten osuus prosentteina sekä reaktioaika.

Tutkimuksessa havaittiin hiilihydraatti-elektrolyyttiliuoksen parantaneen keskimääräistä kiihtyvyyttä ja pallon kuljetusnopeutta 60 minuutista eteenpäin jopa 6–8 % veteen ja plasebojaksoon verrattuna sekä keskimääräistä sprinttinopeutta verrattuna pelkkään veden nauttimiseen. Sprinttinopeus 15 metrillä oli nopein hiilihydraatti-elektrolyyttiliuoksella. Pallon kuljettaminen oli noin 8 % tarkempaa hiilihydraattijaksossa veteen ja plaseboon nähden 75–90 minuutin kohdalla verrattuna suorituksen ensimmäiseen 15 minuuttiin. Harjoituksen lopussa päätöksenteko, numeerinen työmuisti ja kuvantunnistuksen reaktioajat paranivat hiilihydraattiliuoksella, mutta vastaukset ilmaantuivat heikompien oikeiden vastausten yhteydessä.

22 miespuolisella ammattipelaajalla tutkittiin 7-prosenttisen hiilihydraattiliuoksen vaikutusta suorituskykyyn simuloitussa jalkapallo-ottelussa (Goedecke ym. 2013). Tutkimuksessa oli tarkoitus jäljitellä aitoa pelitilannetta mahdollisimman tarkasti myös ravitsemuksen osalta, joka tarkoitti käytännössä sitä, että pelaajat valmistautuivat tutkimukseen kuten he olisivat valmistautuneet normaaliin pelipäivään. Tutkittavat suorittivat muunnelman LIST-testistä, jotta se vastasi tutkimuksen tarkoitusta paremmin. Testi jaettiin kahteen osaan, josta ensimmäinen sisälsi viisi 15 minuutin osiota 90 sekunnin tauolla ja 3 minuutin puoliajalla kolmannen osion jälkeen. Ennen LIST-testiä ja ensimmäisen osion jälkeen tutkittavat suorittivat muunnelman jalkapallolle tyypillistä ketteryyttä mittaavasta Illinoisin ketteryystestistä, joka sisälsi pallon kuljetusta kartioiden välistä. Tutkittavien suoritukset kellotettiin, joista valittiin nopein aika kahdesta suorituksesta. Ketteryydestin jälkeen tutkittavat suorittivat 20 metrin vetoja progressiivisesti kasvavilla tehoilla uupumukseen asti. Jokaisen 15 minuutin osioiden jälkeen harjoituksen koettu rasittavuus lisääntyi, mutta kokeiden välillä ei ollut eroja koetussa rasittavuudessa, ketteryydessä tai ajassa, joka johti uupumukseen.

15 ammattilaisakatemiajalkapalloilijalla tutkittiin 6-prosenttisen hiilihydraatti-elektrolyyttiliuoksen vaikutusta jalkapallo-ottelusimulaatiossa syöttöön, kuljetukseen ja laukaisuun (Russell ym. 2012). 90 minuuttia kestävä jalkapallo-ottelusimulaatio koostui kahdesta 45 minuuttia kestävästä osiosta, joiden välillä oli 15 minuutin puoliaika. Simulaatio koostui jalkapallo-ottelun lajitaidoista (tarkkuus, onnistumisprosentti, pallon nopeus ja nopeus-tarkkuus-onnistumisindeksi eli SMS-indeksi) sekä jaksottaisesta juoksusta. Tarkkuutta mitattiin pallon keskikohdan ja kohteen välisellä etäisyydellä, onnistumista syötöissä ja potkuissa prosenttiosuuksina yrityksistä ja kuljetusmenestys koskemattomien kartioiden prosenttiosuutena.

Tutkimusjaksojen välillä ei havaittu eroja laukaisutarkkuudessa, laukaisujen onnistumisprosentteissa, kuljetustarkkuudessa, syöttötarkkuudessa tai syöttöjen onnistumisessa. Hiilihydraattijaksossa laukaisunopeus oli suurempi ja laukaisunopeus heikkeni vähemmän harjoituksen edetessä, kun plasebojaksossa laukaisunopeuden heikkeneminen oli suurempaa. Lisäksi hiilihydraattiliuos kohotti laukaisunopeutta 9,7 % suuremmaksi ja paransi kokonaislaukaisusuorituskykyä harjoituksen lopussa. Koettu rasittavuus suureni harjoituksen edetessä, mutta liuoksen koostumus ei vaikuttanut siihen.

Hiilihydraatti-elektrolyyttiliuoksen (6,4 %) vaikutusta jalkapallon taitosuorituskykyyn tutkittiin 17 jalkapalloilijalla 90 minuuttia kestävässä LIST-testissä (Ali ja Williams 2009). Tutkimusta edeltävänä päivänä tutkittavat suorittivat glykogeenivarastot tyhjentävän harjoituksen ja nauttivat sen jälkeen vähähiilihydraattisen aterian. LIST-testissä tutkittavat suorittivat kuusi 15 minuutin osiota neljän minuutin tauoilla. Tutkittavat suorittivat myös Loughboroughin jalkapallon syöttötestin (Loughborough Soccer Passing Test, LSPT), jossa heidän täytyi suorittaa 16 läpiajoa värillisten kartioiden läpi ja samalla ohjailta palloa kartioiden ja ruutujen ympärillä mahdollisimman nopeasti. Virheellisistä suorituksista tai huonosta pallonhallinnasta seurasi aikasakko. Taitotesti suoritettiin ennen LIST-testiä, jokaisen tauon aikana ja koko suorituksen jälkeen.

Hiilihydraatti-elektrolyytti- ja plasebojaksojen välillä ei havaittu eroja liikkumisajassa. Kun vertailtiin tuloksia ennen harjoitusta ja sen jälkeen havaittiin, että hiilihydraatti-elektrolyyttijaksossa suorituskyky laski 3 ± 12 % ja plaseboliuosta nauttineilla vastaava luku oli 14 ± 24 %, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevää. Merkitseviä aikaeroja kokeiden välillä huomattiin 0–45 ja 75–90 minuutin kohdissa. Suorituskyky laski kauttaaltaan harjoituksen loppua kohti, mutta viimeisessä osiossa sitä pystyttiin ylläpitämään paremmalla

tasolla hiilihydraatti-elektrolyyttijaksossa. Koetun rasittavuuden keskiarvo nousi jokaisen osion myötä, mutta eroja ei havaittu hiilihydraatti-elektrolyytti- ja plasebojaksojen välillä.

7,5-prosenttisen hiilihydraattiliuoksen vaikutusta jalkapallon suorituskykyyn tutkittiin yhdellätoista yliopistojalkapalloilijalla (Currell ym. 2009). Tutkittavat nauttivat tutkimusliuoksia suorituksen aikana ja 30 minuuttia ennen harjoituksen alkua. Plasebojakso suoritettiin kaksi kertaa (A ja B) ja hiilihydraatti-elektrolyyttijakso kerran. Ennen harjoituksen alkua tutkittavat suorittivat neljä jalkapallospesifistä taitotestiä. 90 minuuttia kestävä protokolla sisälsi kymmenen kuuden minuutin osiota, jossa tutkittavat suorittivat jäljitelmiä jalkapallo-ottelussa käytetyistä liikkeistä. Osiot erotettiin kahdella neljästä jalkapallospesifisestä testistä ja heti sen jälkeen suoritettiin seuraava osio. Jalkapallospesifisessä testissä mitattiin ketteryyttä juoksemalla eri kohteiden läpi mahdollisimman nopeasti, kuljettamista kuljettamalla palloa edestakaisin viiden eri etäisyydellä olevan kartion läpi mahdollisimman nopeasti, potkutarkkuutta laukomalla palloa yhdeksään lohkokon jaettua maalia kohti ja puskua hyppäämällä ilmaan asetettua palloa kohti, jonka etäisyyttä maasta nostettiin neljän senttimetrin välein.

Ketteryysjuoksussa oli selkeä 2 % parannus hiilihydraattijaksossa, mutta jokaisen taitotestin itsenäinen analyysi osoitti merkittävää heikkenemistä ketteryysuorituskyvyssä hiilihydraattijaksossa. Kuljetussuorituskyky parantui hiilihydraattijaksossa, mutta heikkeni kauttaaltaan harjoituksen loppua kohti. Hiilihydraattiliuos pystyi kuitenkin hidastamaan kuljetussuorituskyvyn heikkenemistä plaseboliukseen verrattuna harjoituksen loppua kohti. Puskusuorituskyky ei merkittävästi eronnut jaksojen välillä, eikä merkittävää uupumusta havaittu kokeen aikana. Potkutarkkuus heikkeni harjoituksen loppua kohti, mutta potkusuorituskyvyssä havaittiin merkittävä parannus hiilihydraattiliuoksella.

Hiilihydraatti-elektrolyyttiliuoksen vaikutusta tutkittiin 16 yliopistojalkapalloilijalla syöttö- (Loughborough Soccer Passing Test, LSPT) ja laukaussuorituskykyyn (Loughborough Soccer Shooting Test, LSST) (Ali ym. 2007). Taitosuoritteet tehtiin ennen 90 minuuttia kestävästä LIST-testistä ja sen jälkeen, tutkittavien nauttiessa 15 minuutin välein joko 6,4-prosenttista hiilihydraatti-elektrolyyttiliuosta tai plaseboa. Ennen koetta tutkittavat olivat paastonneet 10 tunnin ajan ja suorittaneet glykogeenivarastot tyhjentävän harjoituksen edellisenä iltana.

Syöttösuorituskykyä pystyttiin ylläpitämään paremmin, sekä sen aikana virheistä seurannut aikarangaistus näytti olevan pienempi hiilihydraatti-elektrolyyttijaksossa plasebojaksoon

verrattuna, mutta kumpikaan ei ollut tilastollisesti merkitsevää. Pienempi virheistä seurannut aikarangaistus hiilihydraatti-elektrolyyttijaksossa näytti vaikuttavan enemmän hienomotoriseen kontrolliin, kuten syöttöihin ja pallon hallintaan, ja kognitiivisiin toimintoihin kuin kokonaismotoriseen suorituskyyyn. Laukaisusuorituskyvyn keskiarvopisteissä oli merkittävä ero harjoituksen jälkeen verrattuna harjoitusta edeltäviin pisteisiin, mutta niissä ei ollut eroja hiilihydraatti-elektrolyyttiliuoksen ja plasebon välillä. Plasebojaksossa laukaisu- ja suorituskyyky harjoituksen jälkeen oli heikompi kuin hiilihydraatti-elektrolyyttijaksossa. 90 minuutin LIST-testin aikana keskimääräinen sprinttiaika oli nopeampi hiilihydraatti-elektrolyyttijaksossa. LIST-testi aloitettiin kuitenkin tyhjillä glykogeenivarastoilla, joka on huomioitava tuloksia tulkittaessa.

Hiilihydraattiliuoksen vaikutusta mielentilaan liittyviin vaiheisiin ja koettuun rasittuneisuuteen pitkäkestoisen, korkeaintensiteettisen jaksottaisen liikunnan aikana tutkittiin 17 jalkapalloilijalla (Backhouse ym. 2007). 6,4-prosentista hiilihydraattiliuosta tai plaseboa nautittiin ennen harjoitusta ja 90 minuuttia kestävä harjoituksen aikana 15 minuutin välein. Mielihyvän ulottuvuuden mittarina käytettiin tunneasteikkoa (The Feeling Scale, FS), valppauden tunnetta mittaavaa asteikkoa (Felt Arousal Scale, FAS) sekä harjoituksen koettua rasittavuutta mitattiin RPE-asteikolla (Rate of Perceived Exertion). RPE mitattiin 15 minuutin välein harjoituksen aikana, FS ja FAS ennen harjoitusta, 15 minuutin välein sekä harjoituksen jälkeen. Tutkittavat suorittivat LIST-testin, jota ennen he olivat suorittaneet glykogeenivarastot tyhjentävän harjoituksen tutkimusta edeltävänä iltana. Harjoituksen viimeisen 30 minuutin aikana koettu valppaus oli korkeampi hiilihydraattijaksossa. Mielihyvä laski harjoituksen edetessä ja kohosi taas 15 minuuttia harjoituksen jälkeen. Harjoituksen loppua kohti koettu rasittavuus kasvoi, mutta jaksojen välillä ei havaittu eroa.

5.2 Suorituksen aikaisen hiilihydraattien nauttimisen vaikutus muissa palloilulajeissa

Jääkiekon maalivahdeilla (n=11) tutkittiin lievän nestehukan vaikutuksia lämmönsäätelyyn, sykkeeseen, uupumukseen ja suorituskyyyn (McCarthy ym. 2020). Jokaisessa tutkimusjaksossa maalivahdit suorittivat lämmittelyn jälkeen 70 minuutin 3 vastaan 3 pienpelin ja sen jälkeen 24 minuutin ajan drillejä sekä mittauksia jääharjoituksen jälkeen. Reaktioaikaa ja liikkumista tutkittiin laukomisharjoituksessa ja drilleissä. Maalivahdit nauttivat testin aikana joko 6-prosentista hiilihydraatti-elektrolyyttiliuosta arvioidun menetety hienmäärän mukaan, saman määrän vettä tai ei ollenkaan nestettä, jolloin menettivät 2,4 % kehon painostaan. Tutkimuksessa havaittiin koetun rasituksen vähentyneen sekä torjuntaprosentin kasvaneen

pienpelin viimeisellä kymmenellä minuutilla nautittaessa vettä tai hiilihydraatti-elektrolyyttiliuosta. Nesteitä nautittaessa myöskin liikkumisnopeus ja reaktioaika olivat nopeampia. Koettu rasitus väheni merkittävästi hiilihydraatti-elektrolyyttijaksossa sekä lisäsi huippuliikkeen tehoa. Nesteytyksen ylläpitoon verrattuna lievä nestehukka lisäsi fysiologista rasitusta ja uupumusta sekä heikensi maalivahtien suorituskykyä. Koettu uupumus vähentyi hiilihydraattijaksossa verrattuna veteen, sekä vaikutti positiivisesti liikkumiseen.

McRaen ja Gallowayn (2012) tutkimuksessa tutkittiin 6,4-prosenttisen hiilihydraatti-elektrolyyttiliuoksen vaikutusta taitosuorituskykyyn kahden tunnin tennisottelussa plaseboon verrattuna (n=22). Kahden tunnin ottelun lisäksi tutkittavat suorittivat taitotestin ennen ottelua ja sen jälkeen. Taitotestissä testattiin tutkittavien maanpinnalta suoritettavien lyöntien tarkkuutta sekä syötön tarkkuutta ja nopeutta. Syöttöjä suoritettiin sekä kämmen- että rystypuolelta.

Hiilihydraattijaksossa tutkittavat raportoivat tunteneensa olonsa energisemmäksi ja valppaammaksi tunti ottelun alun jälkeen (McRae ja Galloway 2012). Lisäksi plasebojaksoon verrattuna hiilihydraatti-elektrolyyttijaksossa tutkittavat pystyivät työskentelemään pidemmän ajan kohtuullisessa intensiteetissä ja lyhyemmän ajan matalassa intensiteetissä. Lajisuorituksissa hiilihydraattiliuos lisäsi kokonaissyöttömenestystä, ensimmäisten syöttöjen menestystä sekä ottelun toisessa erässä paluusyötöt olivat parempia. Suurempaan kokonaispistemäärään parantunut takaisinlyöntimenestys ei kuitenkaan siirtynyt. Taitotestin, peruslyönnin tai syötön kokonaispistemäärissä ei ollut eroja jaksojen välillä. Ottelussa pelattujen pitkien pallojen lukumäärässä, pitkien pallojen lyöntimäärässä tai erien pitkien pallojen määrässä ei havaittu eroja hiilihydraatti-elektrolyytti- ja plasebojakson välillä. Koetussa rasittavuudessa ei ollut eroja tutkimusjaksojen välillä.

Yhdeksällä sulkapalloilijalla tutkittiin 6,4-prosenttisen hiilihydraattiliuoksen vaikutusta suorituskykyyn plaseboon verrattuna Bottomsin ja kumppaneiden (2012) tutkimuksessa. Ennen virallista testiä, tutkittavat suorittivat lajinomaisen lämmittelyn ja valintareaktioaikatestin, jossa tutkittavan täytyi reagoida yhteen kahdesta valosta ja juosta viiden metrin matka aikaporttien läpi. Tämän jälkeen tutkittavat suorittivat sulkapallon syöttötarkkuustestin, jossa heidän täytyi syöttää 10 lyhyttä ja 10 pidempää syöttöä 50 x 50 cm kokoiseen alueeseen. Esiväsytystestin jälkeen tutkittavat nauttivat hiilihydraatti-elektrolyytti- tai plaseboliuosta, jota seurasi 15 minuutin tauko ja suorittivat sitten väsytysharjoituksen. Matkien sulkapallo-ottelun rakennetta,

harjoituksessa suoritettiin kolme osiota, kestäen yhteensä 33 minuuttia. Sen jälkeen tutkittavat suorittivat syöttötarkkuustestin uudelleen.

Hiilihydraattijaksossa pitkää syöttötarkkuutta pystyttiin ylläpitämään paremmin harjoituksen aikana, kun plasebojaksossa pitkän syötön tarkkuus heikkeni merkittävästi (Bottoms ym. 2012). Väsymys ei vaikuttanut lyhyen syötön tarkkuuteen kummassakaan tutkimusjaksossa, eikä hiilihydraattiliuoksella ollut vaikutusta siihen. Reaktioaikaan hiilihydraattiliuos ei merkittävästi vaikuttanut, mutta reaktioaika heikkeni ennen harjoitusta mitatuista arvoista harjoituksen jälkeen mitattuihin.

Kahdellakymmenellä joukkueurheilutaustaa omaavalla aktiivisella henkilöllä tutkittiin hiilihydraattiliuoksen vaikutuksia fyysiseen suorituskyykyyn ja keskushermoston toimintaan jaksottaisen korkeaintensiteettisen harjoituksen aikana, joka vastasi joukkuelajien fyysisiä vaatimuksia (Winnick ym. 2005). Kokeen aikana tutkittavat nauttivat joko 6-prosenttista hiilihydraatti-elektrolyyttiliuosta tai plaseboa. Tutkimus sisälsi neljä 15 minuutin osiota 20 minuutin puoliajalla sekä testipatteriston mittaamaan ääreis- ja keskushermoston toimintaa. Testipatteristo koostui vaihtelevalla intensiteetillä suoritetuista 20 metrin sprinteistä, 60 sekunnin maksimaalisesta hyppytestistä, sisäisen ja ulkoisen mielialan arvioinnista, voiman tunteesta, motoristen taitojen testeistä ja kohdehyppy tarkkuudesta. Toisen ja neljännen neljänneksen jälkeen mitattiin kognitiivista toimintaa väritestillä (Stroop Color and Word Test) ja mielialaa POMS-testillä (Profile of Mood States), jota käytettiin myös mittaamaan mielialan muutoksia, kuten uupumusta, puhtia, sekavuutta, apaattisuutta, vihaa ja jännittyneisyyttä. Mielialatuloksia verrattiin tutkittavien aiempiin tuloksiin, jotka oli mitattu tutkimuspäivän aamuna. Tutkittavien mielialaa kokeen aikana arvioivat myös ulkopuoliset valmentajat samankaltaisen POMS-testin avulla.

Ensimmäisen neljänneksen aikana 20 metrin sprinttiajat olivat miltei identtiset jaksojen välillä, jonka jälkeen plasebojakson tulokset alkoivat progressiivisesti laskea. Viimeisessä neljänneksessä sprinttiajat olivat noin 0,10 sekuntia nopeampia hiilihydraattikokeessa. Myös 20 hypyn keskiverto hyppykorkeus oli korkeampi hiilihydraattijaksossa. 60 sekunnin hyppytestissä keskimääräistä hyppykorkeutta pystyttiin ylläpitämään paremmin hiilihydraattijaksossa, kun taas plasebojaksossa havaittiin huomattava lasku. Lähtötilanteeseen verrattuna väritestin tulokset olivat korkeampia puoliajalla molemmissa asetelmissä, mutta väheni hieman loppua kohti plasebojaksossa. POMS-testin kokonaispistemäärässä ei ollut eroja eri tutkimusjaksojen välillä, mutta hiilihydraattiliuoksen nauttiminen sai aikaan paremman

vaikutuksen yleiseen mielialaan ja tarmokkuuteen. Suoritus aika motoristen taitojen testissä oli nopeampi hiilihydraattijaksossa, minkä arvioitiin johtuvan pienemmästä virheiden määrästä kolmannen ja neljännen neljänneksen aikana (virheistä seurasi aikasakko).

Welshin ja kumppaneiden (2002) tutkimuksessa tutkittiin jaksottaisessa korkeaintensiteetisessä harjoituksessa hiilihydraatti-elektrolyyttiliuoksen vaikutusta fyysiseen ja mentaaliseen suorituskykyyn. Tutkimuksessa tutkittavat (n=10) suorittivat koripallon lajivaatimuksia vastaavan korkean intensiteetin sukkulajuoksuprotokollan, joka koostui neljästä 15 minuutin osiosta. Jokaisessa neljänneksessä tutkittavat suorittivat sukkulajuoksua eri nopeuksilla, jotka oli laskettu heidän maksimaalisesta hapenottokyvystään. Protokollan puolivälissä oli 20 minuutin tauko. Testin aikana fyysistä suorituskykyä mitattiin uupumukseen johtavalla sukkulajuoksulla, 20 metrin maksimaalisella sprintillä, 10 toiston maksimaalisella vertikaalisella hypyillä ja koko kehon motoristen taitojen testillä. Mentaalista suorituskykyä mitattiin mielialaprofiilitestillä (POMS) ja väritestillä (Stroop Color and Word Test). Toisessa tutkimusjaksossa tutkittavat nauttivat plaseboliuosta ja toisessa 6-prosenttista hiilihydraatti-elektrolyyttiliuosta.

Tuloksissa havaittiin, että uupumukseen johtava juoksu aika oli 37 % pidempi ja viimeisessä neljänneksessä 20 metrin sprinttiaika oli 14 % nopeampi hiilihydraatti-elektrolyyttijaksossa (Welsh ym. 2002). Koko viimeisen neljänneksen aikana hiilihydraatti-elektrolyyttijaksossa tutkittavat pystyivät ylläpitämään merkittävästi nopeampia sprinttiaikoja plasebojaksoon verrattuna. Ennen viimeistä neljänneistä ei jaksojen välillä havaittu eroja. Lisäksi harjoituksen loppupuolella motoristen taitojen suorituskyky parani plaseboon verrattuna, kuten myös POMS-testillä mitatut itseraportoidut väsymyksen havainnot. Hiilihydraatti-elektrolyyttijaksossa nopeus ja ketteryys paranivat motoristen taitojen testissä. Väritestissä, POMS-testin kokonaispistemäärässä tai 30 sekunnin vertikaalihyppytestissä ei havaittu eroja jaksojen välillä.

Taulukko 1 Yhteenvedo tutkimusartikkeleista, joissa tutkittiin suorituksen aikaista hiilihydraattien nauttimista jalkapallossa 2010-luvulta.

Tutkimus	Otos ja laji	Tutkimusprotokolla	Testit	Tulokset
Sun ym. 2020	n=16 jalkapallo	6 % CHO-E vs. 4 % CHO-E- 2% heraproteiini vs. PL-E Tasaisin väliajoin	LIST, VST, ST, RVIPT	VST:ssä CHO-E paransi reagointiaikaa, mutta PL-E auttoi ylläpitämään tarkkuutta CHO-E paransi vasteaikoja harjoituksen lopussa ST:ssä
Rodriguez-Giustiniani ym. 2019	n=18 jalkapallo	12 % CHO-E vs. PL-E 250 ml kahdessa osassa	SMS, lajitaitotestit	CHO-E paransi syöttötarkkuutta hallitsevalla jalalla 15 ja 90 min aikapisteissä sekä heikommalla jalalla 60 ja 75 min aikapisteissä CHO-E edesauttoi syöttönopeuden ylläpitoa 75 min eteenpäin CHO-E paransi korkeaintensiteettistä juoksukapasiteettia harjoituksen jälkeen
Harper ym. 2017	n=15, jalkapallo	12 % CHO-E vs. PL-E vs. vesi 500 ml kahdessa osassa	SMS, kognitiivisia toimintoja mittaavat testit	Keskimääräinen kiihtyvyys, pallon kuljetusnopeus 60 min eteenpäin ja keskimääräinen sprintinopeus paranivat CHO-E 15 m sprintti nopein CHO-E Ei eroja kognitiivisissa toiminnoissa juomien koostumusten välillä
Goedecke ym. 2013	n=22 jalkapallo	7 % CHO-E vs. PL-E 700 ml tasaisin väliajoin	LIST, Illinoisin ketteryydesti	Ei havaittuja eroja liuosten välillä
Russel ym. 2012	n=15 jalkapallo	6 % CHO-E vs. PL-E Tasaisin väliajoin	SMS, sis. lajitaitotestit	CHO-E lisäsi laukaisunopeutta ja vähensi laukaisunopeuden heikkenemistä Harjoituksen lopussa CHO-E kohotti laukaisunopeutta 9,7 % sekä paransi kokonaislaukaisusuorituskykyä

CHO-E: hiilihydraatti-elektrolyyttiliuos; **PL-E:** plasebo-elektrolyyttiliuos; **RVIPT:** Rapid Visual Information Processing Test; **SMS:** jalkapallossa ottelusimulaatio; **ST:** Stroop Test; **VST:** Visual Search Test

Taulukko 2 Yhteenvedo tutkimusartikkeleista, joissa tutkittiin suorituksen aikaista hiilihydraattien nauttimista jalkapallossa 2000-luvulta.

Tutkimus	Otos ja laji	Tutkimusprotokolla	Testit	Tulokset
Ali ja Williams 2009	n=17 jalkapallo	6,4 % CHO-E vs. PL 800 ml/h tasaisin väliajoin	LIST, LSPT	Harjoituksen loppupuolella suorituskykyä pysyttiin paremmin ylläpitämään CHO-E avulla
Currell ym. 2009	n=11 jalkapallo	7,5 % CHO-E vs. PL Yht. noin 1 l, tasaisin väliajoin	Jalkapallospesifisiä taitotestejä	CHO-E paransi kuljetussuorituskykyä ja hidasti sen heikkenemistä harjoituksen loppua kohti CHO-E paransi potkusuorituskykyä harjoituksen lopulla
Ali ym. 2007	n=16 jalkapallo	6,4 % CHO-E vs. PL Tasaisin väliajoin	LIST, LSPT, LSST Edellisenä iltana glykogeenivarastojen tyhjentämisharjoitus, jonka jälkeen VHH iltapala	CHO-E paransi laukaisusuorituskykyä harjoituksen jälkeen verrattuna PL CHO-E johti pienempään virheiden määrään hienomotorisissa taidoissa ja kognitiivisissa toiminnoissa Keskimääräinen sprinttiaika LIST:n aikana oli suurempi CHO-E
Backhouse ym. 2007	n=17 jalkapallo	6,4 % CHO-E vs. PL Tasaisin väliajoin	LIST, FS, FAS, RPE Edellisenä iltana glykogeenivarastot tyhjentävä harjoitus	CHO-E paransi koettua valppautta viimeisen 30 min aikana

CHO-E: hiilihydraatti-elektrolyyttiliuos; **FAS:** Felt Arousal Scale; **FS:** The Feeling Scale; **LSPT:** Loughborough Soccer Passing Test; **LSST:** Loughborough Soccer Shooting Test; **PL:** plaseboliuos; **RPE:** Rate of Perceived Activation

Taulukko 3 Yhteenvedo tutkimusartikkeleista, joissa tutkittiin suorituksen aikaista hiilihydraattien nauttimista muissa palloilulajeissa.

Tutkimus	Otos ja laji	Tutkimusprotokolla	Testit	Tulokset
McCarthy ym. 2020	n=11 jäähkiekko	6 % CHO-E vs. nesteytys (vesi) vs. nestehukka Tasaisin väliajoin	Pienpeli, laukomisharjoitus, drillejä	CHO-E vähensi koettua räsytystä ja lisäsi huippuliikkeen tehoa
McRae & Galloway 2012	n=22 tennis	6,4 % CHO-E vs. PL-E Tasaisin väliajoin	Tennisottelu, lajitaitotestit	CHO-E lisäsi valppautta ja energisyyden tunnetta CHO-E lisäsi työskentelyä korkeammalla intensiteetillä CHO-E paransi kokonaissyöttömenestystä, ensimmäisten syöttöjen menestystä ja paluusyöttöjen laatua toisessa erässä
Bottoms ym. 2011	n=9 sulkapallo	6,4 % CHO-E vs. PL-E 11 kahdessa osassa	Valintareaktioaikatesti, syöttötarkkuustesti	CHO-E auttoi ylläpitämään pitkän syötön tarkkuutta CHO-E auttoi estämään lyhyen syötön suorituskyvyn laskua, joka havaittiin PL-E
Winnick ym. 2005	n=20 joukkuelajit	6 % CHO-E vs. PL-E 690 ml/h, tasaisin väliajoin	Joukkuelajien fyysisiä vaatimuksia vastaava koe, motoristen taitojen testejä, SCWT, POMS	CHO-E auttoi ylläpitämään sprinttisuorituskykyä ja hyppykorkeutta CHO-E sai aikaan paremman vaikutuksen yleiseen mielialaan ja vähensi virheiden määrää motoristen taitojen testissä harjoituksen loppupuolella
Welsh ym. 2002	n=10 koripallo	6 % CHO-E vs. PL Tasaisin väliajoin	Koripalloa vastaava sukkulajuoksuprotokolla, POMS, SCWT	CHO-E pidensi uupumukseen kuluvaa aikaa, sprinttiaikoja harjoituksen lopussa ja paransi motoristen taitojen suorituskykyä harjoituksen loppupuolella

CHO-E: hiilihydraatti-elektrolyyttiliuos; **PL:** plasebolius; **PL-E:** plasebo-elektrolyyttiliuos; **POMS:** Profile of Mood State; **SCWT:** Stroop Color and Word Test

6. POHDINTA

Tutkielman kirjallisuuskatsauksen perusteella suorituksen aikainen hiilihydraattien saanti palloilulajeissa parantaa suorituskykyä etenkin harjoituksen loppupuolella sekä näyttää hidastavan suorituskyvyn laskua. Hiilihydraattiliuoksen havaittiin pidentäneen uupumukseen kuluvaa aikaa ja parantaneen sprinttinopeutta plaseboliuokseen verrattuna harjoituksen lopussa. Useimmissa tutkimuksissa vaikutukset suorituskykyyn havaittiin suorituksen loppupuolella. Lisäksi hiilihydraattiliuoksen havaittiin vaikuttavan edullisesti muun muassa reagointiaikaan, virheiden määriin, syöttötarkkuuksiin ja -nopeuksiin sekä juoksukapasiteettiin.

Palloilulajeissa suoritus kuluttaa runsaasti glykogeenivarastoja, jotka ovat usein suorituskykyä rajoittava tekijä (Maughan 2000). Glykogeenivarastojen ehtyminen laskee suorituskykyä, johtaa väsymykseen ja suorituksen intensiteetin laskuun pitkäkestoisen liikunnan aikana (Thomas ym. 2016). Hiilihydraattien nauttiminen suorituksen aikana voi ehkäistä glykogeenivarastojen ehtymisestä johtuvaa suorituskyvyn laskua etenkin harjoituksen loppupuolella, mikä voi selittää hiilihydraattiliuoksen positiiviset vaikutukset suorituskykyyn harjoitusten lopussa.

Joissain tutkimuksissa havaittiin, että hiilihydraattiliuosta nautittaessa tehtiin vähemmän virheitä motoristen taitojen ja kognitiivisten toimintojen testeissä harjoituksen lopussa, mikä todennäköisesti johtui hiilihydraattien nauttimisen keskushermostovaikutuksista. Etenkin motoriset toiminnot vaativat paljon hermoston toiminnalta, jota aivot säätelevät. Aivojen tärkein energianlähde on glukoosi, jota tuotetaan hiilihydraateista energia-aineenvaihdunnan kautta (Lanham-New ym. 2011). Glykogeenivarastojen ehtyessä motoristen taitojen parempi ylläpito hiilihydraattiliuoksella voi selittää hiilihydraattien keskushermostoa stimuloivan vaikutuksen kautta.

6.1 Tutkittavat ja tutkimusasetelmat

Tutkittavat olivat pääasiassa 18–22-vuotiaita yliopistotasoisia urheilijoita ja otoskoot vaihtelivat 9–22 tutkittavan välillä. Kokeellisiin tutkimuksiin otoskoot olivat riittävän suuria havaitsemaan vaikutuksia eri liuosten välillä, kuitenkin mahdollistaen useampien testien toteuttamisen tutkimuksen aikana. Tutkimusten vaihtovuoroinen tutkimusasetelma sekä tutkittavien perehdyttäminen tutkimusprotokollaan lisäsivät tutkimusten luotettavuutta ja vertailukelpoisuutta. Ennen ensimmäistä tutkimuskertaa tutkittavat kirjasivat vähintään edellisen vuorokauden ajan kaikki syömisensä ja

juomisensa sekä välttivät voimakasta fyysistä rasitusta. Toistettaessa sama kaava eri tutkimuskertojen välillä, pystyttiin olosuhteet vakioimaan glykogeenivarastojen täyttöasteen ja ruokavalion kokonaishiilihydraattien määrän näkökulmasta.

Mukaan tarkasteluun päätyi kuitenkin kaksi tutkimusta (Ali ym. 2007, Backhouse ym. 2007), joissa tutkittavat olivat suorittaneet glykogeenivarastot tyhjentävän harjoituksen edellisenä iltana ja nauttineet sen jälkeen vähähiilihydraattisen aterian. Matalat glykogeenipitoisuudet voivat johtaa teholtaan matalampaan suoritukseen, heikompaan suorituskykyyn, intensiteetin ylläpidon haasteisiin, väsymyksen voimistumiseen ja harjoituksen rasittavuuden lisääntymiseen. Väsymys voi myös ilmaantua aiemmin ja taitotaso heikentyä glykogeenivarastojen ollessa matalat (Ali ym. 2007). Alin ja kumppaneiden (2007) tutkimuksessa hiilihydraatti-elektrolyyttiliuoksen vaikutukset suorituskykyyn olivat samoja, joita oli havaittu myös niissä tutkimuksissa, joissa glykogeenivarastojen täyttöasteeseen ei ollut pyritty vaikuttamaan ennen tutkimussuoritusta. Ennen suoritusta mitatut matalat glykogeenipitoisuudet ovat yhteydessä voimakkaampaan uupumukseen, matalampaan työskentelytehoon, pienempään liikkumapinta-alaan ja lyhyempään korkeassa intensiteetissä vietettyyn aikaan (Ali ym. 2007). Oletettua on, että hiilihydraattiliuoksen vaikutuksia oli helpompi havaita tutkimuksissa, joissa harjoitus toteutettiin tyhjillä glykogeenivarastoilla, koska silloin suorituksen aikaisen hiilihydraattien nauttimisen vaikutus voi korostua.

6.2 Tutkimusmenetelmät

6.2.2 Motoristen taitojen mittaaminen

Motoristen taitojen mittaamenetelmät olivat tutkimusten välillä pääasiassa yhteneviä. Suorituskykyä mitattiin pääasiassa LIST:n ja jalkapallo-ottelusimulaation avulla, ja lajitaitoja samankaltaisilla menetelmillä tutkimusten välillä. Esimerkiksi LIST:ssä tutkittavien testien aikaiset juoksunopeudet laskettiin etukäteen heidän maksimaalisen hapenottookykynsä mukaan, joka testattiin ennen tutkimuskertoja. Näin pystyttiin varmistamaan, että tutkittavat juoksevat vaadittavalla nopeudella ja siten saavuttavat riittävän suuren rasitustason suorituksen aikana. LIST:ä pidetään yleisesti luotettavana menetelmänä, mutta sen tulokset eivät välttämättä ole yleistettävissä aitoon pelitilanteeseen. Samojen menetelmien käyttö lisää vertailukelpoisuutta ja luotettavuutta tutkimusten välillä. Suurimmaksi osaksi hiilihydraattiliuoksen vaikutuksia oli havaittu paremman sprintinopeuden ja suorituskyvyn ylläpidossa sekä uupumukseen kuluvan ajan pidentymisessä.

Lajitaidoissa hiilihydraattiliuoksen havaittiin parantaneen syöttötarkkuutta, edesauttaneen syöttönopeuden ylläpitoa harjoituksen loppupuolella, parantaneen pallon kuljetusnopeutta, lisänneen laukaisunopeutta ja vähentäneen sen heikkenemistä, parantaneen potkusuorituskykyä sekä mailapeleissä parantaneen syöttömenestystä ja -tarkkuutta. Lajitaitoja jalkapallotutkimuksissa oli mitattu esimerkiksi LSPT:n ja LSST:n avulla, jotka mittasivat hyvin lajinomaisesti motoristen taitojen suorituskykyä, mutta niitä ei hyödynnetty kuin parissa tutkimuksessa. Tutkittaessa hiilihydraattiliuoksen vaikutuksia motorisiin taitoihin jatkossa, voisi LSPT:tä ja LSST:tä hyödyntää laajemmin, sekä kehittää vastaavia lajitaitoja mittaavia menetelmiä myös muihin palloilulajeihin.

6.2.3 Kognitiivisten toimintojen mittaaminen

Tutkimuksissa havaittiin hiilihydraattiliuoksen vaikuttaneen suorituskykyyn voimakkaammin motoristen taitojen kuin kognitiivisten toimintojen testeissä. Palloilulajeissa kognitiivista suorituskykyä on haastava mitata (Nuccio ym. 2017, Hills ja Russell 2017), ja hiilihydraattien nauttimisen vaikutuksia kognitiivisiin toimintoihin palloilulajeissa on tutkittu vähemmän (Sun ym. 2020). Tutkimuksissa käytetyt menetelmät kognitiivisten toimintojen mittaamiseen vaihtelivat tutkimusten välillä jonkin verran. Havaitut erot kognitiivisissa toiminnoissa olivat pieniä ja johtopäätökset niistä olivat ristiriitaisia. Esimerkiksi Harperin ja kumppaneiden (2017) tutkimuksessa hiilihydraattiliuos paransi reaktioaikaa ja päätöksentekoa. Vaikka tutkittavat reagoivat testissä nopeammin, he tekivät siinä enemmän virheitä. Liuoksen koostumusten välillä ei kuitenkaan havaittu eroja tutkittavien kognitiivisissa toiminnoissa.

Kognitiivisten toimintojen mittausmenetelmät tutkimusten välillä vaihtelivat, joten tuloksia on haastava vertailla keskenään. Sun ja kumppanit (2020) käyttivät kolmea eri menetelmää mittaamaan kognitiivisia toimintoja (VST, ST, RVIPT), joissa havaittiin parempia reagointi- ja vasteaikoja hiilihydraatti-elektrolyyttiliuoksella. Tulokset osoittivat, että hiilihydraattiliuoksella voi olla erilaisia vaikutuksia eri kognitiivisten toimintojen aspekteihin, ja vaikutukset olla siten spesifisiä liittyen testattuun toimintaan. Kahdessa tutkimuksessa oli käytetty mittausmenetelmänä POMS:a, joka ei välttämättä ole tarpeeksi tarkka menetelmä havaitsemaan muutoksia mielialassa mittauksien välillä, ja havaitut tulokset olivat ristiriitaisia. Tulevaisuudessa tarvitaan parempia menetelmiä tutkimaan kognitiivisia toimintoja palloilulajeissa sekä lisää tutkimusta hiilihydraattiliuoksen vaikutuksista niihin.

6.2.4 Liuosten koostumus

Hiilihydraattiliuokset kaikissa tutkimuksissa olivat elektrolyyttejä sisältäviä liuoksia. Plaseboliuoksista puolet sisälsivät elektrolyyttejä ja puolet olivat vain maultaan ja olomuodoltaan samankaltaisia. Tutkimuksen tuloksista ei voida päätellä, oliko plaseboliuksen sisältämällä elektrolyyteillä merkitystä tutkimusten tulosten kannalta. Hiilihydraatti-elektrolyyttiliuosten vahvuudet tutkimuksissa olivat 6–7,5-prosenttisia, lukuun ottamatta kahta tutkimusta (Harper ym. 2017, Rodriguez-Giustiniani ym. 2019). Niiden tulokset eivät eronneet laimeammilla liuoksilla tehdyistä tutkimuksista. Liuoksen väkevyys vaikuttaa mahalaukun tyhjenemiseen, vatsaoireiden riskiin ja voi vaikuttaa eri tavalla veren glukoosipitoisuuteen.

Pääasiassa liuoksia nautittiin tasaisin väliajoin: ennen suoritusta, puoliajalla ja osioiden tauoilla. Kolmessa tarkastelussa olleessa tutkimuksessa juoma oli nautittu kahdessa osassa (Bottoms ym. 2012, Harper ym. 2017, Rodriguez-Giustiniani ym. 2019). Näissä tutkimuksissa havaittiin vain satunnaisia yhteyksiä, jotka voivat viitata siihen, että tasaisesti nautittu liuos vaikuttaisi useampaan motoristen taitojen ja kognitiivisten toimintojen tekijöihin. Havainnot voivat myös johtua sattumasta tai siitä, että vastaavia tutkimuksia oli tarkastelussa vain kolme. Tasaisin väliajoin nautittu liuos voi olla laimeampi, se pystyy imeytymään nopeammin ja mahdollisesti aiheuttaa vatsaoireita vähemmän. Palloilulajien otteluissa olevat pelitauot vaihtelevat lajien välillä, eikä tasainen juominen kaikissa lajeissa ole mahdollista. Yleisesti ottaen suositellaan tasaista juomista noin 10–15 minuutin välein, mutta lajeissa, joissa ainoat mahdollisuudet juomiselle ovat ennen ottelua ja tauolla, saa samasta määrästä väkevämpää liuosta enemmän hiilihydraatteja verrattuna laimeampaan liuokseen ja siten hyötyä väkevämmän liuoksen hitaammasta imeytymisestä.

Nautittu liuosten määrä oli pääsääntöisesti suhteutettu tutkittavien kehonpainoon ja määrä vaihteli ajankohtien mukaan. Esimerkiksi Sunin ja kumppaneiden (2020) tutkimuksessa liuoksia oli nautittu ennen lämmittelyä 5 ml/kg ja 15 minuutin välein 2 ml/kg. Kun liuoksen määrä suhteutettiin kehonpainoon, pystyttiin nestetasapaino ylläpitää samalla tasolla tutkittavien välillä, mutta hiilihydraattien kokonaissaanti oli vaihteleva. Jos tutkittavien kehon painot erosivat merkittävästi, voi suorituksen aikaisessa hiilihydraattien saannissa olla suuriakin eroja. Toisaalta tutkimuksissa, joissa nautittu liuoksen määrä oli vakio, oli hiilihydraattien määrä suhteessa tutkittavien kehonpainoon vaihteleva. Goedekce ja kumppanit (2013) totesivat, että todennäköisesti vain kevyiden pelaajien hiilihydraatin saanti ylttäisi suorituskykyä parantavalle tasolle, jos kaikki pelaajat nauttivat saman verran hiilihydraatteja ottelun aikana. Näin ollen painavampien pelaajien voi olla tarpeen nauttia pelien aikana vahvempaa hiilihydraattiliuosta saavuttaakseen sama vaikutus suorituskykyyn. Lopulta

kuitenkin liuoksen vahvuuteen ja koostumukseen vaikuttavat suorituksen kesto ja teho, ja suorituksen aikainen hiilihydraattien määrä pitäisi suhteuttaa sen mukaan.

6.2.5 Tulosten analysointi

Joissain tutkimuksissa havaittiin, että hiilihydraattiliuos pystyi hidastamaan koetun rasittavuuden nousua harjoituksen edetessä, mutta joissain tutkimuksissa vaikutusta ei havaittu. Raskaampana koettu harjoitus voi heikentää keskittymiskykyä ja siten haitata motoristen taitojen ylläpitoa tai hidastaa kognitiivisia toimintoja johtaen heikompaan suorituskykyyn. Toisaalta harjoituksen rasittavuuden lisääntyessä urheilijan täytyy kohdentaa keskittymisensä vain meneillään olevaan suoritukseen, ja keskittymisen kohdentamisen kautta koettu rasittavuus voi edesauttaa suorituskykyä. Pelaajan subjektiivinen valppauden tunne voi edesauttaa päätöksenteossa käytettävää monimutkaista havainnointikykyä ja auttaa suhteuttamaan pelaajan asema esimerkiksi syöttöjen ajoituksiin (Backhouse ym. 2007). Hiilihydraatti-elektrolyyttiliuoksen on havaittu lisäävän valppauden ja energisyyden tunnetta sekä yleistä mielialaa (Winnick ym. 2005, McRae ja Galloway 2012), jotka voivat hidastaa harjoituksen koetun rasittavuuden kokemusta.

Rodriguez-Guistinianin ja kumppaneiden (2019) tutkimuksessa havaittiin hiilihydraattiliuoksen johtaneen parempaan pallonhallintaan heikommalla jalalla. Heikomman jalan hallinta vaatii enemmän niin keskushermostolta kuin keskittymiskyvyltäkin, joihin molempiin harjoituksen aiheuttama väsymys ja koettu rasittavuus voivat vaikuttaa. Tutkimuksessa ei havaittu eroja koetussa rasittavuudessa liuosten välillä, mutta se lisääntyi harjoituksen loppua kohti. Väsymys heikentää keskushermoston toimintaa, johon hiilihydraattiliuosta nauttimalla voidaan vaikuttaa. Se voi selittää suorituskyvyn ja syöttötarkkuuden paremman ylläpidon harjoituksen lopulla heikommalla jalalla hiilihydraattijaksossa.

Palloilulajeissa eniten virheitä tapahtuu otteluiden loppupuolella, johtuen pelaajien kasvaneesta väsymyksestä, taktisista virheistä sekä päätöksenteon ja hienomotoristen lajitaitojen heikkenemisestä. Alin ja Williamsin (2009) tutkimuksen tulokset suorituskyvyn heikkenemisestä harjoituksen lopussa näyttävät tukevan aiempaa väitettä siitä, että suurin osa jalkapallo-otteluiden maaleista tehdään pelin loppupuolella, koska puolustajat tekevät enemmän virheitä ottelun viimeisten 15 minuutin aikana. Heikentyneet reaktioajat voivat olla seurausta väsymyksestä johtuvasta heikentyneestä keskittymiskyvystä. Ilmiötä on pyritty selittämään sillä, että kohtalaisessa intensiteetissä pelaajat ovat valppaampia, joka on yhdistetty parempaan kognitiiviseen ja motoriseen

suorituskykyyn, kun taas matalassa intensiteetissä myös valppaus on alhaisempaa. Väitteet kuitenkin vaativat lisää tutkimusta.

6.3 Jatkotutkimukset

Tutkimusten tulokset olivat luotettavampia motoristen taitojen testeissä kuin kognitiivisten toimintojen, johtuen motoristen taitojen helpommasta mitattavuudesta ja luotettavammista tutkimusmenetelmistä. Tarvitaan parempia menetelmiä etenkin kognitiivisten toimintojen mittaamiseen, koska ne ovat ratkaisevassa asemassa osassa palloilulajien otteluita. Tarvitaan myös lisää tutkimusta muistakin palloilulajeista kuin jalkapallosta. Palloilulajeissa haasteita tutkimusmenetelmiin asettavat lajien moninaisuus ja erilaiset vaatimukset, kuten otteluiden, erien ja taukojen kestot tai pelaajien roolien erilaiset kuormitukset. Siksi samaa menetelmää ei välttämättä voi soveltaa kaikissa lajeissa tai toisessa lajissa saatuja tuloksia ei voi yleistää kaikkiin palloilulajeihin. Esimerkiksi jalkapallo on enemmän kestävyystyyppinen laji suuren kentän koon vuoksi verrattuna tennikseen, jossa kentän koko on pienempi, liikkumaetäisyydet pienemmät ja vaatimukset erilaiset, esimerkiksi mailan hallinnan osalta.

Lisää tutkimusta tarvitaan siitä, miten erilaiset juomakäytännöt, kuten liuoksen vahvuus, kokonaishiilihydraattimäärä, käytön ajankohta ja useus, vaikuttavat motorisiin taitoihin ja kognitiivisiin toimintoihin. Tutkimukset tulisi mahdollisuuksien mukaan toteuttaa mahdollisimman pelinomaisissa tilanteissa, tutkittavien valmistauduttua niihin kuten he valmistautuisivat aitoon pelitilanteeseen esimerkiksi ravitsemuksen, päivän rutiinien, harjoitusten, levon ja ympäristön osalta.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Kirjallisuuskatsauksen perusteella suorituksen aikainen hiilihydraattien saanti palloilulajeissa tukee motoristen taitojen ylläpitoa ja auttaa estämään suorituskyvyn laskua harjoituksen edetessä. Myös kognitiivisissa toiminnoissa havaittiin parannusta hiilihydraattiliuosta nauttiessa, mutta tulokset olivat ristiriitaisia. Hiilihydraatti- ja plaseboluosten välillä havaittiin enemmän eroja motoristen taitojen testeissä kuin kognitiivisia toimintoja mittaavissa testeissä, mikä voi johtua kognitiivisten toimintojen tutkimusmenetelmien vaihtelevuudesta ja haastavasta mitattavuudesta.

Tulevaisuudessa tarvitaan lisää tutkimusta palloilulajien suorituksen aikaisesta hiilihydraattien saannin vaikutuksesta motorisiin taitoihin ja kognitiivisiin toimintoihin, sekä validimpia tutkimusmenetelmiä etenkin kognitiivisia toimintoja mittaaviin menetelmiin. Haasteita tutkimukseen asettavat palloilulajien moninaisuus ja lajien sekä roolien erilaiset vaatimukset. Tutkimusasetelmat tulisi mukauttaa pelinomaisiin tilanteisiin ravitsemuksen ja valmistautumisen osalta, jotta tuloksista voisi tehdä johtopäätöksiä aitoihin pelitilanteisiin.

8. LÄHTEET

Ali A. Measuring soccer skill performance: a review., Munksgaard, Copenhagen. Oxford, UK. 2011.

Ali A, Williams C. Carbohydrate ingestion and soccer skill performance during prolonged intermittent exercise. *Journal of sports sciences* 2009;27:1499-1508.

Ali A, Williams C, Nicholas CW. The influence of carbohydrate-electrolyte ingestion on soccer skill performance. *Medicine and science in sports and exercise* 2007;39:1969-1976.

Aro A, Mutanen M, Uusitupa M, Aantaa R. Ravitsemustiede. Helsinki: Duodecim 2012.

Backhouse SH, Ali A, Biddle SJH, Williams C. Carbohydrate ingestion during prolonged high-intensity intermittent exercise: impact on affect and perceived exertion. *Scand J Med Sci Sports* 2007;17:605-610.

Bishop D. Dietary Supplements and Team-Sport Performance. *Sports Med* 2010;40:995-1017.

Borg P, Fogelholm M, Hiilloskorpi H. Liikkujan ravitseminen: teoriasta käytäntöön. Helsinki: Edita 2004.

Bottoms L, Sinclair J, Taylor K, Polman R, Fewtrell D. The effects of carbohydrate ingestion on the badminton serve after fatiguing exercise. *Journal of Sports Sciences* 2012;30:285-293.

Currell K, Conway S, Jeukendrup AE. Carbohydrate ingestion improves performance of a new reliable test of soccer performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2009;19:34-46.

Dolci F, Hart NH, Kilding A, Chivers P, Piggott B, Spiteri T. Movement Economy in Soccer: Current Data and Limitations. MDPI, Basel, Switzerland. 2018 .

Farley JB, Stein J, Keogh JWL, Woods CT, Milne N. The Relationship Between Physical Fitness Qualities and Sport-Specific Technical Skills in Female, Team-Based Ball Players: A Systematic Review. Springer International Publishing. Cham, Switzerland. 2020.

Forssell J. Koripallon lajiansalyysi ja valmennuksen ohjelmointi. 2016.

Gibney MJ. Introduction to human nutrition. Chichester, West Sussex, U.K. Wiley-Blackwell. 2009.

Goedecke JH, White NJ, Chicktay W, Mahomed H, Durandt J, Lambert MI. The Effect of Carbohydrate Ingestion on Performance during a Simulated Soccer Match. *Nutrients* 2013;5:5193-5204.

Harper LD, Stevenson EJ, Rollo I, Russell M. The influence of a 12% carbohydrate-electrolyte beverage on self-paced soccer-specific exercise performance. *Journal of Science and Medicine in Sport* 2017;20:1123-1129.

Heino J, Vuento M. Biokemian ja solubiologian perusteet. Helsinki. Sanoma Pro. 2014.

Hills SP ja Russell M. Carbohydrates for Soccer: A Focus on Skilled Actions and Half-Time Practices. MDPI Pub, Basel, Switzerland. 2017.

Holway FE ja Spriet LL. Sport-specific nutrition: practical strategies for team sports. Taylor Francis Health Sciences, London. 2011.

Huovinen H. Jääkiekon lajiansalyysi ja harjoittelun perusteet. 2009.

Ilander O, Laaksonen M, Lindblad P, Mursu J. Liikuntaravitsemus: tehoa, tuloksia ja terveyttä ruuasta. Lahti. VK-Kustannus 2014.

Kennedy DO. Phytochemicals for Improving Aspects of Cognitive Function and Psychological State Potentially Relevant to Sports Performance. Adis International, Mairangi Bay, Auckland, N.Z. 2019.

Lanham-New S, Roche HM, Macdonald I. Nutrition and metabolism. Chichester, UK: Wiley-Blackwell. 2011.

Maughan R. The athlete's diet: nutritional goals and dietary strategies. Proceedings of the Nutrition Society 2002;61:87-96.

Maughan R. Nutrition in Sport: An IOC Medical Commission Publication, Nutrition in Sport. Hoboken: John Wiley & Sons, Incorporated 2000.

McCarthy DG, Wickham KA, Vermeulen TF ym. Impairment of Thermoregulation and Performance via Mild Dehydration in Ice Hockey Goaltenders. International Journal of Sports Physiology and Performance 2020;15:1-840.

McRae KA, Galloway SDR. Carbohydrate-electrolyte drink ingestion and skill performance during and after 2 hr of indoor tennis match play. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism 2012;22:38-46.

Mujika I, Burke LM. Nutrition in Team Sports. Annals of Nutrition and Metabolism 2010;57:26-35.

Nicholas CW, Nuttall FE, Williams C. The Loughborough Intermittent Shuttle Test: a field test that simulates the activity pattern of soccer. Taylor Francis Health Sciences, London. 2000.

Nuccio RP, Barnes KA, Carter JM, Baker LB. Fluid Balance in Team Sport Athletes and the Effect of Hypohydration on Cognitive, Technical, and Physical Performance. Adis International, Mairangi Bay, Auckland, N.Z. 2017.

Rodriguez-Giustiniani P, Rollo I, Witard OC, Galloway SDR. Ingesting a 12% Carbohydrate-Electrolyte Beverage Before Each Half of a Soccer Match Simulation Facilitates Retention of Passing Performance and Improves High-Intensity Running Capacity in Academy Players. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism 2019;29:397-405.

Russell M, Benton D, Kingsley M. Influence of carbohydrate supplementation on skill performance during a soccer match simulation. Journal of Science and Medicine in Sport 2012;15:348-354.

- Sakselin M. Koripallon lajiansalyysi ja lajinomaisen fysiikkaharjoittelun ohjelmointi. 2019.
- Salokannel M ja Savolainen E. Jalkapallon lajiansalyysi ja valmennuksen ohjelmointi. 2018.
- Sand O, Sjaastad ØV, Haug E ym. Ihminen: fysiologia ja anatomia. Helsinki: Sanoma Pro 2012.
- Shabir A, Hooton A, Tallis JF, Higgins M. The Influence of Caffeine Expectancies on Sport, Exercise, and Cognitive Performance. MDPI Pub, Basel, Switzerland: 2018.
- Sun F, Cooper SB, Chak-Fung Tse F. Effects of different solutions consumed during exercise on cognitive function of male college soccer players. *Journal of Exercise Science and Fitness* 2020;18:155-161.
- Thomas DT, Erdman KA, Burke LM. Nutrition and Athletic Performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2016;48:543-568.
- Welsh RS, Davis JM, Burke JR, Williams HG. Carbohydrates and physical/mental performance during intermittent exercise to fatigue. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2002;34:723-731.
- Williams C, Rollo I. Carbohydrate Nutrition and Team Sport Performance. *Sports Med* 2015;45:13-22.
- Winnick JJ, Davis JM, Welsh RS, Carmichael MD, Murphy EA, Blackmon JA. Carbohydrate feedings during team sport exercise preserve physical and CNS function. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2005;37:306-315.