

Biomechanics in forefoot problems

Seppo Anttila

Ortopediaklinikka Ortis, Kuopio

Forefoot problems are closely interrelated to the foot biomechanics as a whole. In order to manage the problems one must understand the basic principles of foot biomechanics. Forefoot problems are mainly due to the function and biomechanical disorders of the first ray. These include both structural disorders of the first ray like metatarsus primus elevatus and plantarflexed first ray, and many functional disorders of the foot and ankle, which affect the function of the first ray through the subtalar joint locking mechanism. Metatarsus primus elevatus can cause painful keratosis beneath the second metatarsal joint, inflammation of the joint and even stress fracture of the second metatarsal bone. Plantarflexed first ray can cause sesamoiditis and painful calluses plantar to the first metatarsal head. The biomechanical disorders of the foot can cause instability of the first ray. The instability of the first ray followed by excessive subtalar joint pronation can lead to hallux limitus/rigidus and hallux abductovalgus. Recently, more interest is focused also to the ankle equinus as a causative factor to forefoot problems, like metatarsalgia and even Morton's neuroma.

Jalkaterän rakenne ja toiminta

Etujalan biomekaniikka on siinä määrin kytköksissä jalan yleiseen biomekaniikkaan, että sen ymmärtäminen on mahdotonta ilman laajempaa selvitystä jalan rakenteen ja toiminnan perusteista. Esityksessä käsitellään aihetta laajemmin ja käytännönläheisemmin koko jalan ja myös sen tutkimisen kannalta. Kysymys on ennen muuta siitä, onko jalkaongelmaisella potilaalla biomekaaninen vai jostain muusta syystä johtuva vaiva. Jalan ja sen etuosan viat ja sairaudet voivat olla moninaisia etiologialtaan: biomekaanisia, traumaperäisiä, metabolisia, synnynnäisiä, tulehdusperäisiä, artroottisia ja neoplastisia (2).

Biomekaaniseen etiologiaan viittaavat seuraaventyypiset oireet ja muutokset: jalan ja nilkan alueen väsymisoireet ja rasituskivut, joista tyypillisimpiä ovat plantaarifaskiitti, metatarsalgia, Mortonin neurinooma, sinus tarsi -syndrooma, nilkan nyrjähtelytaipumus, retrokalkaneaalibursiitti, akillestendiniitti, ”penikkatauti” ja jopa ”anterior knee pain”. Vaivaisenluu, hallux limitus ja rigidus, känsät ja kovettumat, vasarvarpaat sekä bunionette ovat tyyppilöydöksiä biome-

kaanisten poikkeamien yhteydessä (3).

Yleisten alaraajan kiputilojen yhteydessä on oleellista nopeasti ja yksinkertaisesti selvittää, onko jalan rakenteella ja toiminnalla osuutta oireiden syntyyn. Oleellista on, että kliinikko osaa tehdä jalan perustutkimuksen. Tällainen tutkimus on nopea suorittaa vastaanotolla, koska se ei vaadi – päinvastoin kuin yleensä luullaan – mitään erityisvälineitä tai -kojeita. Tutkivan lääkärin tietotaito, kuulakynä (ja kulmamittari) riittävät mainiosti tehtävästä suoriutumiseen. Jalan rakenteen ja toiminnan tutkimiseen ei ole olemassa ”konetta”, jonka tekemällä ”analyysillä” voitaisiin korvata kliininen tutkimus (2).

Jalan toiminnan erityispiirteitä

Subtalaarinivelen säätöjärjestelmä askelluksen eri vaiheissa

1. Jalka on joustava mukautuja kuormitusvaiheen alkupuolella

Askeleen kantaisuvaiheessa subtalaarinivel pronoituu nopeasti muuttaen distaaliset nivelet (midtar-

saali- ja ensimmäinen metatarsotarsaalinenivel) joustaviksi, jolloin ne mukautuvat alustaan ja vaimentavat iskuja.

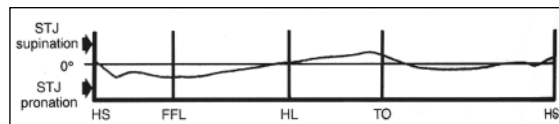
2. Jalka on tukeva ponnistusalusta propulsiovaiheen aikana

Askelluksen loppuvaiheessa subtalaarinivel supinoituu lukiten distaaliset nivelet ja tekee jalasta tukevan vipuvarren ponnistusta varten (1).

Liiallinen pronaatio

Mikäli subtalaarinivel on pronaatituneena propulsiovaiheessa, jalka on epästabiili ponnistusalusta.

Jalkaa pyritään stabiloimaan lihasvoimalla, mikä johtaa rasitusvaurioihin. Epästabiilius johtaa nivelten instabiiliteettiin (kuva 1) (3).

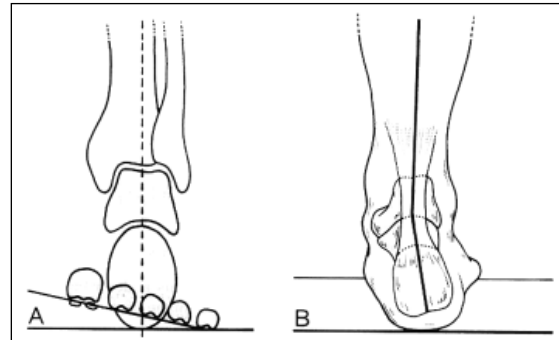


Kuva 1. Subtalaarinivelen normaali pronaatio-supinaatiotoiminta askelsyklin aikana. HS=heel strike, FFL=forefoot loading, HL=heel lift, TO=toe off (Lähde: Seibel: Foot Function)

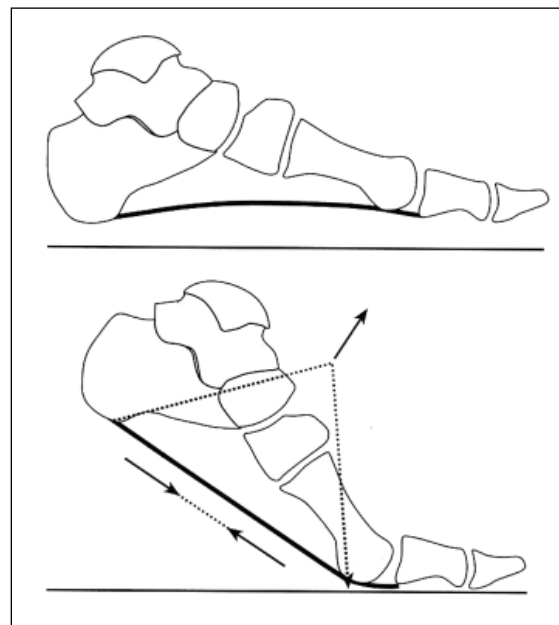
Kompensaatio

Pääasiassa subtalaarinivelellä suoritettu rakennepoikkeaman korjausliike (kuva 2)

Ekvinus	Kompensoidaan subtalaarinivelen pronaatiolla, ja johtaa erittäin vaikeaan subtalaarinivelen propulsiovaiheen ylipronaatioon
Takajalan varus	Kompensoidaan subtalaarinivelen pronaatiolla
Takajalan valgus	Jos valgus on yli 2 astetta, subtalaarinivel pronaatuu täysin
Etujalan varus	Kompensoidaan subtalaarinivelen pronaatiolla
Etujalan valgus	Kompensoidaan askeleen alussa subtalaarinivelen supinaatiolla, mutta keskivaiheen jälkeen subtalaarinivel pronaatuu seurausena propulsiovaiheessa ylipronaatunut epästabiili jalka
Metatarsus primus elevatus	Kompensoidaan isovarpaan plantaarifleksioilla ja subtalaarinivelen pronaatiolla
Plantaarifleksoitunut ykkössäde	Kompensoidaan kuten etujalan valgus



Kuva 2. Esimerkki kompensaatiosta: etujalan varuksen kompensaatio subtalaarinivelen pronaatiolla (Lähde: McGlamry: Comprehensive Textbook of Foot Surgery)



Kuva 3. Windlass-mekanismi (Lähde: Anttila&al.: Jalan biomekaniikka, Suomen Lääkärilehti)

Jalkapohjan kalvojänteen (plantaarifaskia) windlass-mekanismi (kuva 3).

Jalkapohjan kalvojänteen lähtee kantaluun etuosan kantakryhmystä distaalisuuntaan ja kiinnittyy viuhkamaisesti varpaiden metatarsaalienivelen plantaarisiiin kapselirakenteisiin. Se muodostaa windlass-mekanismin, jolla on tärkeä merkitys jalkaa stabiloivana rakenteena. Kun varpaat propulsiovaiheessa dorsifleksoituvat, kiristyy plantaarifaskia kiertyessään metatarsaaliluiden päiden ympäri korottaen mediaalista jalkaholvia ja samalla stabiloiden jalan rakenteita (1).

Jalan perustutkimuksen tutkimusrunko

Jalan perustutkimus sisältää seuraavat määrittäykset (tehdään siten, että subtalaarinivel on neutraaliasennossa ja Chopartin nivel maksimaalisesti pronatoituneena):

1. Nilkan TC-niveleen liikkeiden tutkiminen

- ekvinus: dorsifleksio alle 10 astetta

2. Subtalaariniveleen liikeratojen ja neutraaliasennon määrittäminen

- ”takajalan” varus: kantaluun keskilinja invertoitunut alustaan nähden
- ”takajalan” valgus: keskilinja evertoitunut alustaan nähden
- pienin normaalin kävelyn mahdollistava liikelajisuus 10 astetta

3. Midtarsaaliniveleen (Chopartin nivel) asennon määrittäminen

- ”etujalan” varus: etujalan plantaaritaso on invertoituneena takajalkaan nähden
- ”etujalan” valgus: etujalan plantaaritaso evertoituneena takajalkaan nähden

4. Ensimmäisen säteen liikeratojen ja asennon määrittäminen

- metatarsus primus elevatus: I metatarsaaliluun pää dorsaalisempana kuin 2.-4.
- plantaarifleksoitunut I-säde: I metatarsaaliluun pää plantaarisempana kuin 2.-4.
- instabiliteetti: liikerata yli 10 mm

5. Malleolaarisen torsion määrittäminen

- normaalisti 13-18 astetta ulkorotaatiota

6. Latuskajalan yhteydessä subtaloniveleen sagittaalisen akselin määrittäminen

- Ns. ”heel pushing” -tekniikka: havaitaan poikkeuksellisen mediaalinen subtalaariniveleen sagittaalinen akseli
- GRF (ground reaction force) pronatoi subtalaariniveltä

7. Seisten suoritettu tutkimus

- Genu valgum/varum
- RCSP (resting calcaneal stance position)

Tutkitaan, onko subtalaarinivel maksimaalisesti pronatoituneena

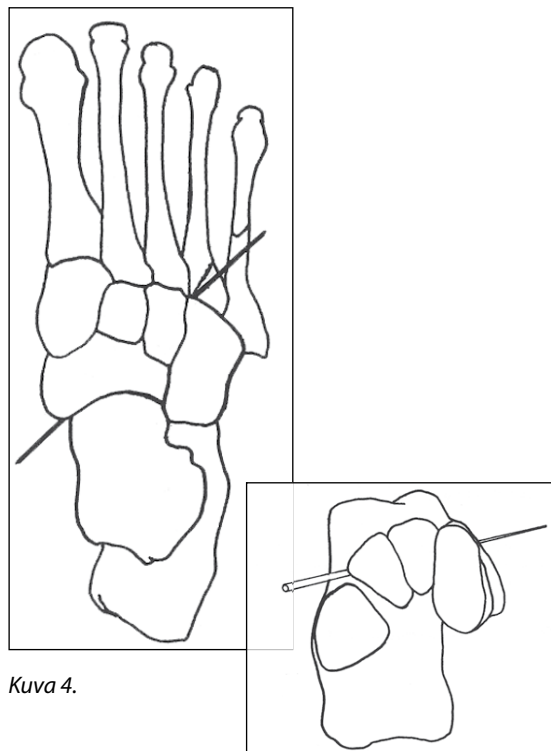
”Maximum pronation test”: polvet ojennettuna, 5. metatarsaaliluun pään nosto alustasta, evertoituu ko kantaluun yli 2 astetta

Ensimmäisen säteen normaali rakenne ja toiminta

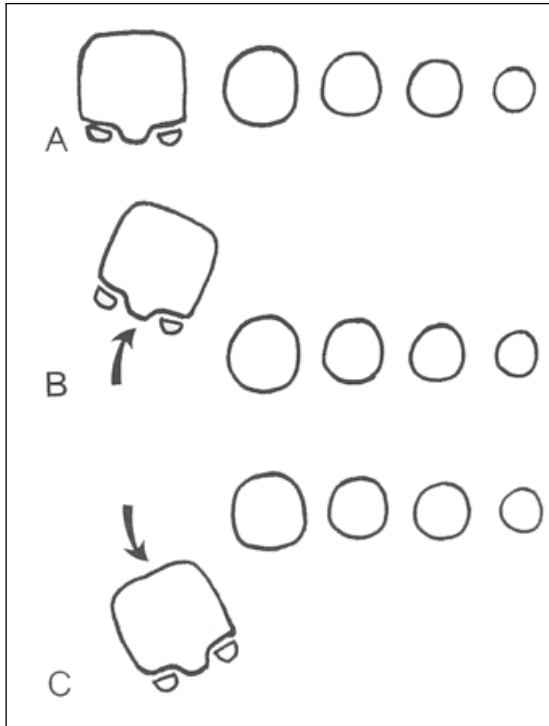
Ensimmäinen säde on määräävässä asemassa jalan etuosan toiminnan kannalta. Ensimmäinen säde käsittää ensimmäisen cuneiforme-luun ja ensimmäisen metatarsaaliluun. Ensimmäinen metatarsaaliluun liittyy isovarpaaseen metatarsofalangeaalinivelellä (MPJ) (4).

Ensimmäisen säteen akseli on yhdensuuntainen transversaalitasoon ja 45 asteen kulmassa sagittaali- ja frontaalitasoon nähden (kuva 4). Normaalisti ensimmäisen metatarsaaliluun pää on samalla tasolla kuin 2-5-metatarsaaliluiden päät. Tämä linjaus stabiloii propulsiivaiheessa jalan sisempää holvia vastustamalla takajalan pronaatiota. Ensimmäisen säteen liikeradat ovat dorsifleksio-inversio ja plantaarifleksio-eversio (kuva 5). Liikkeen laajuus kumpaankin suuntaan on yhtä suuri (keskimäärin 5 mm + 5 mm) (4).

Subtalaariniveleen säätöjärjestelmästä johtuen ensimmäisen säteen liikelajisuus kasvaa subtalaariniveleen pronaation yhteydessä, ja vastaavasti pienenee supinaation yhteydessä (kuva 6).



Kuva 4.



Kuva 5. Ensimmäisen säteen asento ja liikeradat.
 A. Ensimmäinen säde on samassa tasossa pienempien varpaiden MTP-nivelten tasoon nähden. Ensimmäisen säteen dorsi- ja plantaarifleksio ovat yhtä suuret.
 B. Dorsifleksioon yhdistyy inversio.
 C. Plantaarifleksioon yhdistyy eversio
 (Lähde: Seibel: Foot Function)

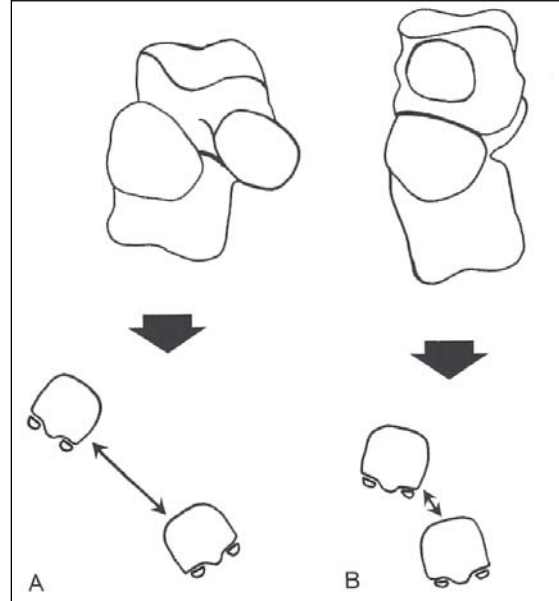
Ensimmäisen säteen asentopoikkeamat

Metatarsus primus elevatus (MPE)

MPE on ensimmäisen säteen deformiteetti, jossa ensimmäisen metatarsaaliluun pää on koholla 2–5 metatarsaaliluiden päiden muodostamaan tasoon nähden (kuva 7) (3–6).

MPE voi olla synnynnäinen tai hankittu. Synnynnäinen MPE esiintyy joko rakenteellisesti lyhyen ensimmäisen metatarsaaliluun tai ensimmäisen säteen dorsifleksoituneen asennon yhteydessä. Hankittu MPE syntyy useimmiten sellaisen hallux valgus -leikkauksen yhteydessä, jossa ensimmäistä metatarsaaliluuta lyhennetään (7). MPE voi syntyä myös nilkan equinuksen yhteydessä, kun nilkan equinus subtalaarinivelen pronaatiolla kompensoidaan, mikä aiheuttaa ensimmäisen säteen hypermobiliiteetin ja dorsifleksoituneen asennon (6).

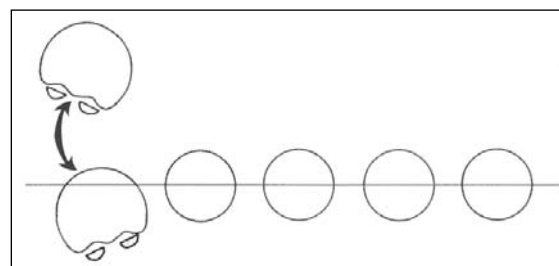
Ensimmäinen säde suuntautuu normaalisti eteen ja alas, jolloin säteen lyhentymä aiheuttaa sen, että



Kuva 6. Ensimmäisen säteen liikerata. A. Subtalaarinivelen pronaation yhteydessä kasvaa, B. Subtalaarinivelen supinaation yhteydessä pienenee (Lähde: Seibel: Foot Function)

metatarsaaliluun pää on kohoasennossa. Tästä seuraa riittämätön alustan vastavoima (ground reaction force = GRF) ensimmäisen metatarsaaliluun päätä vastaan ja riittämätön ensimmäisen säteen kuormitusvaste askellessa (4). Koska potilaalla on ongelmia viedä ensimmäistä sädettä alustaa vastaan eli plantaarifleksioita ensimmäistä sädettä, tätä tilannetta joudutaan kompensoidaan isovarpaan plantaarifleksioilla askelluksen propulsiivaiheessa, kun isovarpaan tulisi normaalisti dorsifleksoitua. Tämä voi johtaa hallux limituksen ja lopulta hallux rigiduksen kehittymiseen (4).

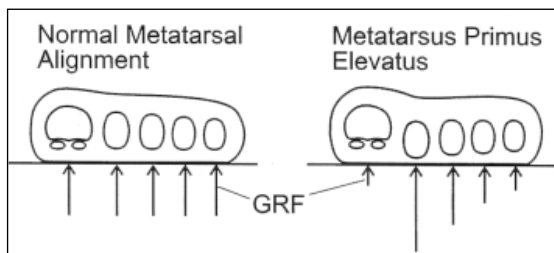
Kun lisäksi metatarsaaliluun pää on kohoasennossa, se ei enää stabiloi mediaalista holvirakennetta, jolloin MPE:n kompensatio tapahtuu osittain myös



Kuva 7. Metatarsus primus elevatus (Lähde: Seibel: Foot Function)

pronatoimalla subtalaariniveltä normaalia enemmän. Kun ensimmäisen metatarsaaliluun päähän kohdistuva GRF on pienentynyt ja takajalan pronaatio lisääntynyt, toisen ja kolmannen metatarsaaliluun päähän kohdistuva GRF voimistuu (7).

Voimistunut GRF toisen ja kolmannen metatarsaaliluun päähän voi aiheuttaa iholle kivuliaan hyperkerotoosin, toisen (ja kolmannen) MT-nivelen plantaarisesta kapsuliitista ja nivelen synoviittireaktion, ja jopa toisen, harvemmin kolmannen metatarsaaliluun rasisitusmurtuman (kuva 8).

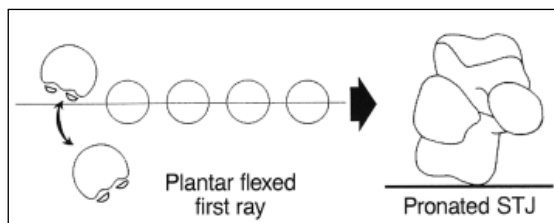


Kuva 8. Kohonnut GRF toisen ja kolmannen MTP-nivelen plantaaripuolella metatarsus primus elevatuksen yhteydessä. (Lähde: Kirby. Foot and Lower Extremity Biomechanics)

Plantaarifleksoitunut ensimmäinen säde

Jos ensimmäisen metatarsaaliluun pää on plantaarisemmin kuin 2–5-metatarsaaliluiden päiden taso, on kyseessä plantaarifleksoitunut ensimmäinen säde. Tästä on seurauksena se, että ensimmäisen metatarsaaliluun päähän ja sesamluihin kohdistuu suurempi GRF kuin normaalisti. Tämä voimistunut paine aiheuttaa usein kivuliaan hyperkeratoosin, sesamoidiitin ja jopa sesamluun rasisitusmurtuman (kuva 9).

Plantaarifleksoitunut ensimmäinen säde voidaan etiologiansa perusteella jakaa kahteen ryhmään: kongenitaaliset ja hankitut. Jos ensimmäinen säde on plantaarifleksioasennossa fiksoituneesti, eikä painettaessa



Kuva 9. Plantaarifleksoitunut ensimmäinen säde ja sen kompensatio subtalaarinivelen pronaatiolla (Lähde: Seibel. Foot. Function)

nouse ylös normaaliasentoon, kyseessä on synnynnäinen (rakenteellinen) plantaarifleksoitunut ensimmäinen säde.

Hankittu plantaarifleksoitunut ensimmäinen säde sen sijaan reponoituu normaaliin dorsifleksioasentoon. Syynä tähän poikkeamaan on todennäköisesti peroneus longus -lihaksen lisääntynyt voima, joka plantaarifleksoi ensimmäistä sädettä kiinnittyessään plantaarisesti ensimmäisen metatarsaaliluun proksimaalipäähän. Tällainen tilanne syntyy takajalan varuksen yhteydessä, tai ihmisillä, jotka harrastavat hypylajeja, kuten esimerkiksi koripalloa, aerobicia tai balettianssia (7).

Takajalan varuksen yhteydessä kantapää on normaalia enemmän invertoituneessa asennossa alustaan nähden, mikä aiheuttaa lisääntyneen supinaatioosuutaisen kiertoväännön subtalonivelen akselin ympäri, eli kantapää uhkaa kiertyä ”ylisupinaatioon”. Tästä seuraa lisääntynyt GRF lateraalisten metatarsaaliluiden päihin, kun taas ensimmäisen metatarsaaliluun päähän kohdistuva GRF on alentunut. Peroneus longuksen ensimmäistä sädettä plantaarifleksoiva voima riittää silloin mainiosti plantaarifleksoimaan ensimmäisen säteen liikeratansa äärirajalle, ja aiheuttamaan riittävän pitkään ja riittävän voimakkaana kontraktiiona jatkuessaan pysyvän deformiteetin.

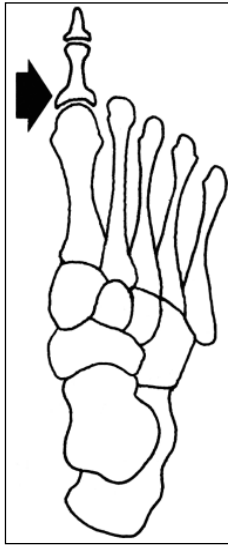
Ensimmäisen säteen toimintaan vaikuttavat jalan rakenteellistoiminnalliset poikkeamat

Mikäli jalassa on jokin merkittävä rakennepoikkeama, joka kompensoidaan subtalonivelen propulsiovaiheeseen asti ulottuvalla pronaatiolla, ensimmäisestä säteestä tulee instabiili ja siten kykenemätön toimimaan tehokkaasti kuormaa kantavana elementtinä.

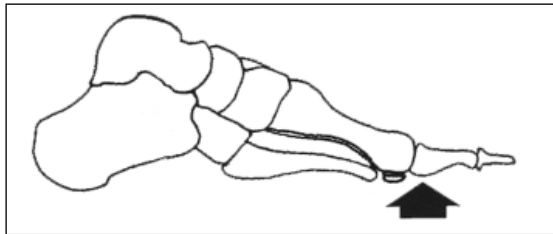
Tätä tilaa kutsutaan ensimmäisen säteen hypermobiliiteetiksi (hypermobility of the first ray), ja se aiheuttaa ensimmäisen metatarsofalangeaalnivelen (MPJ) subluksaation, mikä vuorostaan voi aiheuttaa tämän nivelen deformiteetin.

Ensimmäisen säteen hypermobiliiteetin aiheuttamat deformiteetit ensimmäisessä MP-nivelessä ovat hallux abduktovalgus ja hallux limitus/rigidus. On kuitenkin muistettava, että mainittuja deformiteetteja voivat aiheuttaa muutkin kuin biomekaaniset tekijät.

Syntyvän deformiteetin tyyppi määräytyy sen mukaan, mikä on niveltä subluksaivan primäärin voimavektorin suunta. Jos primääri voimavektori vaikuttaa transversaalisuunnassa, kuten pes adductus -jalkatyy-



Kuva 10.



Kuva 11. Hallux limitus. Rektustyypisessä jalassa subtalaarinivelen pronaatio propulsiovaiheessa aiheuttaa ensimmäiseen MTP-niveeseen sagittaalisen voiman, joka estää isovarvasta dorsifleksoitumasta (Lähde: Seibel. Foot Function)

pissä, syntyvä deformiteetti voi olla hallux abduktovalgus (kuva B10). Hallux limitus/rigidus -tyyppinen deformiteetti syntyy todennäköisemmin silloin, kun jalka on pes rectus -tyyppiä, jolloin primaarinen subduksoiva voimavektori kohdistuu sagittaalisuunnassa MP-niveleen (kuva B11).

Hallux limitus / rigidus

Hallux limitus on patologinen tila, jossa ensimmäisen MP-nivelen dorsifleksio on rajoittunut. Normaali MTP-nivelen dorsifleksio on 70 astetta, koska tämä isovarpaan dorsifleksiosuuntainen liikemäärä tarvitaan askelluksen propulsiovaiheessa. Jos isovarpaan dorsifleksio on alle 70 astetta sekä kuormittamattomassa että kuormitetussa jalassa, hallux limitus on rakenteellista tyyppiä. Jos dorsifleksio on rajoittunut vain kuormitetussa jalassa, sanotaan hallux limituksen olevan funktionaalista tyyppiä.

Hallux limitus voi seurata biomekaanisista poikkeamista, kuten pitkä ensimmäinen metatarsaaliluu, hypermobiili ensimmäinen säde ja metatarsus primus elevatus. Muita hallux limituksen aiheuttajia ovat artroosi ja trauma. Biomekaanisille poikkeamille on ominaista, että ne vaikuttavat kuormitetussa jalassa propulsiovaiheessa siten, että ensimmäisen MTP-nivelen normaali dorsifleksio estyy. Normaali isovarpaan dorsifleksio propulsiovaiheessa ei voi tapahtua, ellei ensimmäinen säde samanaikaisesti pääse plantaarifleksoitumaan (4,5,7).

Ensimmäisen säteen plantaarifleksio voi estyä esimerkiksi metatarsus primus elevatuksen yhteydessä, kun isovarvas joutuu plantaarifleksoitumalla kompensoimaan puuttuvaa säteen plantaarifleksiota (5).

Lisäksi isovarpaan dorsifleksio estyy, jos ensimmäiseen MP-niveleen kohdistuu plantaarisuunnasta korostunut GRF. Tällaisen tilanteen aiheuttavista biomekaanisista syistä tärkeimmät ovat liiallinen subtalaarinivelen pronaatio periaatteessa mistä syystä tahansa, ja liian pitkä ensimmäinen metatarsaaliluu. Molemmat aiheuttavat liiallisen plantaarisen paineen työntäen ylöspäin ensimmäistä metatarsaaliluun päätä, mikä estää normaalia ensimmäisen säteen plantaarifleksiota ja siten windlass-mekanismiin kiristymisen vuoksi isovarpaan dorsifleksiota (7).

Isovarpaan estynyt dorsifleksio silloin, kun tämä liike olisi ehdottoman välttämätön, aiheuttaa korostuneen sisäisen paineen ensimmäisen MP-nivelen dorsaaliseen puoliskoon. Tämä korostunut paine aiheuttaa nivelen ”jumittumisen” (”jamming”). Tämä ilmiö tulee esille sekä rakenteellisen että funktionaalisen hallux limituksen yhteydessä, ja se aiheuttaa tyypillisen, nivelpuoliskojojen liiallisesta kompressiosta aiheutuvan inflammaatio- ja kipureaktion ensimmäisen MP-nivelen dorsaalipuolelle. Aikaa myöten, vuosien kuluessa, niveleen kehittyi lopulta kaikkien tunteita hallux rigidus röntgenkuvissa näkyvine nivelen artroosimuutoksineen (7).

Hallux abduktovalgus

Myöskin hallux valgus on ristiriitainen tila sen suhteen, johtuuko se aina biomekaanisista tekijöistä, vaikka johdantokappaleessa esitetty ensimmäisen säteen hypermobiiliteetista johtuva mekanismi soveltuu selitykseksi osassa tapauksista.

Varmuudella voidaan sanoa, että hallux valguksen etiologia on moninainen: kapeakärkiset jalkineet, etujalan adduktusdeformiteetti, ensimmäisen interme-

tatarsaalikulman synnynnäinen korostuminen (metatarsus primus varus), ensimmäisen ja toisen säteen välisten ligamenttien väljyys, ensimmäisen MP-niveleen väljyys, tibiaalisen sesamluun synnynnäinen hypotai aplasia, eri syistä johtuva subtalaariniveleen liiallinen pronatio, liian pitkä ensimmäinen metatarsaaliluu, ja plantaarifleksoitunut ensimmäinen säde ovat vain esimerkkejä hallux valguksen etiologiasta (7). Lisäksi on mainittava tulehdusperäiset syyt, esimerkiksi nivelreuma, neuromuskulaariset sairaudet, traumaperäiset syyt sekä geneettiset syyt tai syndroomat, kuten Downin, Ehlers-Danlosin ja Marfanin syndrooma, sekä yleinen ligamenttien väljyys (8).

Sillä seikalla, onko hallux valgus biomekaanisen poikkeaman aiheuttama, on huomattava merkitys pohdittaessa, mikä on konservatiivisen hoidon, etenkin ”tukipohjallisten” ja erilaisten fysioterapeuttisten ohjausten ja voimisteluohjeiden merkitys tautitilan ennaltaehkäisyssä ja hoidossa. Tällaisia hoitomenetelmiä on nykyään tarjolla siinä määrin, että ylihoidon vaara on mitä ilmeisin.

Peruslähdekohtana on, että tutkivan lääkärin on ensin selvitettävä jalan funktionaalinen status. Vasta tehtyjen löydösten perusteella on mahdollista ratkaista, hoidetaanko ko. potilasta konservatiivisesti vai ei. Mikäli hallux valgus päätetään hoitaa operatiivisesti, potilas tarvitsee jatkohoidoksi paitsi oikean tyyppiset jalkineet myös jalkaortoosit, mutta vain siinä tapauksessa, että hänellä on hallux valguksensa taustalla biomekaaninen häiriö.

Olipa hallux valguksen etiologia mikä tahansa, synnyttyään tämä deformiteetti omalla painevaikutuksellaan voi aiheuttaa lateralisempien varpaiden eriaistaisia ja vähitellen pahentuvia vasaravarvasmuodostumia.

Nilkan ekvinus

Nilkan equinus kompensoidaan useimmiten aikaisella kantapään nousulla, jolloin jalan etuosaan kohdistuu liian aikainen ja pidentynyt kuormitus. Tämä rasitus aiheuttaa plantaarisia keratoomia sekä metatarsalgia-oireita. Onpa herännyt epäily siitä, että Mortonin neuroomakin saattaisi olla nilkan equinuksen aiheuttama (9).

Kirjallisuus

1. Anttila S, Hoikka V: Jalan biomekaniikka. Suom Lääkäril. 1996;28:2831-2837.
2. Anttila S, Hoikka V: Jalan rakenteen ja biomekaniikan tutkiminen. Suom Lääkäril. 1996;28:2839-2845.
3. Hoikka V, Anttila S: Jalan biomekaaniset häiriöt. Suom Lääkäril. 1996;28:2847-2851.
4. Seibel MO: Foot function, a programmed text. Baltimore: Williams&Wilkins; 1988.
5. Banks AS, McGlamry ED: Hallux Limitus and Rigidus. In: McGlamry ED, Banks AS, Downey MS editors. Comprehensive Textbook of Foot Surgery. 2nd ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1992: 600-603.
6. Downey MS: Ankle equinus. In: McGlamry ED, Banks AS, Downey MS editors. Comprehensive Textbook of Foot Surgery. 2nd ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1992: 700-705.
7. Kirby KA: Foot and Lower Extremity Biomechanics. A ten Year Collection of Precision Intricast Newsletters. Arizona: Precision Intricast Inc., 1997. ISBN 0-9657309-0-5
8. Landers PL: Introduction and Evaluation of Hallux Abducto Valgus. In: McGlamry ED, Banks AS, Downey MS editors. Comprehensive Textbook of Foot Surgery. 2nd ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1992: 459-460.
9. Barrett SL: Equinus Deformity as a factor in Forefoot nerve Entrapment. Treatment with Endoscopic Gastrocnemius Recession. J Am Podiatr Med Assoc. 2005;95:464-468.