ALUSTAN KOVUUDEN VAIKUTUKSET JUOKSUN MUUTTUJIIN 30 METRILLÄ

Olli Tikkanen

VTE.208 Johdatus omatoimiseen tutkimustyöhön
Seminaarityö
Syksy 2003 – Kevät 2004
Liikuntabiologian laitos
Jyväskylän yliopisto
Työn ohjaaja: Heikki Kyröläinen

TIIVISTELMÄ

Olli Tikkanen. 2004. Alustan kovuuden vaikutukset juoksun muuttujiin 30 metrillä. Liikuntabiologian laitos. Jyväskylän yliopisto. s. 35

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää juoksualustan kovuuden vaikutuksia juoksunopeuksiin, juoksun muuttujiin sekä juoksijalta vaadittaviin ominaisuuksiin. Koehenkilöinä tutkimuksessa oli 8 nuorta miesurheilijaa, jotka suorittivat 30 metrin nopeustestit kahdella erikovuisella alustalla sekä voimatestit. Nopeustesteissä mitattiin juoksuajat 10, 20 ja 30 metriltä sekä kontakti- ja heilahdusajat, joiden perusteella laskettiin myös askelpituudet ja –frekvenssit.

Kaikilla koehenkilöillä, yhtä lukuun ottamatta, juoksuajat olivat huonompia hiekkatekonurmella kuin tartanilla (juoksuaikojen keskiarvot olivat heikompia kaikilla mitatuilla matkoilla eli 10, 20 ja 30 metrillä). Parillinen t-testi osoitti, että juoksuaikojen keskiarvojen erot (tartanilla ja hiekkatekonurmella) olivat merkitseviä (10m P=0,008; 20m P=0,037; 30m P=0,013). Askelpituus oli merkitsevästi suurempi tartanilla juostessa kuin hiekkatekonurmella (P=0,038) ja edellisestä johtuen askelmäärä oli merkitsevästi suurempi hiekkatekonurmella kuin tartanilla (P=0,028). Askelfrekvenssissä, kontakti- ja heilahdusajoissa ei alustojen välillä ollut merkitseviä eroja. Juoksuaikojen ja voimaominaisuuksien korrelaatioista vain pieni osa oli merkitseviä. Juoksunopeutta parhaiten ennusti kevennyshyppy. Myös jalkojen ojentajien konsentrinen voimantuotto absoluuttisena ja suhteellisena sekä 100-200ms aikana tuotettu voima isometrisessä jalkojen ojennuksessa ennustivat juoksunopeutta. Juoksuaikojen erotusten ja voimaominaisuuksien väliset korrelaatiot jäivät kaikki merkitsemättömiksi.

Tutkimuksen perusteella näyttää siltä, että askelsykli toistuu samanlaisena alustan kovuudesta riippumatta. Pehmeämmällä alustalla suurempi osa energiasta kuluu alustan muodonmuutoksiin, jolloin askelpituus lyhenee ja juoksunopeus hidastuu.

Avainsanat: juoksunopeus, askeltiheys, askelpituus, alustan kovuus

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO 4
2 PIKAJUOKSUN BIOMEKANIIKKA 5
2.1 Kiihdytysvaihe 5
2.1.1 Tekniikka 5
2.1.2 Voimantuotto 6
2.1.3 EMG-aktiivisuudet 7
2.2 Maksiminopeusvaihe 7
2.2.1 Tekniikka 7
2.2.2 Voimantuotto 8
2.2.3 EMG-aktiivisuudet 9
3 JUOKSUNOPEUTTA ENNUSTAVAT OMINAISUUDET 11
3.1 Antropometriset muuttujat 11
3.2 Voima 11
3.2.1 Maksimivoima 11
3.2.2 Nopeusvoima 12
4 JUOKSEMINEN ERIKOVUISILLA ALUSTOILLA 13
4.1 Energiankulutus 13
4.2 Reaktiovoimat ja lihasaktivointi 13
6 MENETELMÄT 16
6.1 Koehenkilöt 16
6.2 Tutkimusasetelma 16
6.3 Mittaukset 17
6.4 Mittausten reliabiliteetti ja validiteetti 18
6.5 Tilastomenetelmät 20
7 TULOKSET 21
8 POHDINTA 26
8.1 Tutkimuksen päätulokset 26
8.2 Koehenkilöryhmä 26
8.3 Koehenkilöt vs. pikajuoksijat 27
8.4 Juoksuaikojen eroavaisuudet eri alustoilla 28
8.5 Alustan vaikutukset juoksun muuttujiin 28
8.6 Juoksunopeutta ennustavat tekijät 29
8.7 Erikovuisella alustalla juoksemista hyödyttävät ominaisuudet 30
8.8 Johtopäätökset ja käytännön sovellukset 31
8.9 Tulevaisuuden tutkimukset 32
9 LÄHTEET 33

1 JOHDANTO

Nopeaa liikkumista paikasta toiseen tarvitaan useissa urheilulajeissa kuten pallopeleissä. Pelialustat ovat kovuudeltaan vaihtelevia etenkin ulkona pelattavien lajien osalta. Usein pelaajien juoksunopeudet kuitenkin testataan harjoituskaudella tartanilla, joka eroaa kovuudeltaan huomattavasti esimerkiksi pesäpallossa käytettävästä hiekkatekonurmesta tai jalkapallossa käytettävästä nurmesta.

Testaus- ja peliolosuhteiden eroavaisuudet tuovat mieleen useita kysymyksiä. Ovatko juoksuajat vastaavia tartanilla ja pelialustalla? Todennäköisestihän juoksuajat heikkenevät, sitä enemmän, mitä pehmeämmällä alustalla juostaan. Mutta heikkenevätkö kaikkien juoksuajat samassa suhteessa vai heikkenevätkö toisten pelaajien ajat enemmän kuin toisten. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää selittävätkö jotkin voimaominaisuudet juoksuaikojen muutosten suuruutta eri henkilöillä.

Tutkimus antaa uutta tietoa alustan kovuuden vaikutuksista juoksu- ja kontaktiaikoihin sekä juoksun muuttujiin. Voimaominaisuuksien merkitys juoksuaikoihin erikovuisilla alustoilla on arvokasta valmennuksellista tietoa useihin lajeihin.

Tutkimuksesta saatavien tulosten perusteella voidaan esimerkiksi tehdä johtopäätöksiä siitä, millaisia tavoitteita palloilijoiden kannattaa voimaharjoittelulleen asettaa. Useinhan urheilijat tekevät voimaharjoittelua jaloille sen vuoksi, että olisivat nopeampia pelitilanteessa. Jos tutkimustulokset osoittavat, että jotkin jalkojen voimaominaisuudet tuovat etua pehmeämmällä juostessa, voidaan jalkojen voiman harjoittamista pitää perusteltuna, vaikkeivät juoksuajat tartanilla paranisikaan. Jos taas tulokset eivät osoita edellä mainittua, voidaan voimaharjoittelusta saatavaa hyötyä mitata suoraan juoksuaikojen kehittymisellä tartanilla.

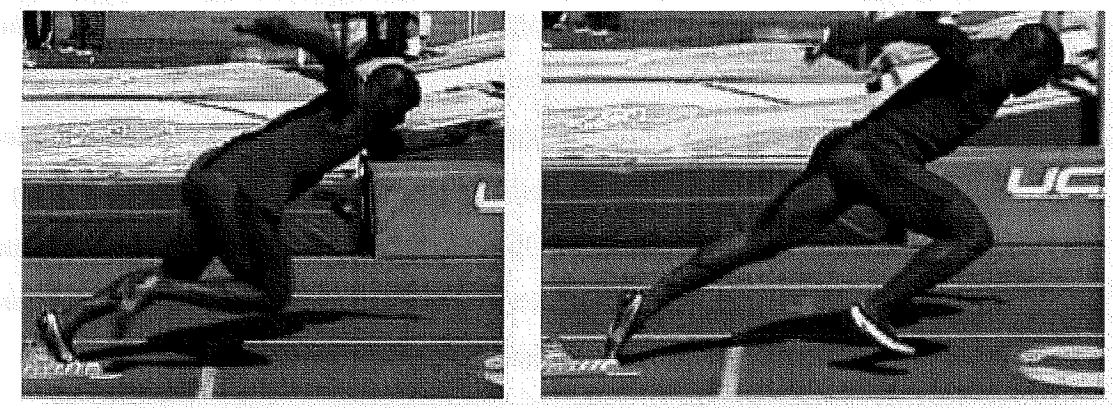
2 PIKAJUOKSUN BIOMEKANIIKKA

2.1 Kiihdytysvaihe

2.1.1 Tekniikka

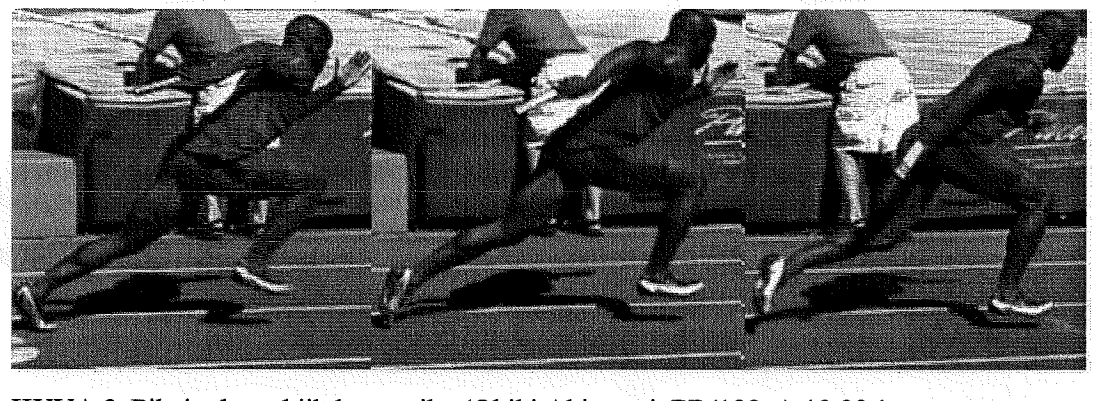
Pikajuoksijoilla tehdyissä tutkimuksissa on havaittu, että kiihdytysvaihe juoksussa kestää 30-50 metriä (Moravec ym. 1988). Kukolj ym. (1999) huomasivat kuitenkin tutkimuksessaan, jossa koehenkilöinä oli heikompi tasoisia juoksijoita, että maksimaalinen nopeus saavutettiin jo ennen 30 metriä.

Lähdössä takimmainen jalka aloittaa eteenpäin työntävän voiman tuottamisen. Lähes heti takimmaisen jalan liikkeelle lähdön jälkeen (viive noin 0.01 sekuntia) etummainen jalka alkaa tuottaa voimaa. Lähdön aikana etummainen jalka tuottaa pidempään voimaa kuin takimmainen jalka (keskiverto pikajuoksijalla noin kaksi kertaa pidempään). Molempien jalkojen toimintojen yhteisvaikutuksena lantio pyrkii kiertymään voimakkaasti. Kiertymistä pyritään estämään voimakkaalla käsien käytöllä. Juoksun ensimmäisissä askelissa polvikulma on lähes 90 astetta. (Cretzmeyer ym. 1974, 46.) (Kuva 1)



KUVA 1. Pikajuoksun ensimmäinen askel (Okiki Akinremi: PB(100m)-10.33).

Ensimmäisten 6-9 askeleen aikana siirrytään asteittain kiihdytykselle tyypillisestä askeleesta täysivauhtisen tyyliseen askeleeseen. Tässä vaiheessa askelpituus kasvaa ja vartalokulma suoristuu vähittäin. Vartalokulman ollessa pieni juoksijan painopiste on lähempänä maata, jolloin askeleiden on pakostakin oltava lyhyempiä. (Cretzmeyer ym. 1974, 47.) (Kuva 2)



KUVA 2. Pikajuoksun kiihdytysvaihe (Okiki Akinremi: PB(100m)-10.33s).

2.1.2 Voimantuotto

Kiihdytyksessä työntävä jalka tuottaa noin 500 N suuruisen taaksepäin suuntautuvan voiman ojentamalla nilkan, polven ja lantion (Cretzmeyer ym. 1974, 47). Kiihdytysvaiheen ensimmäisissäkin askelissa havaitaan negatiivisia horisontaalisia voimia, joten kaikki pikajuoksun kontaktit ovat samanlaisia jarrutus- ja työntövaiheen osalta, vaikkakin aikasuhteet ovat erilaiset. Ensimmäisen askeleen kontaktissa jarrutusvaihe on ainoastaan 12,9 % kontaktin kokonaiskestosta, kun vastaava lukema maksimaalisessa tasavauhtisessa juoksussa on 43 %. (Mero & Komi 1987b.) Keskimääräiset voimat ensimmäisen kontaktin jarrutusvaiheessa ovat hyvin pieniä niin horisontaalisesti (-153 N) kuin vertikaalisestikin (148 N, nettovoima), kun työntövaiheessa vastaavat lukemat (526 N ja 431 N) ovat huomattavasti suurempia. Ensimmäisen kontaktin jarrutusvaiheen voimat ovat noin 44 % (horisontaalinen) ja 11 % (vertikaalinen) vastaavista arvoista maksimaalisessa vauhdissa. Yleisesti voidaan sanoa, että kiihdytys vaiheessa voimaa tuotetaan pitkän aikaa ja keskimääräinen työntövoima on suurta. (Mero 1987.)

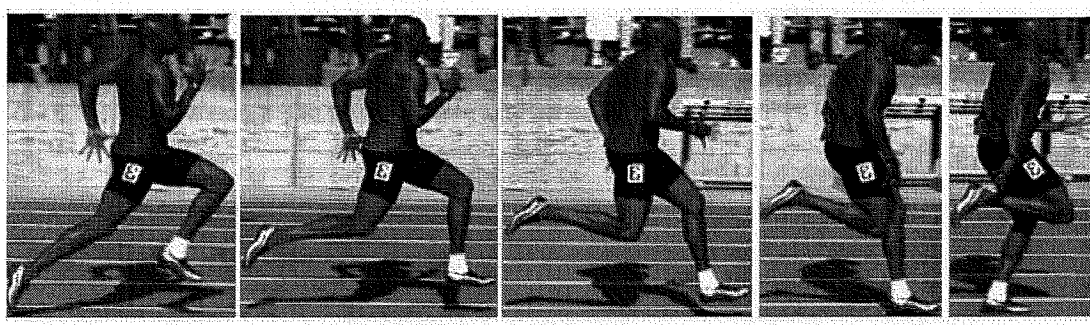
2.1.3 EMG-aktiivisuudet

Kiihdytyksen aikana maksimaalinen integroitu EMG aktiivisuus on jalkojen ojentajalihaksissa 4,8 %:a suurempi kuin maksimaalisessa tasavauhtisessa juoksussa. Tämä merkinnee sitä, että pikajuoksijan hermostollinen aktivointi saavuttaa maksiminsa juoksun kiihdytysvaiheessa. (Mero & Komi 1990.)

2.2 Maksiminopeusvaihe

2.2.1 Tekniikka

Juoksijan sanotaan olevan maksiminopeusvaiheessa, kun juoksuvauhti ei enää kiihdy. Kun maksiminopeus on saavutettu, ei vartalokulma enää muutu ja askeleet toistuvat samanpituisina. Yhteen askelsykliin kuuluu kaksi askelta ja se jaetaan aktiiviseen- ja palautumis -vaiheeseen. Palautumisvaiheessa on tärkeää, että jalka tuodaan eteen mahdollisimman vähäisellä energiankulutuksella, ja että jalka on optimaalisessa asennossa ennen työntövaihetta. Työntövaiheen alussa jalka tuodaan maahan lähes suoraan painopisteen alle polvi vain hieman koukistettuna. (Cretzmeyer ym. 1974, 48.) (Kuva 3)



KUVA 3. Pikajuoksun maksiminopeusvaihe (J.J. Johnson, 100m: 9.95s).

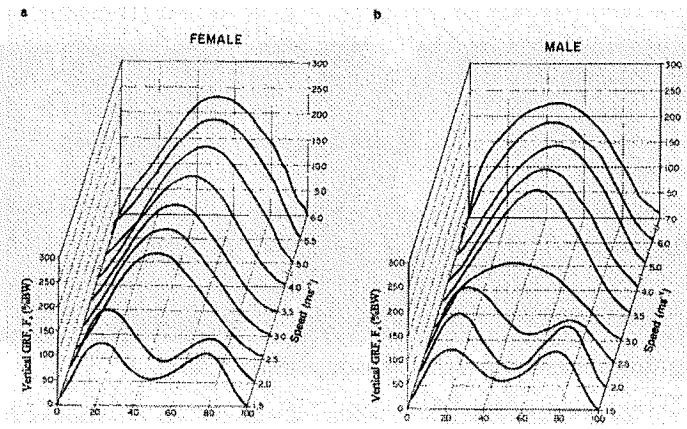
Juoksunopeus on askelpituuden ja askeltiheyden tulo. Juoksunopeuden kasvaessa kasvaa sekä askeltiheys että askelpituus. Kuitenkin suuremmilla nopeuksilla askelpituus kasvaa vähemmän kuin askeltiheys, joten askeltiheydellä on ratkaisevampi

merkitys juoksunopeuden kannalta. Korkeimmat mitatut askeltiheydet ovat olleet yli 5Hz askelpituuden ollessa silloin 2-2.6m. (Mero & Komi 1986.)

Maksiminopeuksisessa juoksussa lentoajat ovat keskimäärin 0.120-0.140 sekuntia. Kontaktiaikojen on raportoitu lyhenevän juoksunopeuden kasvaessa (sama henkilö). Maksiminopeudella juostessa kontaktiaika on hyvin lyhyt vain noin 0.080-0.100 sekuntia. (Kunz & Kaufman 1981.)

2.2.2 Voimantuotto

Tasavauhtisessa juoksussa horisontaaliset ja vertikaaliset voimat kasvavat nopeampaa juostaessa (Kuva 4). Keskimääräinen jarruttava resultanttivoima kasvaa myös juoksunopeuden kasvaessa. Submaksimaalisella nopeudella (4.95 ± 0.46 m/s) kyseiset voimat ovat keskimäärin 1314 ± 59 N. Resultanttityöntövoima kasvaa alhaisimmasta submaksimaalisesta nopeudesta (1210 ± 70 N) aina maksiminopeuteen (1778 ± 76 N) saakka. Maksimaalisessa juoksussa on havaittu yhteys keskimääräisen työntövoiman (nettoresultantti) ja juoksunopeuden sekä askelpituuden välille. Mitä suurempi on työntövoima, sitä suurempi on juoksunopeus ja sitä pidempi on myös askel. (Mero & Komi 1986.)



KUVA 4. Vertikaaliset reaktiovoimat naisilla (a) ja miehillä (b) useilla eri juoksunopeuksilla. (Track Coach 2001)

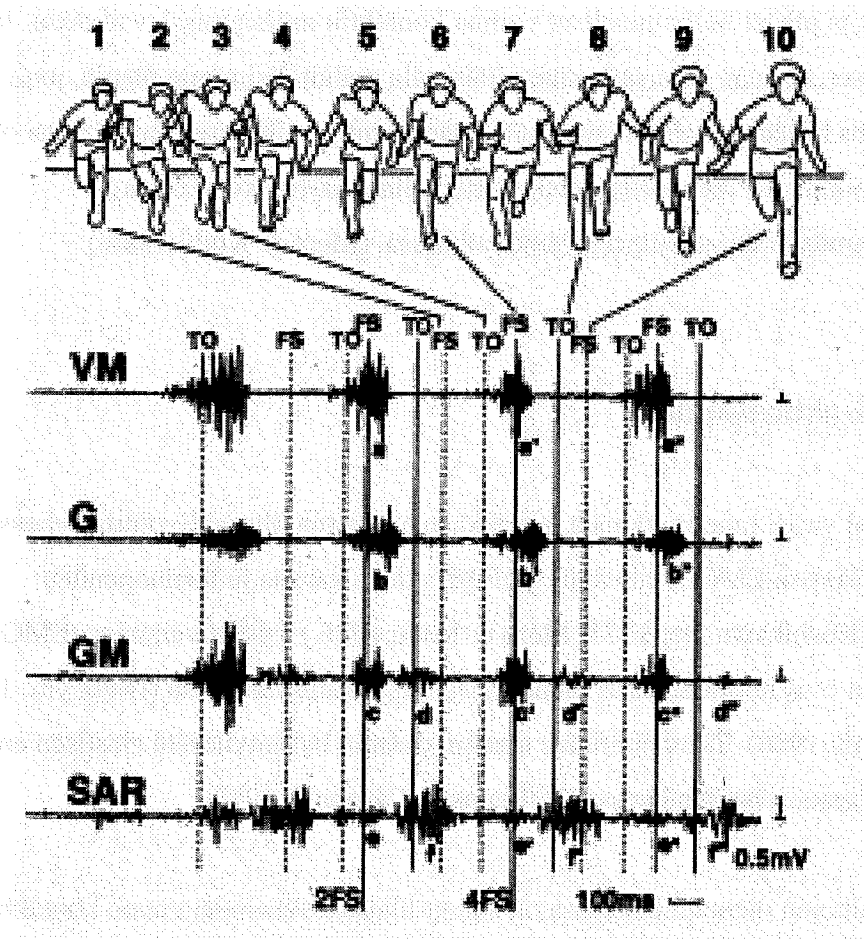
Maksiminopeudella huippuvoimat saavutetaan jarrutusvaiheen aikana ja vertikaalinen voima on tuolloin noin 4.6 kertaa kehon paino. Yleensä pikajuoksussa on suuret

vertikaaliset ja pienet horisontaaliset voimat kontaktin molemmissa vaiheissa. Jarruttavan horisontaalisen voiman ja jarrutusajan pitäisi olla mahdollisimman pieniä, jotta juoksunopeus hiljenisi mahdollisimman vähän törmäysvaiheessa. Tavoitteena olisi, että resultanttivoima olisi mahdollisimman vertikaalinen jarrutusvaiheessa ja mahdollisimman horisontaalinen työntövaiheessa. (Mero & Komi 1986.)

2.2.3 EMG-aktiivisuudet

Juokseminen vaatii monimutkaista ja tarkkaan ajoitettua lihasaktivointia kehossa. Jalkojen lihaksissa EMG aktiivisuus yleisesti ottaen kasvaa juoksunopeuden kasvaessa. (Hoshikawa ym. 1973; Mero & Komi 1986.) Työntövaiheessa EMG-aktiivisuudet ovat huomattavasti pienempiä kuin jarrutusvaiheessa (Dietz ym. 1979; Mero & Komi 1986). Tämä johtunee ainakin osittain lisääntyneestä elastisen energian hyödyntämisestä työntövaiheessa (Williams & Cavanagh 1983).

Juostessa jalkojen ojentajalihaksissa on suuret lihasaktiivisuudet ennen kontaktia (Mero & Komi 1987). Kyseinen esiaktiivisuus on noin 50-70 % maksimaalisesta kontakti-vaiheen integroidusta EMG:stä (Kuva 5). Kontakti-vaiheen alussa esiintyy suuria impulssivoimia, joten on tärkeää, että jalan ojentajalihakset ovat jäykkiä ennen impulssia ja sen aikana. Esiaktiivisuus on esiohjelmoitu ja aktivoitu keskushermoston korkeammilta tasoilta (Mellvill-Jones & Watt 1971).



KUVA 5. Jalkojen lihasten EMG-aktiivisuuksia juoksun maksiminopeusvaiheessa. VM= vastus medialis; G= medial gastrocnemius; GM= gluteus medialis; SAR= sartorius; 2FS= 2. askeleen kontaktin alku; 4FS= 4. askeleen kontaktin alku. (Rand & Ohtsuki 2000)

Kontaktin aikana suurimmat alustaan kohdistuvat voimat tapahtuvat 10-40 millisekunnin kuluttua kontaktin alusta (Mero & Komi 1987a). Koska nämä voimat ovat jo niin pian kontaktin alun jälkeen, venytysrefleksi –järjestelmä ei luultavasti ehdi täysin aktivoitua (Dietz ym. 1979). Tämän vuoksi korkea esiaktiivisuus on erittäin tärkeä, koska se kasvattaa lihasten jäykkyyttä ja valmistaa törmäyksen vastaanottamiseen (Mero & Komi 1987a). Maksimaalisessa juoksussa jalan ojentajalihasten huippuaktiivisuudet tapahtuvat, kun jalka koskettaa maata jarrutusvaiheessa. Sen jälkeen EMG alkaa laskea työntövaiheen loppua kohti. Kaksinivelisessä rectus femoriksessa tilanne on monimutkaisempi. Todennäköisesti pikajuoksussa rectus femoris on tärkeämpi lonkan koukistajana kuin polven ojentajana. Biceps femoris (koukistaa polvea ja ojentaa lantiota) ja gastrocnemius (koukistaa nilkkaa) ovat melko aktiivisia työntövaiheessa ja ovat ensisijaisen tärkeitä pikajuoksussa. (Mero & Komi 1987a.)

3 JUOKSUNOPEUTTA ENNUSTAVAT OMINAISUUDET

3.1 Antropometriset muuttujat

Swindler (1999) havaitsi tutkimuksessaan, jossa oli koehenkilöinä amerikkalaisen jalkapallon pelaajia, että rasvaprosentin ja 40 jaardin juoksunopeuden välillä oli negatiivinen yhteys. Kuitenkin, kun linjamiehet ja takamiehet erotettiin omiin ryhmiin, merkitsevää ennustavuutta ei enää esiintynyt. Useat tutkimukset eivät ole havainneet yhteyttä pituuden, painon ja juoksunopeuden välille (Nesser ym. 1996; Kukolj ym.1999; Swindler 1999). Kyseiset tutkimustulokset tukevat tosiseikkaa, että tietyt antropometriset muuttujat ovat perusedellytyksiä hyvään suorituskykyyn useissa eri urheilusuorituksissa, mutta on epäselvää vaikuttavatko ne suorituskykyyn suhteellisen homogeenisessa urheilijaryhmässä (Kukolj ym. 1999).

3.2 Voima

3.2.1 Maksimivoima

Isometrinen. Kukolj ym. (1999) eivät löytäneet yhteyttä suhteellisen isometrisen voiman (polven ojennus, lonkan ojennus ja koukistus) ja 0-15 metrin eikä 15-30 metrin juoksuaikojen välille, kun koehenkilöinä oli kokemattomia juoksijoita. Kyseinen tutkimus on samassa linjassa useiden muiden tutkimusten kanssa, joissa ei ole löydetty yhteyttä maksimaalisten isometristen voimien ja juoksunopeuksien välille. (Wilson & Murphy 1996).

Dynaaminen. Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että maksimaalisen jalkakyykyn ja juoksunopeuden väliset korrelaatiot ovat alhaisia (Swindler 1999; Abernethy ym. 1995). Yksi tutkimus on havainnut nilkan dorsifleksion (kulmanopeudella 5.24 rad/s) ja plantaarifleksion (1.05 rad/s) sekä polven koukistuksen (7.85 rad/s) ennustavan 40 metrin juoksuaikaa. Lähes kaikki muut tutkimukset ovat epäonnistuneet löytämään

yhteyttä dynaamisen maksimivoiman ja juoksunopeuden välille (Abernethy ym. 1995).

3.2.2 Nopeusvoima

Young kollegoineen (1995) tutki 27 eri voimamuuttujan yhteyttä juoksunopeuksiin siten, että valokennot oli asetettu etäisyyksille 2.5, 5, 10, 20, 30, 40, 50 metriä, jolloin pystyttiin laskemaan korrelaatiot useille eri juoksumatkoille. Juoksun lähtöä (0-2,5m) ennusti parhaiten huippuvoima (suhteessa kehon painoon) kyykkyhyppystä, joka tehtiin polvikulmasta 120 astetta. Maksiminopeutta parhaiten ennusti kyykkyhypyssä 100 ms kohdalla tuotettu voima. Tutkimustuloksista voitiin yleisesti sanoa, että lihaksen venymis-lyhenemis –sykliin ja absoluuttiseen maksimivoimaan perustuvat muuttujat olivat enemmän yhteydessä maksiminopeuteen kuin lähtökykyyn.

Lukuisat tutkimustulokset osoittavat, että vertikaalihypyn (ja vertikaalihyppytehon) ja juoksuaikojen välillä on positiivinen yhteys (Swindler 1999; Kukolj ym. 1999; Young ym. 1995). Todennäköisesti kyseinen yhteys aiheutuu siitä, että vertikaalihyppyyn vaikuttaa nopeiden lihassolujen suhteellinen osuus, joka on myös merkittävä juoksunopeuteen vaikuttava tekijä (Swindler 1999). Osa tutkimuksista on havainnut, että vertikaalihyppy ennustaa ainoastaan juoksun maksiminopeusvaiheetta (Kukolj 1999; Young ym. 1995). Myös viisiloikan on todettu ennustavan 40 metrin juoksuaikoja (Nesser ym. 1996).

4 JUOKSEMINEN ERIKOVUISILLA ALUSTOILLA

4.1 Energiankulutus

Muutamat tutkimukset ovat tutkineet kävelemisen ja juoksemisen energiankulutusta kuivalla ja märällä hiekalla. Barrett ym. (1998) tutkivat kuivan ja märän hiekan kovuutta pudottelemalla hiekalle painoja, joihin oli kiinnitetty kiihtyvyysmittari. Tuloksina he saivat, että märällä hiekalla törmäysvoimat olivat noin 4 kertaa suurempia ja, että märkä hiekka oli noin 6 kertaa kovempaa kuin kuiva.

Zamparo ym. (1992) mittasivat tutkimuksessaan, että energiankulutus (kuljettua matkaa kohti) hiekalla käveltäessä kasvoi lineaarisesti nopeuden kanssa. Hiekalla käveltäessä energiankulutus on noin 1.8 kertaa suurempaa verrattuna kävelemiseen kovalla alustalla. Hiekalla juostessa energiankulutus (kuljettua matkaa kohti) oli nopeudesta riippumaton ja oli noin 1.2 kertaa suurempaa kuin kiinteällä maalla. Pinnington ja Dawson (2001a) mittasivat tutkimuksessaan, että aerobinen energiankulutus oli noin 1.5 kertaa suurempaa hiekalla kuin nurmella juostessa. Vastaava lukema anaerobiselle energiankulutukselle oli 2.5. Toisessa tutkimuksessa samaiset tutkijat vertasivat triathlonistien ja harrastelijajuoksijoiden energiankulutuksia hiekalla ja nurmella. Ryhmien välillä aerobisen energiankulutuksen osalta ei ollut eroja, mutta anaerobinen energiankulutus oli triathlonisteilla merkitsevästi pienempää. (Pinnington & Dawson 2001b.)

4.2 Reaktiovoimat ja lihasaktivointi

Ihmisen liikkeessä alustaan kohdistuvat voimat vaikuttavat alustan ja henkilön jalan välillä. Yleensä alustaan kohdistuvissa voimissa havaitaan törmäyspiikki heti kontaktin jälkeen. (Wakeling ym. 2002.) Törmäysvoiman suuruus on riippuvainen juoksunopeudesta (Hamill ym. 1983), eikä kengän vaimennus vaikuta siihen juuri

lainkaan (Clarke ym. 1983). Kuitenkin muutokset kengän vaimennuksessa muuttavat törmäysvoimien aikaprofiilia (Nigg ym. 1987).

Alaraajojen pehmytkudosrakenteiden resonanssitaajuudet ovat välillä 10 -60 Hz ja niitä voidaan muuttaa lihasten aktivoinnilla. Törmäysvoimilla, jotka tapahtuvat lenkkeilyssä, on merkittävä taajuuskomponentti 10 -20 Hz:ssä. Edellä mainitut taajuusalueet menevät päällekkäin, joten niiden perusteella voitaisiin olettaa, että törmäysvoimat aiheuttavat värähtelyitä pehmytkudosrakenteissa. Havainnot ovat kuitenkin osoittaneet, että kyseiset vibraatiot ovat minimaalisia, koska lihaksen aktivaatiomallit muuttuvat vastaamaan törmäysvoimien kuormitusta. (Wakeling ym. 2002.)

Wakeling ym. (2002) osoittivat tutkimuksessaan, että erikovuiset kengät vaikuttivat EMG esiaktiivisuuksiin alaraajojen lihaksissa. Koehenkilöt juoksivat tutkimuksessa 30 minuuttia tasavauhtista juoksua erikovuisilla kengillä sisäradalla. Muutos EMG:n kokonaisintensiteetissä oli suurimmillaan 290 % (-150 -0 ms). Aktiivisuudet vaihtelivat suuntaan tai toiseen koehenkilökohtaisesti, mikä oli odotettua, koska pehmytkudoksen värähtelyominaisuudet vaihtelevat myös koehenkilöiden välillä. Suhteelliset muutokset EMG:n korkeissa ja matalissa taajuuksissa voi johtua muutoksista nopeiden ja hitaiden motoristen yksiköiden rekrytoinnissa.

Wheat ym. (2002) tutkivat omassa tutkimuksessaan kolmen erikovuisen alustan vaikutuksia reaktiovoimiin. Alustoina käytettiin tartania, mattoa ja voimalevyä (jonka päällä ei ollut mitään). Koehenkilöt (n=3) juoksivat nopeudella 3.8 m/s voimalevyn yli useita kertoja eri alustoilla. Mitattavia muuttujia olivat huippu vertikaalitörmäysvoima, aktiivinen voima, kuormitusnopeus, huippu mediaalinen- ja lateraalinen voima. Alusta vaikutti kaikkiin muuttujiin merkitsevästi, mutta mikään muuttujista ei eronnut samalla tapaa kaikilla kolmella koehenkilöllä. Tämän tutkimuksen johtopäätöksenä voitiin siis sanoa, että alusta vaikuttaa reaktiovoimiin yksilöllisesti.

5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT

Juoksemista erikovuisilla alustoilla on tutkittu jonkin verran, mutta suurin osa tutkimuksista on tehty submaksimaalisilla nopeuksilla kestävyysjuoksutyyppisesti. Suurimmassa osassa näistä tutkimuksista on pyritty löytämään lähinnä tietoa, joka auttaisi tekemään parempia lenkkikenkiä. Muutamassa tutkimuksissa on selvitetty myös alustan kovuuden vaikutuksia energiankulutukseen ja laktaattipitoisuuksiin. Tiettävästi alustan kovuuden vaikutuksia maksimaalisessa juoksussa ei ole aikaisemmin tutkittu. Tämä tutkimus antaa siis uutta tietoa alustan vaikutuksista juoksun muuttujiin. Tutkimus antaa tietoa siitä millaiset voima- ja teho-ominaisuudet ovat merkittävimpiä tietynlaisella alustalla juostaessa. Tutkimustulosten avulla voidaan harjoitusohjelmat suunnitella paremmin lajissa käytettävien alustojen vaatimuksia vastaaviksi.

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää juoksualustan kovuuden vaikutuksia juoksunopeuksiin, juoksun muuttujiin sekä juoksijalta vaadittaviin ominaisuuksiin. On todennäköistä, että henkilö muuttaa tai joutuu pakostakin muuttamaan juoksutekniikkaansa alustan vaatimusten mukaisiksi. Tutkimuksella saadaan selville, miten alusta vaikuttaa juoksuaikoihin, kontaktiaikoihin ja askelpituuksiin. Todennäköisesti juoksunopeudet heikkenevät ja kontaktiajat pitenevät pehmeämmällä alustalla juostaessa. Tutkimuksella pyritään myös selvittämään, hyödyttävätkö jotkin voima- tai teho-ominaisuudet enemmän tietynlaisella alustalla juostaessa. Koska pehmeämmällä alustalla juostaessa enemmän energiaa kuluu alustan muodon muutoksiin, voitaisiin olettaa, että vahvempi jalkaiset juoksijat saisivat etua pehmeämmällä alustalla juostaessa.

6 MENETELMÄT

6.1 Koehenkilöt

Koehenkilöinä tutkimuksessa oli 8 nuorta miesurheilijaa, joiden lajitausta oli monipuolinen. Taulukossa 1 on esitetty koehenkilöiden antropometrisiä tietoja. Koehenkilöiden lajeina olivat pesäpallo (n=2), jääkiekko, amerikkalainen jalkapallo, kestävyysjuoksu, motocross, hiihto ja 800 metrin juoksu. Suurin osa koehenkilöistä kilpaili edelleen lajissaan. Koehenkilöt osallistuivat tutkimukseen vapaaehtoisesti ja heille selvitettiin tutkimusasetelma ja tutkimukseen osallistumiseen liittyvät mahdolliset riskit ja epämukavuudet.

TAULUKKO 1. Koehenkilöiden pituus, paino ja rasvaprosentti.

	pituus (cm)	paino (kg)	rasvaprosentti (%)
vaihteluväli	171-193	58,0-96,0	8,9-21,2
keskiarvo	180	76,9	13,0
keskihajonta	8	12,0	4,3

6.2 Tutkimusasetelma

Kaikki tutkimukseen liittyvät mittaukset suoritettiin Jyväskylässä syksyn 2003 aikana. Kaikki koehenkilöt osallistuivat nopeus- (kahdella erikovuisella alustalla) ja voimatestaukseen sekä antropometrisiin mittauksiin. Mittaukset suoritettiin eri päivinä ja testikertojen välillä oli vähintään kolme vuorokautta väliä. Antropometriset mittaukset suoritettiin voimamittausten ohessa. Koehenkilöitä kehotettiin välttämään rasittavaa liikuntaa testikertoja edeltävänä kahtena vuorokautena. Juoksutestejä ennen järjestettiin yksi harjoittelukerta (tartani) testimenetelmiin totutteluun ja pikajuoksutekniikan harjoitteluun. Mittauksia ennen koehenkilöt suorittivat vakioidun lämmittelyn, joka koostui kevyestä lenkkeilystä ja venyttelystä. Juoksutestit suoritettiin ensin hiekkatekonurmella (Hippoksen pesäpallokenttä, Jyväskylä) ja myöhemmin tartanilla (Hipposhalli, Jyväskylä). Voimamittaukset tehtiin noin viikko juoksutestien jälkeen.

6.3 Mittaukset

Antropometria. Koehenkilöiden pituus mitattiin kiinteällä seinämitalla. Painon mittaamisessa käytettiin voimalevyä. Kehon rasvaprosentti määritettiin ihopoimu-menetelmällä (rasvapihteinä käytettiin pihtejä, joiden mittariosa oli John Bull British Indication ja pihtiosa Harper Caliber). Mittauksissa käytettiin neljän pisteen menetelmää, jossa ihopoimut mitataan hauiksesta, ojentajasta, lapaluun kärjen alapuolelta ja suoliluun harjun yläpuolelta. Jokainen poimu mitattiin kolmeen kertaan ja mittausten keskiarvo rekisteröitiin ihopoimun paksuudeksi. Rasvaprosentti arvioitiin ihopoimujen paksuuden perusteella käyttäen Durnin ja Womersleyn kaavaa (1974).

Juoksumittaukset. Juoksumittaukset suoritettiin kahdella erilaisella alustalla, jotka olivat hiekkatekonurmi (kenttä) ja tartani. Kaikki koehenkilöt juoksivat juoksut hiekkatekonurmella samana päivänä, jotta sääolosuhteiden vaikutus juoksuaikoihin pystyttiin minimoimaan. Mittauspäivänä kentän pinta oli täysin kuiva. Juoksuajat mitattiin valokennoilla, jotka oli asetettu etäisyyksille 0.5m, 10.5m ja 30,5m lähtöviivasta. Tällöin saatiin mitattua juoksuajat koko 30 metrille ja ensimmäiselle 10 metrille sekä laskettua edellä mainittujen erotuksena ajat viimeisille 20 metrille. Lähtöasentona käytettiin pystylähtöä eikä etummaisen jalan vientiä taakse sallittu lähdössä. Koehenkilöt käyttivät molemmissa juoksuissaan samoja piikkareita. Jokainen koehenkilö juoksi vähintään neljä juoksua molemmilla alustoilla, ja jos tulos parani vielä neljännellä suorituksella, juoksuja juostiin lisää. Palautusaika juoksujen välillä oli vähintään neljä minuuttia. Juoksuista mitattiin myös kontakti- ja lentoajat kontaktipohjallisella, joka asetettiin vasempaan jalkaan kengän pohjan ja jalan väliin. Data kontaktipohjallisesta lähetettiin telemetrisesti (Medilink) ja tallennettiin Codas-ohjelmalla.

Voimamittaukset. Voimamittauksissa mitattiin useita eri muuttujia ja jokaisesta muuttujaa mitattaessa suoritettiin vähintään kolme suoritusta. Jos tulokset paranivat vielä kolmannella suorituksella, tehtiin suorituksia lisää. Isometrinen voima-aika käyrä mitattiin jalkadynamometrissä istuvassa asennossa bilateraalisesti polvikulmalla 120 astetta. Tulosten taltioinnissa ja analysoinnissa käytettiin tietokoneohjelmaa Voima 1.2. Kevennyshypyt suoritettiin voimalevyn päällä ja hyppykorkeus laskettiin

oskilloskoopilta saadun lentoajan perusteella. Hypättäessä kädet pidettiin lanteilla ja lantion voimakas ekstensio ponnistuksessa oli kiellettyä.

Jalkojen ojentajalihasten konsentrisessa voimantuotossa liikelaajuutena käytettiin 80 - 120 astetta (polvikulma). Suoritus tapahtui siten, että koehenkilö suoritti maksimaalisen isometrisen supistuksen jaloillaan ja saattoi voimalevyn liikkeelle käsikahvasta vetäisemällä. Jalkadynamometri oli yhdistettynä oskilloskooppiin, johon tuli tieto tuotetusta voimasta ja voimalevyn liikkeestä. Voimalevyn liikkeestä kertovasta kuvaajasta laskettiin puoliväli, joka oli siis ajankohta, jossa polvikulma oli 100 astetta. Kyseisestä kohdasta mitattiin, sillä hetkellä voimalevyä vasten tuotettu voima. Konsentriset voimamittaukset suoritettiin kahdella nopeudella, jotka olivat 0,30 ja 0,65 m/s. Tuloksia tarkasteltiin sekä absoluuttisina että suhteellisina (eli kehon massalla jaettuna) arvoina.

6.4 Mittausten reliabiliteetti ja validiteetti

Juoksuaikoihin voi vaikuttaa huomattavasti mittauksia edeltävinä päivinä tehty harjoittelu ja niistä mahdollisesti seuraava suorituskyvyn heikkeneminen. Tutkimuksessa koehenkilöt pidättäytyivät testikertoja edeltävänä kahtena vuorokautena rasittavasta liikunnasta ja pyrkivät tekemään molempia juoksutestejä ennen vastaavan harjoittelun. Vaikka näillä toimilla pystyttiin parantamaan mittausten reliabiliteettia, on todennäköistä, että "päivän kunnolla" on ollut jonkin suuruinen vaikutus mitattuihin juoksuaikoihin. Kaikki mittaukset suoritettiin klo 11- 18. Koehenkilöt eivät osallistuneet mittauksiin vakioituna kellon aikana, jolloin sirkaidisella suorituskyvyn vaihtelulla on voinut olla vähäistä vaikutusta tuloksiin.

Juoksuissa lähtöasentona käytettiin pystylähtöä, jota ei oltu vakioitu kuitenkaan sen tarkemmin. Ensimmäinen valokenno oli puolen metrin päässä lähtöviivasta, jolloin ensimmäisellä askeleella ja lähtöasennolla oli suuri vaikutus siihen, milloin ajanotto käynnistyi (mikä ruumiinosa laukaisi ajanoton). Kuitenkin jokainen yksittäinen koehenkilö käytti samaa lähtöasentoa kaikissa juoksuissaan, jolloin validiteetti ei heikentynyt eri alustojen välillä. Samainen valokennon laukaisemiseen liittyvä

virhetekijä oli myös kennoilla, jotka olivat 10,5 ja 30,5 metrissä. Virhe voi prosentuaalisesti olla suhteellisen suuri 10 metrin juoksuaikoihin juoksuajan lyhyydestä johtuen. 30 metrin juoksuaikoihin prosentuaalinen virhe on luonnollisesti pienempi. Koska alustan kovuus voi muuttaa esimerkiksi askelpituutta, voi kyseisen virheen määrä olla erisuuruinen erikovuisilla alustoilla.

Tutkimuksessa koehenkilöiden lajitausta oli monipuolinen ja osa koehenkilöistä oli tottunut suorittamaan lyhyitä maksimaalisia juoksuja ja osa ei. Oppimisen vaikutusta pyrittiin vähentämään yhdellä järjestetyllä harjoituskerralla, jossa käytiin läpi lähtöasento ja pikajuoksuun liittyviä perusasioita. Oppimisen aiheuttaman virheen määrää on vaikea arvioida, mutta on todennäköistä, että jos sitä on esiintynyt, se on jakautunut epätasaisesti koehenkilöiden kesken harjoitustaustasta johtuen.

Kevennyshypyissä hyppykorkeus laskettiin lentoajan (mitattiin oskilloskoopilta) perusteella. Lentoaikaan vaikuttaa alastuloasento, joka pyrittiin vakioimaan siten, että koehenkilön tuli laskeutua jalat suorana päkiöille. Hypyt, joissa havaittiin selkeästi, että koehenkilö tuli väärällä tavalla alas, hylättiin. Pieniä muutoksia alastuloasennossa, jotka parantavat hyppytulosta, ei ollut mahdollista kuitenkaan eliminoida.

Voimatestien validiteettiin vaikuttaa yleensä hyvin paljon koehenkilöiden motivaatio. Tutkimuksessa motivaatiota pyrittiin parantamaan äänekkäällä kannustuksella. Kaikki voimatestit suoritettiin yhdellä kertaa ja suoritusten välillä pidettiin 3 minuutin palautukset. Suorituksia tehtiin jokaisessa liikkeessä vähintään kolme, joten suorituksia tuli yhteensä yli 12, mikä on mahdollisesti aiheuttanut väsymystä viimeisissä suorituksissa. Kaikki koehenkilöt tekivät liikkeet kuitenkin samassa järjestyksessä.

Konsentrista voimantuottoa mittaavissa isokineettisissä voimatesteissä vaihtelut yksittäisen koehenkilön peräkkäisissä suorituksissa olivat suuria. Suuret erot peräkkäisissä suorituksissa voivat johtua siitä, että isokineettinen liike ei ole luontaista ja näin ollen koehenkilöt eivät välttämättä saavuttaneet suorituksissaan maksimaalisia voimatasojaan.

6.5 Tilastomenetelmät

Tulosten analysoinnissa käytettiin SPSS 11.5.0 –tietokoneohjelmaa (SPSS Inc. U.S.A). Tulosten kuvailussa käytettiin vaihteluväliä, keskiarvoa ja –hajontaa. Parillista t-testiä käytettiin vertailtaessa kahden eri tilanteen (tartani ja kenttä) keskiarvojen eroavaisuuksia. Juoksuaikojen ja voimaominaisuuksien yhteyksiä tutkittaessa käytettiin Pearsonin kaksisuuntaista korrelaatiota. Merkitsevyyden rajaksi asetettiin $P < 0.05$.

7 TULOKSET

Kaikilla koehenkilöillä, yhtä lukuun ottamatta, juoksuajat olivat huonompia hiekkatekonurmella kuin tartanilla. Juoksuaikojen keskiarvot olivat heikompia kaikilla mitatuilla matkoilla eli 10, 20 ja 30 metrillä (Taulukko 2). Parillinen t-testi osoitti, että juoksuaikojen keskiarvojen erot (tartanilla ja hiekkatekonurmella) olivat merkitseviä (10m P=0,008; 20m P=0,037; 30m P=0,013). Ensimmäisellä 10 metrillä juoksuajat heikkenivät keskimäärin 1,8 %, viimeisillä 20 metrillä 2,3 % ja koko 30 metrin matkalla 2,1 %.

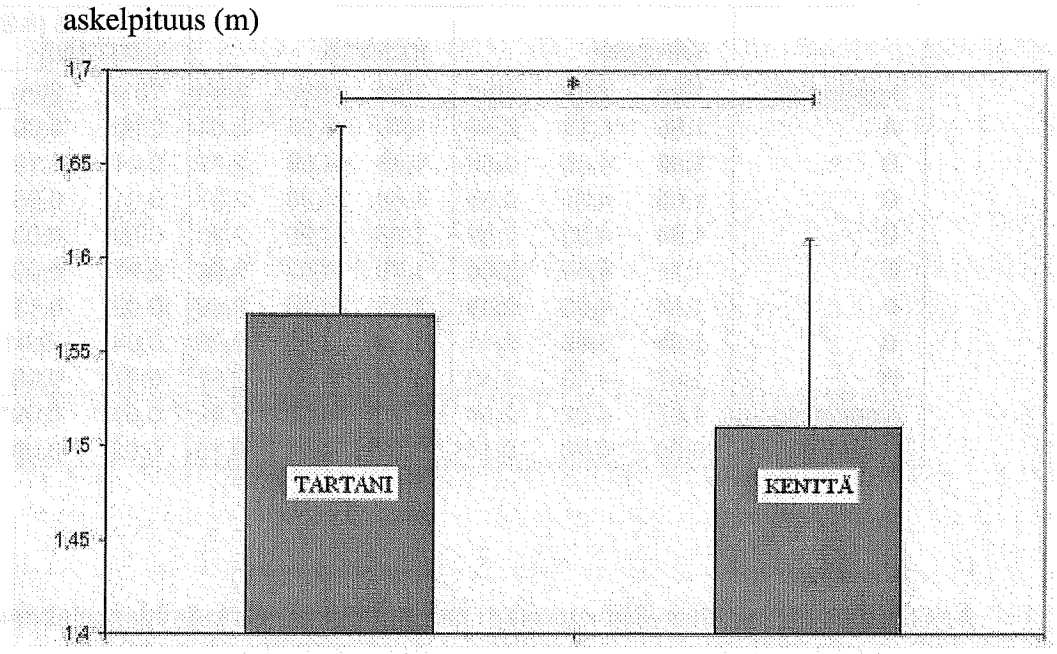
TAULUKKO 2. Juoksuajat tartanilla ja kentällä koehenkilöittäin. Suurimmat ja pienimmät arvot on lihavoitu sarakkeittain

	TARTANI			KENTTÄ			EROTUS (KENTTÄ-TARTANI)		
koehenkilö	**10m**	**30m**	**20m**	**10m**	**30m**	**20m**	**10 m**	**30m**	**20m**
A	1,65	4,14	2,49	1,70	4,34	2,64	0,05	0,20	**0,15**
B	**1,82**	4,48	2,66	**1,83**	**4,60**	2,77	**0,01**	0,12	0,11
C	1,68	4,21	2,53	1,69	4,26	2,57	0,01	0,05	0,04
D	1,64	4,23	2,59	1,66	4,26	2,60	0,02	0,03	0,01
E	1,74	**4,54**	**2,80**	1,75	4,57	**2,82**	0,01	0,03	0,02
F	1,64	4,03	**2,39**	1,66	4,14	2,48	0,02	0,11	0,09
G	**1,55**	**3,96**	2,41	**1,59**	**3,95**	**2,36**	0,04	**-0,01**	**-0,05**
H	1,67	4,13	2,46	1,74	4,31	2,57	**0,07**	**0,18**	0,11
Keskiarvo	1,67	4,22	2,54	1,70	4,30	2,60	0,03**	0,09*	0,06*
Keskihajonta	0,08	0,20	0,14	0,07	0,21	0,15	0,02	0,08	0,07

Askelpituus oli merkitsevästi suurempi tartanilla juostessa kuin hiekkatekonurmella (P=0,038) (Kuva 6). Tartanilla askelpituus oli keskimäärin 1,6 metriä ja hiekkatekonurmella 1,5 metriä, joten askeleet olivat hiekkatekonurmella noin 6 % lyhyempiä. Askelfrekvenssissä ei kahden eri alustan välillä ollut eroja (Taulukko 3). Askelmäärä 30 metrillä oli merkitsevästi suurempi hiekkatekonurmella kuin tartanilla (P=0,028). Kontakti- ja heilahdusajoissa ei alustojen välillä ollut merkitseviä eroja.

TAULUKKO 3. Juoksun muuttujien vaihteluvälit (yksittäisten koehenkilöiden keskiarvojen), keskiarvot ja keskihajonnat koehenkilöillä tartanilla ja kentällä. Askelmäärät, -frekvenssit ja -pituudet on laskettu koko 30 metriltä. Kontakti- ja heilahdusajat ovat vasemmasta jalasta ja ne on laskettu ensimmäisiltä 10 metriltä ja viimeisiltä 20 metriltä.

	TARTANI			KENTTÄ		
	vaihteluväli	keskiarvo	keskihajonta	vaihteluväli	keskiarvo	keskihajonta
askelmäärä	16,5-21,0	19,3*	1,4	18,0-21,5	19,9*	1,1
askelfrekvenssi (Hz)	4,2-4,8	4,6	0,2	4,3-4,9	4,6	0,2
askelpituus (m)	1,4-1,8	1,6*	0,1	1,4-1,7	1,5*	0,1
kontaktiaika 10m (s)	0,129-0,173	0,149	0,015	0,133-0,188	0,150	0,018
kontaktiaika 20m (s)	0,109-0,150	0,124	0,013	0,117-0,159	0,125	0,014
heilahdusaika 10m (s)	0,282-0,351	0,317	0,020	0,292-0,338	0,323	0,018
heilahdusaika 20m (s)	0,315-0,353	0,337	0,013	0,315-0,356	0,342	0,014



KUVA 6. Askelpituuksien keskiarvot ja keskihajonnat tartanilla ja kentällä.

Kevennyshypyissä (HK) keskimääräinen hyppykorkeus oli 35 ± 8 cm (Taulukko 4). Paras koehenkilöistä hyppäsi 44 cm ja huonoin 25 cm. Yksi koehenkilöistä ei pystynyt teknisistä ongelmista johtuen suorittamaan kevennyshyppyä. Jalkojen ojennuksen konsentrisessa voimantuotossa (100°, "hidas", 0,3m/s) koehenkilöiden keskiarvo oli 1522 ± 312 N. Suhteellisena koehenkilöiden voimien keskiarvo oli 20 ± 4 N/kg.

Vastaavassa liikkeessä suuremmalla nopeudella ("nopea", 0,65m/s) koehenkilöiden keskiarvo oli absoluuttisena 1252 ± 228 N ja suhteellisena 17 ± 14 N/kg. Isometrisessä jalkojen bilateraalisessa ojennuksessa (120°) keskiarvo oli absoluuttisena 4189 ± 1075 N ja suhteellisena 55 ± 17 N/kg. Isometrisen suorituksen yhteydessä mitattiin keskimääräistä voimantuottoa sadan millisekunnin aikaväleillä. Ensimmäisen sadan millisekunnin (0-100ms) aikana koehenkilöiden keskimääräinen voimantuotto oli 780 ± 81 N, seuraavien sadan millisekunnin aikana (100-200ms) 2103 N ja aikavälillä 200-300 ms 2751 ± 493 N.

TAULUKKO 4. Voima- ja nopeusvoimaominaisuudet koehenkilöittäin. Osa muuttujista on ilmoitettu suhteellisina (henkilön massalla jaettuna). Pienimmät ja suurimmat arvot on lihavoitu sarakkeittain.

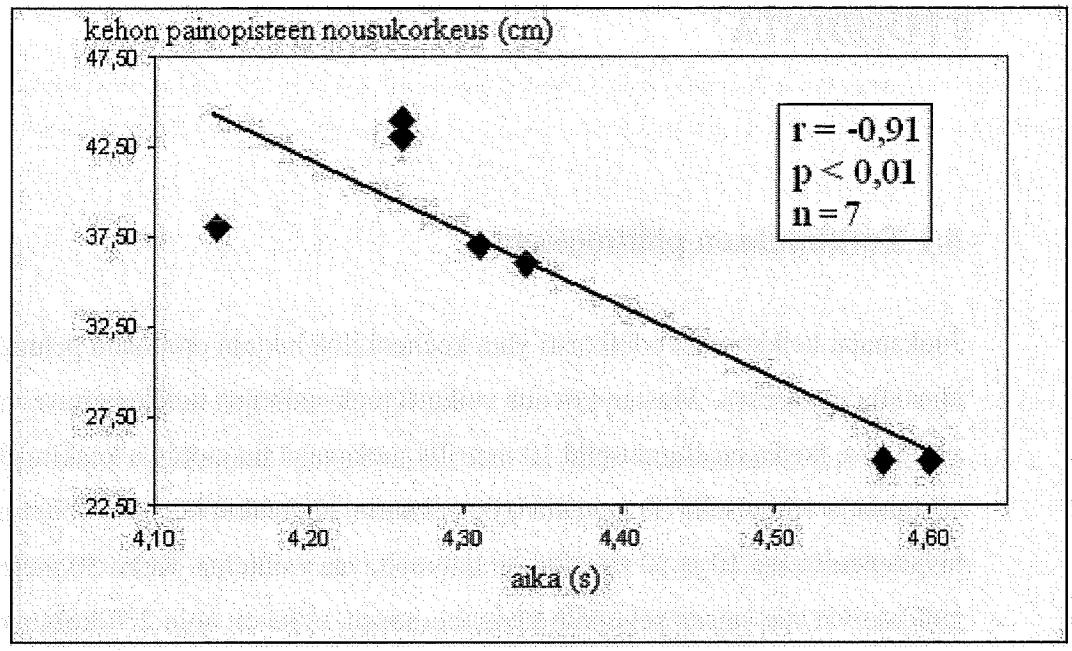
koehenkilö	HK(cm)	Kons. hidas(N)	Kons.hidas (N/kg)	Kons. nopea(N)	Kons. nopea(N/kg)	Isom. (N)	Isom.(N/kg)	0-100ms(N)	100-200ms(N)	200-300ms(N)
A	36	1670	22	1444	19	4806	64	792	**2531**	3250
B	**25**	**907**	16	**907**	16	**2259**	39	811	**1824**	**1935**
C	43	1732	20	1320	16	4185	49	**679**	1918	2776
D	**44**	1470	21	1284	18	5311	75	**913**	2271	**3420**
E	**25**	1284	**13**	913	**10**	3278	**34**	732	1915	2478
F	38	1753	25	1402	20	**5435**	**78**	698	1991	2422
G	-	1485	17	1237	14	3709	42	864	2529	3121
H	37	**1877**	**26**	**1505**	**21**	4530	62	754	1848	2604
keskiarvo	35	1522	20	1252	17	4189	55	780	2103	2751
keskihajonta	8	312	4	228	4	1075	17	81	297	493

Juoksuaikojen ja voimaominaisuuksien kertoimista vain pieni osa oli merkitseviä (Taulukko 5). Juoksunopeutta parhaiten ennusti kevennyshyppy, joka korreloi positiivisesti sekä tartanilla että kentällä juoksunopeuden kanssa. Kentällä 30 metrin matkalla korrelaatio oli 0,91 (Kuva 7). Hidas (0,3m/s) konsentrinen voima absoluuttisena ennusti juoksunopeutta merkitsevästi ainoastaan 30 metrin matkalla tartanilla (R=0,71). Tosin muissakin tilanteissa korrelaatiot olivat kohtalaisen suuria, mutteivät saavuttaneet merkitsevyyttä. Suhteellisena hidas konsentrinen voima ennusti juoksunopeutta 20 metrin matkalla tartanilla (R=0,74). Nopea (0,65m/s) konsentrinen voima absoluuttisena korreloi positiivisesti ja merkitsevästi juoksunopeuden kanssa viimeisillä 20 metrillä (R=0,81) sekä koko 30 (R=0,81) metrin matkalla tartanilla (Kuva 8). Myös muissa tilanteessa korrelaatiot olivat suhteellisen voimakkaita, mutteivät

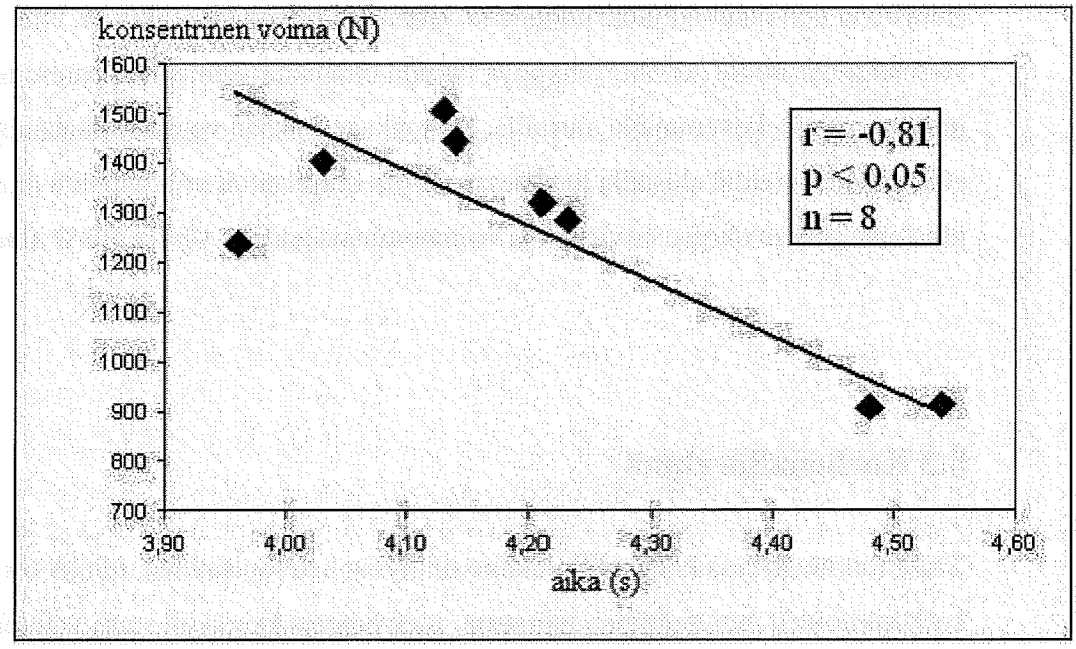
kuitenkaan merkitseviä. Suhteellisena nopea konsentrinen voima ennusti juoksuaikoja ainoastaan tartanilla viimeisillä 20 metrillä (R=0,71). Isometrinen voima ei absoluuttisena tai suhteellisena ennustanut juoksunopeutta merkitsevästi missään tilanteessa. Keskimääräinen tuotettu voima 0-100 millisekunnin aikana isometrisessä suorituksessa ei korreloinut juoksuaikojen kanssa missään tilanteessa. 100-200 millisekunnin aikana tuotettu voima ennusti juoksunopeutta merkitsevästi 10 metrillä tartanilla (R=0,72) sekä lähes merkitsevästi 10 metrillä kentällä (R=0,69). Voima aikavälillä 200-300 millisekuntia korreloi juoksuaikojen kanssa 10 metrillä sekä tartanilla (R=0,75) että kentällä (R=0,72). Juoksuaikojen erotusten ja voimaominaisuuksien väliset korrelaatiot jäivät kaikki merkitsemättömiksi. Muutamat positiiviset korrelaatiot tosin lähentelivät merkitsevyyden rajaa.

TAULUKKO 5. Juoksuaikojen ja voimaominaisuuksien korrelaatiot.

	TARTANI			**KENTTÄ**			**EROTUS (KENTTÄ-TARTANI)**		
	10m	30m	20m	10m	30m	20m	10m	30m	20m
HK (cm)	**-0,85**	**-0,80**	-0,69	**-0,84**	**-0,91**	**-0,86**	0,24	-0,04	-0,16
Kons. hidas (N)	-0,64	**-0,71**	-0,68	-0,53	-0,58	-0,58	0,57	0,28	0,13
Kons. hidas (N/kg)	-0,39	-0,65	**-0,74**	-0,25	-0,41	-0,47	0,58	0,59	0,48
Kons. nopea (N)	-0,65	**-0,81**	**-0,81**	-0,50	-0,61	-0,64	0,68	0,44	0,28
Kons. nopea (N/kg)	-0,27	-0,59	**-0,71**	-0,12	-0,32	-0,40	0,57	0,67	0,58
Isom. (N)	-0,64	-0,64	-0,57	-0,60	-0,55	-0,49	0,32	0,18	0,09
Isom. (N/kg)	-0,42	-0,55	-0,57	-0,60	-0,40	-0,39	0,32	0,36	0,31
0-100ms (N)	-0,26	-0,09	0,02	-0,24	-0,17	-0,14	0,15	-0,26	-0,35
100-200ms (N)	**-0,72**	-0,54	-0,39	-0,69	-0,57	-0,48	0,33	-0,13	-0,26
200-300ms (N)	**-0,75**	-0,50	-0,31	**-0,72**	-0,55	-0,44	0,33	-0,20	-0,34



KUVA 7. Kevennyshyppykorkeus ja 30 metrin juoksuajat (kentällä).



KUVA 8. Konsentrinen (kulmanopeudella 0,65 rad/s; "nopea") voima ja 30 metrin juoksuajat (tartanilla).

8 POHDINTA

8.1 Tutkimuksen päätulokset

Juoksuajat heikkenivät odotetusti yhtä koehenkilöä lukuun ottamatta pehmeämmällä alustalla juostaessa. Alustan kovuus vaikutti juoksuaikojen heikkenemiseen samassa suhteessa, koska ensimmäisellä 10 metrillä juoksuajat huononivat keskimäärin 0,03 sekuntia ja viimeisellä 20 metrillä 0,06 sekuntia. Kuitenkin koehenkilöittäin aikojen heikkenemisessä 10 ja 20 metrillä oli huomattavaa vaihtelua. Koko 30 metrillä ajat heikkenivät siis vajaan sekunnin kymmenesosan, mikä on noin 2 % kokonaisajasta. Kontaktiajoissa ei alustojen välillä ollut yllättäen eroja. Askelpituus pieneni pehmeämmällä alustalla juostaessa askelfrekvenssin pysyessä samana. Tällöin askelmäärä tietyllä matkalla luonnollisesti kasvoi. Odotetusti kevennyshyppy ennusti juoksunopeutta hyvin molemmilla alustoilla. Myös muutamat muut voimaominaisuudet ennustivat kohtalaisesti juoksunopeutta. Huomattavaa on kuitenkin se, että voimaominaisuudet (kevennyshyppyä lukuun ottamatta) ennustivat paremmin juoksunopeutta kovemmalla alustalla. Kuitenkaan mikään voimaominaisuus ei tuonut etua pehmeämmällä alustalla juostaessa, koska korrelaatiot erikovuisilla alustoilla juostujen juoksuaikojen erotusten ja voimaominaisuuksien välillä olivat alhaisia.

8.2 Koehenkilöryhmä

Tässä tutkimuksessa koehenkilöjoukko oli hyvin heterogeeninen, minkä osoittaa myös koehenkilöiden monipuolinen lajitausta. Juoksunopeuksissa oli suuri vaihtelu koehenkilöiden välillä. Nopein koehenkilöistä juoksi 30 metriä tartanilla aikaan 3,96 sekuntia ja hitain aikaan 4,48 sekuntia. Hitain koehenkilöistä saavutti viimeisellä 20 metrillä keskimääräisen juoksunopeuden 7,1 m/s ja nopein 8,5 m/s. Koehenkilöt erosivat toisistaan huomattavasti myös antropometrisesti ja voimaominaisuuksiltaan. Henkilöiden paino oli välillä 58- 96 kg ja rasvaprosentti 8,9- 21,2 %. Esimerkiksi isometrisessä jalkojen ojentajien voimassa parhaimman ja huonoimman koehenkilön ero

oli yli kaksinkertainen (2259N; 5435N). Voimaerot olivat lähes yhtä suuria myös suhteellisissa voimissa. Kaikki edellä mainitut kuvaavat hyvin koehenkilöryhmän heterogeenista rakennetta.

8.3 Koehenkilöt vs. pikajuoksijat

Tässä tutkimuksessa koehenkilöt saavuttivat siis parhaimmillaan keskimääräisen nopeuden 8,5 m/s, kun pikajuoksija voi saavuttaa hetkellisesti yli 13 m/s nopeuden (Mero & Komi 1986). Juoksuaikoja vertailtaessa täytyy kuitenkin huomioida, että tämän tutkimuksen koehenkilöiltä ei mitattu huippunopeutta vaan ainoastaan keskimääräinen nopeus viimeiseltä 20 metriltä, jossa ollaan ainakin osittain vielä kiihdytysvaiheessa. Pikajuoksijoilla tehdyissä tutkimuksissa kiihdytysvaiheen on mitattu kestävän 30- 50 metriä (Moravec ym. 1988), mutta heikompi tasoisilla juoksijoilla tehdyissä tutkimuksissa on havaittu, että maksiminopeus saavutetaan jo ennen 30 metriä (Kukolj ym. 1999). Maksiminopeusvaiheelle on ominaista, että askeleet toistuvat samanlaisina (Cretzmeyer ym. 1974, 48.). Kontakti- ja heilahdusajat alkavat toistua koehenkilöillä noin 20 metrin juoksun jälkeen lähes samanlaisina, joten voidaan olettaa, että koehenkilöt saavuttivat maksiminopeutensa ennen 30 metriä. Havainto tukee Kukoljin ja kollegoiden tutkimustuloksia siitä, että heikompitasoisilla juoksijoilla, joita tämän tutkimuksen koehenkilöt selkeästi ovat, kiihdytysvaihe loppuu jo ennen 30 metriä. Yksittäisten koehenkilöiden lyhyimmät kontaktiajat olivat välillä 0,105- 0,144 sekuntia. Kunz ja Kaufman (1981) mittasivat maksiminopeusvaiheessa pikajuoksijoilla kontaktiajoiksi 0.080- 0.100 sekuntia, joten tämän tutkimuksen koehenkilöillä kontaktiajat olivat joko vähän tai huomattavan paljon pidempiä kuin pikajuoksijoilla. Askelfrekvenssi oli koko 30 metrin matkalla keskimäärin 4,6 Hertziä, mikä jää pienemmäksi kuin pikajuoksijoilta maksiminopeusvaiheessa mitattu 5 Hertziä (Mero & Komi 1986). Askelfrekvenssejä vertailtaessa täytyy kuitenkin huomioida, että tässä tutkimuksessa ei mitattu maksimaalista vaan ainoastaan keskimääräistä askelfrekvenssiä.

8.4 Juoksuaikojen eroavaisuudet eri alustoilla

Juoksuajat heikkenivät hiekkatekonurmella juostaessa keskimäärin 0,09 sekuntia verrattuna tartanilla juostuihin aikoihin. Todennäköisesti ajat heikkenevät sitä enemmän, mitä suurempi alustojen kovuusero on. Tutkimuksessa käytetty hiekkatekonurmi oli testiaikaan täysin kuiva ja yleisiltä ominaisuuksiltaan suhteellisen kova hiekkatekonurmeksi. Tällöin voidaan olettaa, että jos kenttä on märkä tai muusta syystä pehmeämpi, juoksuajat luultavasti heikkenevät vielä enemmän. Esimerkiksi jalkapallossa kentän pinta on yleensä huomattavasti pehmeämpi kuin tutkimuksessa käytetty hiekkatekonurmi.

Kovuuden lisäksi myös alustan elastiset ominaisuudet (kimmoisuus) vaikuttavat juoksemiseen. Alustan elastisten ominaisuuksien vaikutuksesta osa alustaan kohdistuneesta voimasta palautuu takaisin hyödyttäen esimerkiksi juoksemista. Maksimaalisessa juoksussa kontaktiajat ovat kuitenkin niin lyhyitä, että on hyvin epätodennäköistä, että alustan kimmoisuudella on merkitsevää vaikutusta juoksemiseen etenkin tässä tutkimuksessa, kun alustat eivät vaikuttaneet erityisen kimmoisilta. Alustojen kimmoisuuksia ja kovuuksia ei kuitenkaan pystytty mittaamaan.

8.5 Alustan vaikutukset juoksun muuttujiin

Askelfrekvenssissä, kontakti- ja heilahdusajoissa ei kahden eri alustan välillä ollut merkitseviä eroja. Askelpituus oli merkitsevästi lyhyempi hiekkatekonurmella kuin tartanilla, mistä johtuen askelmäärä oli luonnollisesti suurempi hiekkatekonurmella. Edellä mainittujen faktojen perusteella näyttäisi siltä, että koehenkilöt juoksevat samalla tavalla alustan kovuudesta riippumatta. Ainoana erona on, että pehmeämmällä alustalla askeleet ovat lyhyempiä. Ja koska juoksunopeus on askelpituuden ja askelfrekvenssin tulo, juoksunopeus alenee tällöin väistämättä. Todennäköisesti askelpituuden lyheneminen johtuu siitä, että pehmeämmällä alustalla suurempi osa työntövoimasta hukataan alustan muodonmuutoksiin. Toisaalta tällöin täytyy myös olla niin, että kontaktin jarrutusvaiheessa tapahtuva juoksunopeuden hidastuminen on myös

pienempää, koska silloinkin suurempi osa voimasta kuluu juoksunopeuden hidastumisen sijasta alustan muodon muuttamiseen. Työntövoima on kuitenkin juostaessa jarruttavaa voimaa suurempaa, joten pehmeämmällä alustalla juoksunopeudet heikkenevät. Myös elastisen energian käyttö venymis-lyhenemis –syklin kautta voi olla vähäisempää, koska elastisen energian hyödyntämiseen vaikuttaa venytysnopeus, joka hidastuu pehmeämmän alustan seurauksena (törmäysvoimien aikaprofiili muuttuu (Nigg ym. 1987)). Tämän tutkimuksen perusteella on kuitenkin mahdotonta sanoa, onko kyseisellä seikalla merkitsevää vaikutusta

8.6 Juoksunopeutta ennustavat tekijät

Kevennyshyppykorkeus ennusti juoksunopeutta hyvin molemmilla alustoilla. Löydös ei ollut yllätys, koska useat muut tutkimukset ovat aikaisemmin havainneet kevennyshypyn korreloivan positiivisesti juoksunopeuden kanssa (Swindler 1999; Kukolj ym. 1999; Young ym. 1995). Osassa tutkimuksissa kevennyshyppy on ennustanut juoksunopeutta ainoastaan maksiminopeusvaiheessa (Kukolj 1999; Young ym. 1995). Tässä tutkimuksessa kevennyshyppy ennusti juoksunopeutta ensimmäisellä 10 metrillä sekä 30 metrin kokonaismatkalla, joten tämän tutkimuksen mukaan kevennyshyppy ennustaa juoksunopeutta niin kiihdytys- kuin maksiminopeusvaiheessa. Muista nopeusvoimamuuttujista juoksunopeutta ennustivat isometrisessä jalkojen ojennuksessa 100- 200 ms sekä 200- 300 ms aikana tuotettu keskimääräinen voima. Nämä muuttujat ennustivat juoksunopeutta ainoastaan ensimmäiselle 10 metrille. Tulokset ovat ristiriidassa Youngin (1995) tutkimuksen tulosten kanssa, koska Young havaitsi tutkimuksessaan, että nopeusvoimaominaisuudet ennustavat paremmin maksiminopeutta kuin lähtökykyä. Ensimmäisten sadan millisekunnin (0-100 ms) aikana tuotettu voima ei ennustanut juoksunopeutta todennäköisesti sen vuoksi, että osa koehenkilöistä ei osannut tuottaa voimaa riittävän tehokkaasti aivan suorituksen alussa (voima-aika –käyrä kaartuu loivasti alussa). Tällöin heillä tuotettu voima 0-100 ms:n aikana jäi vähäiseksi, koska voimantuoton aluksi laskettiin se kohta, jossa voima kohoaa nollatason yläpuolelle.

Jalkojen ojennuksen isometrinen maksimivoima ei absoluuttisena eikä suhteellisena ennustanut merkitsevästi juoksunopeutta kummallakaan alustalla. Tulos on samassa

linjassa useiden muiden tutkimusten kanssa (Kukolj ym. 1999; Wilson & Murphy 1996). Se, että isometrinen voima korreloi huonosti juoksunopeuden kanssa, johtuu todennäköisesti siitä, että isometrisessä ja dynaamisessa toiminnassa motoristen yksiköiden rekrytointi eroaa huomattavasti toisistaan. Jalkojen ojennuksen konsentrinen voima (hidas ja nopea) ennusti juoksunopeutta tartanilla viimeisellä 20 metrillä sekä koko 30 metrillä. Kyseisten voimaominaisuuksien yhteyttä juoksunopeuksiin ei kuitenkaan havaittu hiekkatekonurmella, mikä voi johtua näin pienellä otoksella esimerkiksi sattumasta.

Edellä mainittujen tulosten perusteella näyttää siltä, että maksimivoima ominaisuudet ennustavat paremmin nopeutta maksiminopeusvaiheessa (tarkoittaa juoksun viimeistä 20 metriä, joka ei ole täysin maksiminopeusvaihetta) ja nopeusvoima ominaisuudet kiihdytysvaiheessa. Kyseinen asia tuntuu hieman erikoiselta, kun huomioidaan, että kontaktiajat maksiminopeusvaiheessa ovat huomattavasti lyhyemmät kuin kiihdytysvaiheessa. Tällöin tuntuu luonnolliselta ajatella, että voimantuottonopeus on maksimivoimaa tärkeämpää juoksun maksiminopeusvaiheessa. Ja kääntäen, kun kiihdytysvaiheessa kontakteissa on enemmän aikaa tuottaa voimaa, tuntuisi luontevalta, että maksimivoima ominaisuudet olisivat nopeusvoima ominaisuuksia merkittävämmässä osassa. Tutkimuksen tulokset osoittavat asian olevan kuitenkin juuri päinvastoin. Mahdollisesti asiaan vaikuttaa se, että maksiminopeuksiselle juoksulle on ominaista suuri esiaktiviisuus (Mero & Komi 1987), joka tavallaan pidentää voimantuottoaikaa kontaktivaihetta pidemmäksi sekä se, että kiihdytysvaiheessa on tärkeää tuoda jalka mahdollisimman nopeasti eteen välittömästi työnnön päätyttyä. Toisaalta myös sattumalla on voinut olla vaikutusta näin pienessä koehenkilöryhmässä.

8.7 Erikovuisella alustalla juoksemista hyödyttävät ominaisuudet

Juoksuaikojen erotusten (hiekkatekonurmi-tartani) ja voimaominaisuuksien korrelaatiot jäivät kaikki alhaisiksi. Ainoastaan muutamat korrelaatiot lähentelivät merkitsevyyden rajaa, mutta nekin voimaominaisuudet korreloivat positiivisesti juoksuaikojen erotusten suhteen, mikä tarkoittaa, että mitä parempi voima-ominaisuuksiltaan, sitä enemmän ajat heikkenivät pehmeämmällä alustalla juostaessa. Tällöin voidaan ajatella, että mitkään

voima-ominaisuudet eivät tuoneet etua pehmeämmällä alustalla juostaessa. Tuloksia sovellettaessa täytyy kuitenkin huomioida koehenkilöryhmän heterogeenisyys ja pieni koko sekä alustojen kovuusero.

Juoksunopeuteen voimantuotto-ominaisuuksien ohella vaikuttaa merkittävästi myös taito ja tekniikka. Tässä tutkimuksessa erot koehenkilöiden juoksutekniikassa olivat huomattavan suuret, koska osa koehenkilöistä harrasti lajeja joihin kuluu oleellisena osana nopea juokseminen (800m, pesäpallo, amerikkalainen jalkapallo, kestävyysjuoksu) ja osa taas lajeja, joissa juoksemista ei ole laisinkaan (jääkiekko, motocross, hiihto). Tällöin juoksutekniset erot ovat voineet mahdollisesti peittää voima-ominaisuuksien vaikutukset juoksuaikoihin erikovuisilla alustoilla.

Osa koehenkilöistä ei ollut välttämättä myöskään tottunut tuottamaan maksimivoimaa, mikä voi aiheuttaa virhettä voimatuloksissa. Koehenkilöryhmän pienen koon vuoksi todelliset korrelaatiot voivat helposti kadota esimerkiksi virheellisten maksimivoimatulosten takia. Tässä koehenkilöjoukossa oli kuitenkin vahvuutena se, että erot koehenkilöiden voimaominaisuuksissa olivat riittävän suuret, jolloin pienet eroavaisuudet esimerkiksi "päivän kunnossa" (juoksut eri alustoilla juostiin eri päivinä) eivät päässeet hävittämään mahdollisia korrelaatioita.

Joka tapauksessa se, että mitkään voimaominaisuudet eivät hyödytä pehmeämmällä juostaessa, tuntuu luonnolliselta, kun huomioidaan, että kontaktiajat eivät eronneet kahden alustan välillä. Tällöinhän voiman tuottamiseen on aikaa molemmilla alustoilla saman verran ja ainut ero eri alustoilla juostaessa on se, että hukkaan kuluvan voiman määrä on eri suurta. Mahdollisesti tilanne on toinen, jos alustojen kovuuserot ovat niin suuret, että kontaktiajat eivät pysy samoina.

8.8 Johtopäätökset ja käytännön sovellukset

Tutkimus siis osoitti, että juoksuajat heikkenivät pehmeämmällä juostaessa askelpituuden lyhenemisestä johtuen. Askelsykli toistui samanlaisena alustasta riippumatta, eikä esimerkiksi kontaktiajoissa ollut merkitseviä eroja. Koska alustan

kovuus näyttäisi vaikuttavan vain hyvin vähän juoksun muuttujiin, voitaisiin ajatella, että juoksuharjoittelu pehmeämmällä alustalla ei häiritsisi nopeusominaisuuksien kehittymistä. Juoksijan jalathan liikkuvat samalla nopeudella ja juoksunopeus on hitaampaa vain siksi, että suurempi osa energiasta kuluu alustan muodonmuutoksiin pehmeämmällä alustalla. Pehmeämmällä alustalla harjoittelu vähentää jalkoihin kohdistuvaa rasitusta ja pienentää täten riskiä saada rasitusvammoja. Esimerkiksi "penikkatauti" on yleinen vaiva paljon kovalla alustalla harjoitteleville. Pikajuoksijat voisivat luoda pehmeämmän alustan itselleen käyttämällä juoksuharjoittelussaan lenkkikenkiä, koska lenkkikengän vaimennus toimii pehmeän alustan tapaan. Muiden lajien harrastajilla harjoittelu voisi tapahtua konkreettisesti pehmeämmällä alustalla.

Tämän tutkimuksen perustella mitkään voimaominaisuudet eivät tuoneet hyötyä pehmeämmällä alustalla juostaessa. Käytännössä tämä tarkoittaa, että jalkojen voimaharjoittelusta saatavaa hyötyä voidaan mitata suoraan juoksuaikojen kehittymisestä tartanilla, jos urheilijat tekevät voimaharjoittelua jaloille sen vuoksi, että olisivat nopeampia pelitilanteessa (pehmeämmällä alustalla). Tällöin on siis hyödytöntä hankkia jalkoihin paljon voimaa ja lihasmassaa, jos sitä ei pystytä hyödyntämään juoksemisessa.

8.9 Tulevaisuuden tutkimukset

Tässä tutkimuksessa koehenkilöryhmä oli pieni ja heterogeeninen. Lisätutkimusta tarvitaan, jotta voidaan vahvistaa tämän tutkimuksen tuloksia ja saada syvällisempää tietoa erikovuisilla alustoilla juoksemisesta. Tulevissa tutkimuksissa kannattaisi ottaa suurempi ja homogeenisempi koehenkilöryhmä. Erikovuisia alustoja pitäisi olla useampia, jotta saataisiin selvitettyä, minkä kovuisella alustalla kontaktiajat alkavat pidentyä. Todennäköisestihän kontaktiajat pysyvät muuttumattomina tiettyyn kynnyskovuuteen asti, jonka jälkeen kontaktiajat pitenevät alustan kovuuden pienentyessä, jolloin jotkin voimaominaisuudet voivat tuoda lisäetua pehmeämmällä alustalla juostaessa. EMG –aktiivisuuksia tutkimalla voitaisiin saada tarkempaa tietoa siitä, kuinka alustan kovuus vaikuttaa juoksemiseen.

9 LÄHTEET

Abernethy P., Wilson G., Logan P. 1995. Strength and power assesment. Issues, controversies and challenges. Sports medicine 19:401-417.

Barrett, R.S., Neal, R.J., Roberts, L.J. 1998. The dynamic loading response of surfaces encountered in beach running. Journal of Science and Medicine in Sport 1(1), Jan, 1-11.

Clarke, T.E., Frederick, E.C., Hamill, C.L. 1983. Effects of shoe cushioning upon ground reaction forces in running. International Journal of Sports Medicine 4: 247-251.

Cretzmeyer, F.X., Alley, L.E., Tipton, C.M. 1974. Track and field athletics, eight edition. C.V Mosby Company. 45-52.

Dietz, V., Schmidtbleicher, D., Noth, J. 1979. Neuronal mechanics of human locomotion. Journal of Neurophysiology 42, 1212-1222.

Hamill, J., Bates B.T., Knutzen, K.M., Sawhill, J.A. 1983. Variations in ground reaction force parameters at different running speeds. Human Movement Science 2: 47-56.

Hoshikawa, T., Matsui, H., Miyashita, M. 1973. Analysis of running pattern in relation to speed. In Lerquitins et al. (Eds) Medicine and sport, Vol. 8, Biomechanics 3, pp.342-348, Karger Basel.

Komi, P.V. 1984. Physiological and biomechanical correlates of muscle function: effects of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed. In exercise and sports science reviews, Terjung RL (Ed.) pp. 81-121, The Collamore Press, Toronto.

Kukolj, M., Ropret, R., Ugarkovic, D., Jaric, S. 1999. Anthropometric, strength and power predictors of sprinting performance. Journal of Sports Medicine & Physical Fitness 39, 120-122.

Kunz, H., Kaufmann, D.A. 1981. Annotation biomechanical analysis of sprinting: decathletes versus champions. British Journal of Sports Medicine 15 (3): 177-181.

Mero, A. 1987. Electromyographic activity, force and anaerobic energy production in sprint running with special reference to different constant speeds ranging from

submaximal to supramaximal. In studies in sport, physical education and health 24, University of Jyväskylä, Jyväskylä.

Mero, A., Komi, P.V. 1986. Force-, EMG- and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running. European Journal of Applied Physiology 55, 553-561.

Mero, A., Komi, P.V. 1987a. Electromyographic activity in sprinting at speeds ranging from submaximal to supramaximal. Medicine and Science in Sports Exercise 19(3), 266-274.

Mero, A., Komi, P.V. 1987b. Effects of stimulated supramaximal sprinting on force production, neural activation and blood lactate. XI International Congress of Biomechanics, Amsterdam.

Mero, A., Komi, P.V. 1990. Reaction time and electromyographic activity during a sprint start. European Journal of Applied Physiology 61, 73-80.

Mero, A., Komi, P.V., Rusko, H., Hirvonen, J. 1987. Neuromuscular and anaerobic performance of sprinters at maximal and supramaximal speed. International Journal of Sports Medicine 8, 55-60.

Melvill-Jones, G., Watt, D.G.D. 1971. Observation on the control of stepping and hopping movements in man. Journal of Physiology (London) 219, 709-727.

Moravec, P., Ruzicka, J., Susanka, P., Dostal, E., Kodejs, M., Nosek, M. 1988. The 1987 International Athletic Foundation/IAAF Scientific Project Report: time analysis of the 100 metres events at the 2nd Worls´d Championships in Athletics. New Studies in Athletics 3:61-96.

Nesser, T.W., Latin, R.W., Prentice, E. 1996. Physiological determinants of 40-meter sprint performance in young male athletes. Journal of strength and conditioning research 10(4), Nov, 263-267.

Nigg, B.M., Bahlsen, H.A., Luethi, S.M., Stokes, S. 1987. The influence of running velocity and midsole hardness on external impact forces in heel-toe running. Journal of Biomechanics 20:951-959.

Pinnington, H.C., Dawson, B. 2001b. Running economy of elite surf iron men athletes, on soft dry beach sand and grass. European Journal of Applied Physiology Nov, 86(1)

Pinnington, H.C., Dawson, B. 2001a. The energy cost of running on grass compared to soft dry beach sand. Journal of Science and Medicine in Sports 4(4), Dec, 416-430.

Rand, M.K., Ohtsuki, T. 2000. EMG analysis of lower limb muscles in humans during quick change of running in directions. Gait & Posture 12(2), Oct, 169-193.

Swindler, R.S. 1999. Predicting 40- yard dash time in college football players. I.A.H.P.E.R.D. Journal. Kirksville, MO

Track Coach 156. Summer 2001. Cathy Freeman's sprinting technique. Saatavana myös www-muodossa osoitteessa: http://www.coachr.org/cfst.htm (2.4.2004)

Wakeling, J.M., Pascual, S.A., Nigg, B.M. 2002. Altering muscle activity in the lower extremities by running with different shoes. Medicine & Science in Sports & Exercise Apr, 1529-1532.

Wheat, J., Bartlett, R.M., Milner, C.E., 2002. Mullineaux, D.R. The effects of three different surfaces on ground reaction forces during running. Journal of Sports Sciences 20(1), Jan, 15-16.

Williams, K.R., Cavanagh, P.R. 1983. A model for the calculation of mechanical power during distance running. Journal of Biomechanics 16(2), 115-128.

Wilson GJ, Murphy AJ. 1996. The use of isometric tests of muscular function in athletic assesmant. Sports medicine 22, 19-37.

Young, W., McLean, B., Ardagna, J. 1995. Relationship between strength qualities and sprinting performance. Journal of sports medicne and physical fitness 35(1), Mar, 13-19.

Zamparo, P., Perini, R., Orizio, C., Sacher, M., Ferretti, G. 1992. The energy cost of walking or running on sand. European Journal of Applied Physiology and Occuoational Physiology 65(2), Aug, 183-187.