

Biohajoavien kiinnittimien käyttö luukirurgiassa

Eero Waris, Nureddin Ashammakhi, Ville Waris, Willy Serlo, Riitta Suuronen, Pertti Törmälä, Yrjö T. Konttinen ja Seppo Santavirta

Elimistössä liukenevia kiinnittimiä käytetään yhä enemmän murtumien ja osteotomioiden korjauksessa, luusiirteiden kiinnityksessä ja nivelten luudutuksissa. Lisäksi biohajoavilla kiinnittimillä korjataan revenneitä nivelsiteitä ja -kierukoita. Kiinnittimet valmistetaan yleisimmin poly-L-laktidista ja poly-L/DL-laktideista. Lapsipotilailla käytetään nopeammin liukenevia implantteja, jotka valmistetaan polylaktidin ja polyglykolin kopolymeeristä. Itselujittuneiden biohajoavien kiinnittimien alkutaivutuslujuus ylittää jopa teräksen myötölujuuteen. Biohajoavat kiinnittimet menettävät lujuuttaan elimistössä vähitellen murtuman paranemisen edetessä ja poistuvat elimistöstä lopulta kokonaan hydrolyysin ja normaalin aineenvaihdunnan kautta. Näin vältetään metallisten kiinnittimien pitkäaikaishaitat, eikä poistoleikkausta tarvita. Katsauksessa käsitellään biohajoavien kiinnittimien kliinistä käyttöä traumatologiassa, ortopediassa sekä leuka- ja kraniofasiaalikirurgisissa sovelluksissa.

Synteettisiä, biohajoavia polymeerejä on kehitetty kirurgiassa 1960-luvulta lähtien. Ensimmäisenä kliiniseen käyttöön tulivat ommellangat yli kolme vuosikymmentä sitten. Nykyisin yhä useammin myös luukiinnittimet valmistetaan biohajoavista materiaaleista. Tyypillisiä käyttökohteita ovat painoa kantamattomien alueiden hohkaluunmurtumat ja nivelensäiset ja osteokondraaliset murtumat. Käden ja jalan alueella biohajoavia kiinnittimiä käytetään lisäksi osteotomioiden jälkeen ja nivelenjäykistyksissä luiden kiinnitykseen sekä esimerkiksi peukalon tyvinivelen revenneen sivusiteen kiinnittämiseen. Polvessa voidaan korjata meniskinuolilla tiettyjä nivelkierukan repeämiä, ja ristisiderekonstruktiossa siirre voidaan kiinnittää porakanavaan biohajoavin interferenssiruuvein. Myös olkapään epästabiiliutta korjataan biohajoavilla kiinnittimillä. Kallon ja kasvojen alueella biohajoavia levyjä, ruuveja ja nastoja käytetään

traumoissa, osteotomioiden yhteydessä, luusiirteiden kiinnityksessä ja kallon synnynäisten epämuodostumien korjauksessa. Luupuutosten hoitoon ja ohjattuun luunkasvuun voidaan käyttää levyjä, verkkoja ja kalvoja (Ashammakhi ym. 2001 ja 2003).

Biohajoaviin materiaaleihin kohdistuva kokeellinen ja kliininen tutkimus- ja kehitystyö on Suomessa ollut intensiivistä viimeisten 20 vuoden aikana. Tähän mennessä tutkimukset ovat johtaneet yli 30 väitöskirjaan ja yli 150 kansainväliseen patenttiin.

Kiinnitinmateriaalit

Maitohapon polymeerit eli polylaktidit (polylactic acid, PLA) ja polyglykolidi (polyglycolic acid, PGA) ovat tärkeimmät biohajoavissa kiinnittimissä käytetyistä polymeereistä. Polylaktideista käytetään maitohapon molempia peili-

isomeereja (L ja D). Muita tutkittuja ja kliinisesti käytettyjä polymeerejä ovat mm. polydioksanoni (PDS), trimetyleenikarbonaatti ja poly-ε-kaprolaktoni.

Kiinnitysvälineiden tulee liueta murtuman kiinnityksessä käyttötarkoitusta vastaavasti, minkä vuoksi erilaisiin tarkoituksiin käytetään liukenemisprofiililtaan erilaisia implantteja. Kiinnitysväline ei saa menettää mekaanista lujuuttaan ennen kuin korjattava kudos ehtii parantua. Toisaalta materiaalin tulee hävitä riittävän pian luutumisen tapahduttua, jotta kasvu ja kudosten muokkaantuminen eivät häiriinny.

Ensimmäiset biohajoavat kiinnittimet valmistettiin PGA:sta ja poly-L-laktidista (PLLA). PGA:sta valmistetut implantit menettivät lujuutensa muutamassa viikossa, mikä on useimpiin käyttötarkoituksiin liian nopeaa. Ne aiheuttivat kliinisesti varsin usein haitallisen vierasesine-reaktion (Pelto-Vasenius ym. 1995, Böstman ja Pihlajamäki 2000). PLLA:sta valmistetut implantit taas liukenevat kiteisyytensä ja hydrofobisuutensa vuoksi elimistössä hyvin hitaasti. Jopa yli viisi vuotta kestävä liukeneminen (Suuronen ym. 1998) on useimmissa käyttötarkoituksissa turhan pitkä. Reumaatikoilla suositetaan hitaasti liukenevia kiinnittimiä.

Kopolymerisaatiolla voidaan yhdistää monomeereja ja muokata kiinnittimien fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia. Polylaktidin L- ja D-isomeereja yhdistämällä saadaan poly-(L/D)-laktideja (P(L/D)LA) tai poly-(L/DL)-laktideja (P(L/DL)LA), joiden mekaaniset ominaisuudet ovat PLLA:ta jonkin verran heikommät ja liukenemisaika lyhyempi. Itselujittunut P(L/DL)LA 70/30-kopolymeeri (LL- ja DL-laktidin seossuhde 70:30). Itselujittunut P(L/DL)LA 70/30 -kopolymeeri säilyttää suurimman osan mekaanisesta lujuudestaan noin neljä kuukautta ja itselujittunut P(L/D)LA 96/4 (LL- ja DD-laktidin seossuhde 96:4) 5–12 kuukautta. Täydellinen häviäminen elimistöstä tapahtuu 2–3 vuodessa. Yhdistämällä PLA ja PGA saadaan polylaktidi-polyglykolidi (PLGA) -kopolymeeri. Itselujittuneen PLGA 80/20:n lujuus häviää jo 1–2 kuukaudessa ja täydellinen liukeneminen tapahtuu 1–1,5 vuodessa, minkä vuoksi niitä käytetään lähinnä lastenkirurgiassa.

Liukeneminen elimistössä ja kudosityhteensopivuus

Synteettiset biohajoavat polymeerit hajoavat elimistössä hydrolyyttisesti osin itsestään ja osin entsyymien katalysoimina. Hajoamisen seurauksena polymeerin moolimassa pienenee, mikä ilmenee ensin mekaanisten ominaisuuksien heikkenemisenä. Myöhemmin hydrolyysin edetessä implantti hajoaa yhä pienemmiksi partikkeleiksi ja edelleen monomeereiksi. Glykoli- ja maitohappo metaboloituvat elimistön normaaleina aineenvaihduntatuotteina. Hajoamisreaktioon vaikuttavat monet tekijät, kuten polymeerin kemiallinen koostumus, moolimassa, orientaatio, kiteisyys, hydrofiilisyytensä, stereosäännöllisyys, puhtaus, rakenne (pinta-ala, massa, huokoisuus), sterilointimenetelmä ja implantaation ominaisuudet, kuten luun hohkaisuus, verenkierto ja mekaaninen kuormitus.

Hydrolysoituva implantti synnyttää elimistössä paikallisen tulehdusreaktion, joka on todettavissa histologisesti. Makrofagit ja monituomaiset jättisolut osallistuvat polymeerin eliminaatioon. Jakautuvat fibroblastit tuottavat implantin ympärille kollageenia muodostaen sidekuduskapselin.

Ensimmäisen sukupolven PGA-kiinnittimiä käytettäessä tulehdusreaktio oli tietyissä tapauksissa (1,8–25 %:ssa aikuistapauksista) hyvinkin voimakas ja ilmeni kliinisesti nesteen kertymisena ja jopa sinusmuodostuksena (Pelto-Vasenius ym. 1995, Böstman ja Pihlajamäki 2000), joka saattoi vaatia neula-aspiraation. Voimakas kudosärsytys johtui todennäköisesti homopolymeerisen PGA:n hyvin nopeasta liukenemisestä. Tämä materiaali onkin väistynyt uusien tieltä. PLLA:n kudosityhteensopivuus on hyvä, mutta sekin saattaa joskus, tosin hyvin harvoin (0,2 %:lla), aiheuttaa kliinisesti ilmentyvän tulehdusreaktion, joka pitkän liukenemisaajan vuoksi ilmenee kuitenkin vasta 4–5 vuoden kulluttua implantaatiosta (Pihlajamäki ja Böstman 2000). Tämä johtuu hydrolyysin aikana vapautuvista PLLA-kiteistä, jotka ovat hydrolyyttisesti varsin stabiileja. Nämä kiteet aktivoivat fagoositoivia makrofageja ja voivat aiheuttaa näin pitkittyvän tulehdusreaktion. Sidekuduskapselin

sisään kidefragmenttien ympärille saattaa ke-
rääntyä nestettä myös osmoottisesti. Kudosty-
vyyden vuoksi implantin ympärillä saattaa liukenemisen aikana esiintyä ohimenevää paikallista osteolyyttistä, jonka ei ole todettu häiritsevän luun paranemista (Rokkanen ym. 2000). Luutuneen murtuma-alueen mineraalitiheys on biohajoavia kiinnittimiä käytettäessä suurempi kuin metallisia implantteja käytettäessä (Juutilainen ym. 1997a). Tämä johtuu ilmeisimmin kuormituksen fysiologisemmasta jakautumisesta luuhun.

Vähäisen kiteisyyden ja tasaisen liukenemisen ansiosta nykyisin käytettävien itselujittuneiden P(L/DL)LA- ja PLGA-kopolymeerien kudosty-
vyyden yhteensopivuus on hyvä ja yhteensopimattomuudesta johtuvat komplikaatiot hyvin harvinaisia (Suuronen ym. 1999, Ashammakhi ym. 2001 ja 2003, Laine ym. 2004).

Valmistusmenetelmät

Valmistusmenetelmät vaikuttavat oleellisesti biohajoavien implanttien fysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin sekä biologiseen käyttäytymiseen. Suomessa on kehitetty itselujittuneita (self-reinforced, SR) polymeerikomposiitteja (Törmälä 1992). Itselujittumisella tarkoitetaan polymeerin mekaanisten ominaisuuksien parantamista orientoimalla sen mikrorakennetta. Tällaisten kiinnittimien taivutuslujuus voi olla aluksi jopa 300–400 MPa, joka vastaa teräslevyjen myötölujuutta. Itselujittuneiden implanttien taivutusmoduuli (8–15 GPa) vastaa kuoriluun ominaisuuksia (10–17 GPa). Tämä on luun paranemiseksi tärkeää. Metallisten implanttien korkea taivutusmoduuli (100–250 GPa) voi johtaa luusa kuormituskatoilmiöön ja osteopeniaan painoa kantavilla alueilla (Paavolainen ym. 1978). Itselujittuneeseen komposiittirakenteeseen perustuvia levyjä voidaan metallilevyjen tapaan taivuttaa huoneenlämmössä haluttuun muotoon.

Ortopedia, käsikirurgia ja traumatologia

Biohajoavia implantteja käytettiin murtuman kiinnitykseen nilkassa ensimmäisen kerran vuonna 1984 (Rokkanen ym. 1985). Yksi yleisimmistä käyttöaiheista alaraajan murtumien

hoidossa ovat edelleenkin kehräsluiden murtumat ja syndesmoosin fiksaatio (kuvat 1 ja 2). Lisäksi biohajoavia sauvoja on käytetty distaa-



Kuva 1. Röntgenkuva kuusi viikkoa ulkokehräksen Weber B -tyyppin murtuman kiinnittämisestä kahdella 3,5 mm:n PLLA-ruuvilla (nuolet). Biohajoavat kiinnittimet eivät näy, mutta porakanavien perusteella voidaan arvioida ruuvien sijainti.



Kuva 2. Biohajoavia kiinnittimiä voidaan yhdistää metallikiinnitykseen. Weber B -tyyppin ulkokehräksen murtuma on kiinnitetty metallilevyllä. Epästabiili nivelhaarukka on kiinnitetty levyn yläpuolelta 4,5 mm:n PLLA-syndesmoosiruuvilla (nuoli), jolloin kahden kuukauden kuluttua tarvittava ruuvien poisto vältetään.

lisen reisiluun ja proksimaalien sääriluun kondyylimurtumissa sekä polvilumpion, kantaluun ja telaluun murtumissa (Rokkanen ym. 2000). Itselujittuneiden kiinnittimien mekaanisista ominaisuuksista kertoo se, että biohajoavia veto-ruuveja on käytetty onnistuneesti myös reisiluun kaulan murtumien osteosynteesissä (Jukkala-Partio ym. 2000).

Nivelensisäisten ja osteokondraalisten murtumien kiinnityksessä biohajoavat sauvat ja ruuvit ovat teknisesti toimivia. Polvessa osteochondritis dissecans -irtokappaleet voidaan kiinnittää biohajoavilla sauvoilla takaisin paikalleen nivelpinnan läpi ilman, että nivelen toiminta häiriintyy (Tuompo ym. 1997). Vastaavasti yläraajassa värttinäluun pään (capitulumin) murtuma kiinnitetään usein nivelpinnan läpi biohajoavalla sauvalla tai ruuvilla (Rokkanen ym. 2000). Yläraajassa biohajoavia kiinnittimiä on käytetty myös distaalissa solisluussa, olkaluun proksimaaliosan murtumissa ja kondyylimurtumissa sekä kyynärlisäkkeen ja distaalisen värttinäluun murtumissa (Rokkanen ym. 2000).

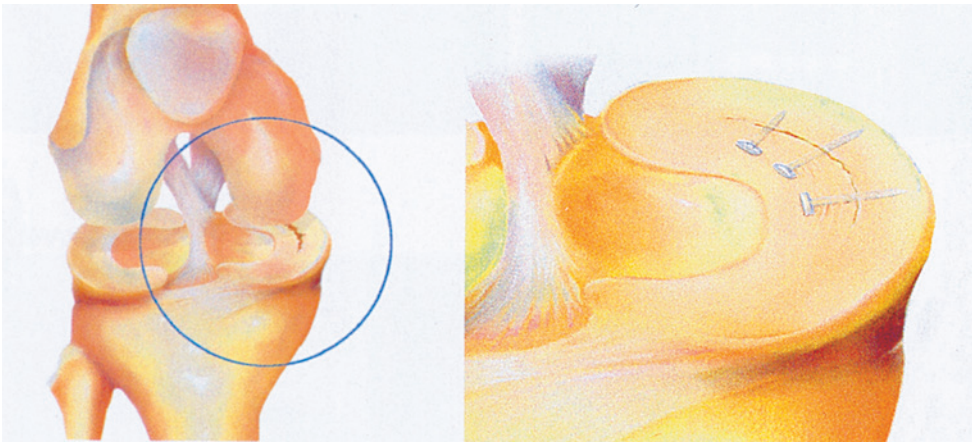
Käden alueella biohajoavia sauvoja ja ruuveja voidaan käyttää kämmen- ja sormiluiden murtumien hoidossa (Pelto-Vasenius ym. 1996, Rokkanen ym. 2000). Itselujittuneilla sauvoilla, ruuveilla ja levyillä saavutettava kiinnitysstabiliteetti on käden luissa osoittautunut olevan lähellä metallifiksaatiomenetelmillä aikaansaataavaa (Waris ym. 2002). Luutumattoman vene-luunmurtuman ja tämän murtuman viivästyneen luutumisen hoidossa on käytetty PGA-sauvaa (Pelto-Vasenius ym. 1995), mutta se on todettu tähän käyttöön liian nopeasti liukenevaksi ja komplikaatioita aiheuttavaksi. Alustavat kliiniset tulokset itselujittuneella PLLA-ruuvilla ovat olleet lupaavia (Kujala ym., julkaisematon tieto). Murtumien lisäksi biohajoavia sauvoja ja ruuveja käytetään myös käden ja jalan alueen osteotomioiden yhteydessä sekä nivelten jäykistyksissä (Rokkanen ym. 2000). Vaivaisenluuleikkauksen osteotomian jälkeen luun päät voidaan kiinnittää biohajoavalla sauvalla tai ruuvilla, jos kiinnitin on lisätueksi tarpeen (Rokkanen ym. 2000). Peukalon tyvi- eli MCP-nivelen ulnaarisen sivusiteen repeämässä tyvijäsenestä irronnut nivelside kiinnitetään takaisin paikalleen nykyi-

sin usein biohajoavalla nastalla, jolloin tavanomaisen ulosvetovaijerin poistoleikkaus vältetään. Nastoista saadut tulokset ovat olleet hyviä (Vihtonen ym. 1993), ja menetelmästä onkin tullut vamman ensisijainen hoito.

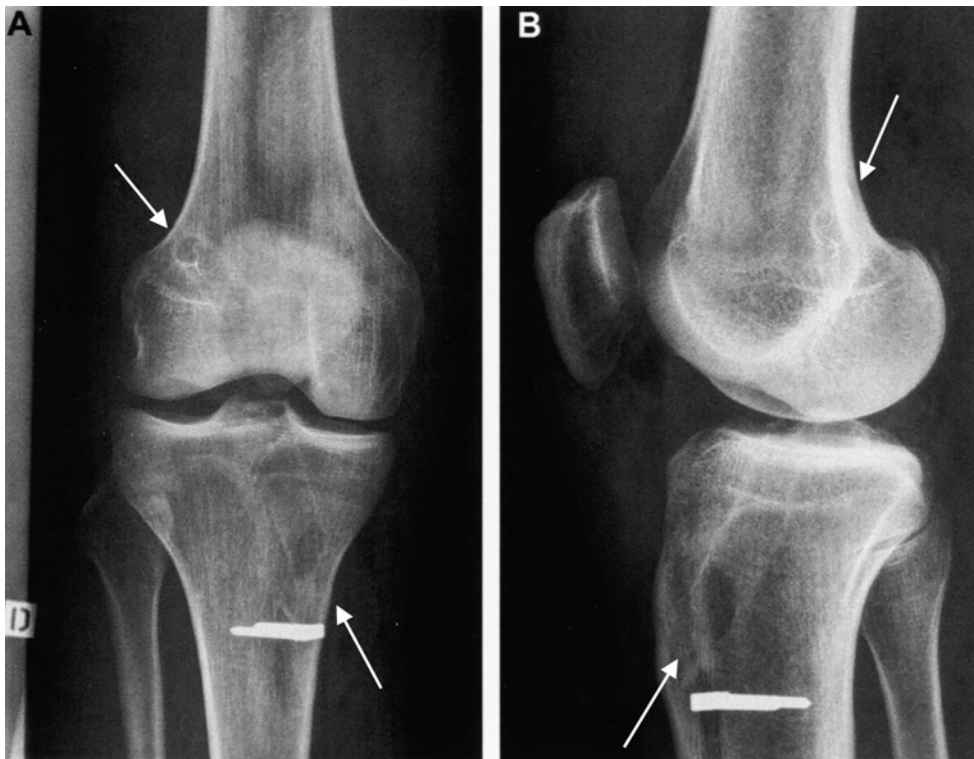
Biohajoavat kiinnittimet ovat erityisen hyödyllisiä lapsilla, joilla metallikiinnittimet voivat häiritä luun kasvua ja poistoleikkaus aiheuttaa erityistä kärsimystä (Böstman ym. 1993). Kasvavilla kaniineilla 2,0 mm:n biohajoava sauva, joka käsitti 3 % kasvulevyn alasta, ei aiheuttanut distaalisen kasvulevyn läpi porattuna kasvuhäiriötä reisiluuhun (Mäkelä ym. 1989). Kasvuhäiriön minimoimiseksi lasten leikkauksissa suositaan nopeasti liukenevia materiaaleja, kuten PLGA 80/20 -kopolymeeriä.

Viime vuosina biohajoavien kiinnittimien käyttö on vakiintunut kliinisessä nivelkirurgiassa – erityisesti polvikirurgiassa. Polven nivelkierukan repeämiä voidaan korjata tähytysleikkauksessa monenlaisilla biohajoavilla kiinnittimillä, joista ensimmäinen ja laajimmin käytetty on meniskinuoli (Abrecht-Olsen ym. 1993). Meniskinuolia voidaan käyttää nivelkierukan »kassinkahvarepeämässä» (kuva 3). Kiinnitys tehdään joko manuaalisella instrumentaatiolla tai meniskinuolipyssyllä. Ommeltekniikoihin verrattuna nuolten käyttö on helpompaa ja nopeampaa ja kliiniset tulokset ovat vastaavia (Ellermann ym. 2002). Revenneen eturistisiteen rekonstruktiossa käytettävä luu-patellajänneluu- tai hamstringjännesiirteet kiinnitetään reisiluun ja sääriluun porakanaviin yhä useammin biohajoavilla interferenssiruuveilla tai kiilamaisilla implanteilla (kuva 4). Tulokset ovat verrattavissa metalliruuveilla saavutettaviin (McGuire ym. 1999).

Polvikirurgiasta biohajoavien kiinnittimien käyttö on viime vuosina laajentunut olkanivelkirurgiaan. Bankartin vauriossa voidaan luusta irti repeytynyt labrum glenoidale, etukapseli ja kannatusligamentti kiinnittää tähytyksessä paikalleen biohajoavilla ankkureilla, nastoilla ja nauloilla. Revennyt kiertäjäkalvosin on mahdollista kiinnittää luuhun biohajoavilla kiinnittimillä. Myös lapaluun kaulan ja glenoidumin nivelpinnan murtumia voidaan hoitaa biohajoavin sauvoin (Rokkanen ym. 2000).



Kuva 3. Meniskiuolilla voidaan korjata nivelkierukoiden »kassinkahvatyypisiä» vaurioita (Lähde: Linvatec Bio-materials Oy, Tampere).



Kuva 4. Eturistiderepeämä on korjattu semitendinosusjännesiirteellä, joka on kiilattu paikalleen sääriluun ja reisi-
luun porakanaviin biohajoavilla interferenssiruuveilla (nuolet). Jännesiirteen distaalipään kiinnitys on varmistettu
metallisella sinkilällä sääriluun kyhmyyn.

Leuka- ja kraniofasiaalikirurgia

Laajojen kokeellisten tutkimuksien jälkeen (Suuronen ym. 1992a, b ja 1998, Ashammakhi ym. 2001) ensimmäiset leukakirurgiset leikkaukset Suomessa tehtiin vuonna 1991, jolloin alaleuan sagittaalisen osteotomian jälkeen luu korjattiin itselujittuneilla PLLA-ruuveilla. Nykyisin biohajoavien kiinnittimien kliiniset sovellukset ovat laajentuneet ja käyttö yleistynyt (Kallela ym. 1999, Suuronen ym. 1999 ja 2000, Ashammakhi ym. 2001 ja 2003).

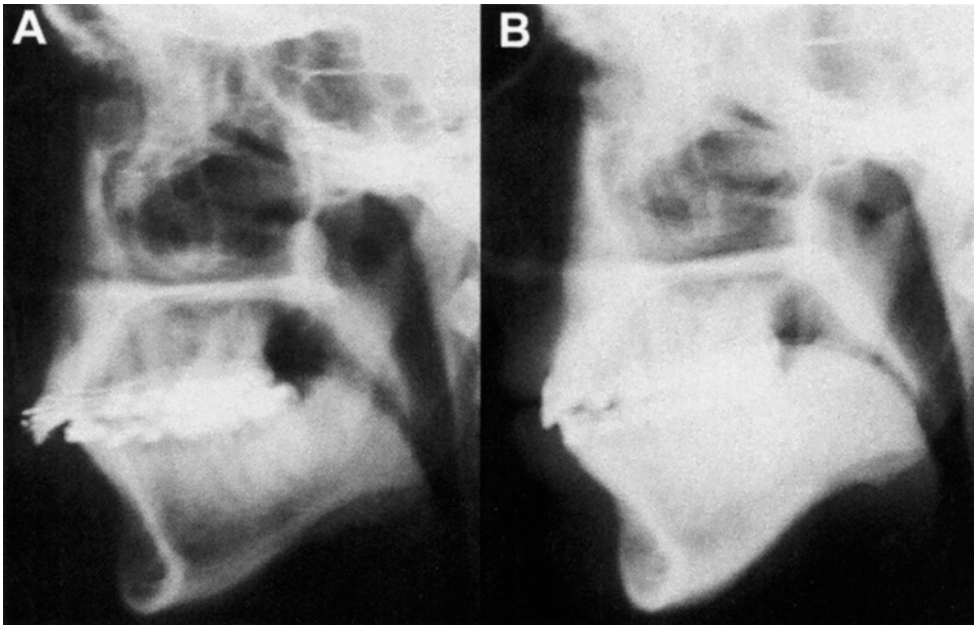
Ortognaattisessa kirurgiassa bikortikaaliset ruuvit ja minilevyt monokortikaalisine ruuveineen ja nastoineen ovat vakiinnuttaneet asemansa alaleuan sagittaalisen osteotomian ja yläleuan LeFort I -osteotomian jälkeen luiden kiinnittämisessä (kuva 5A, B). Kiinnittimet ovat osoittautuneet luotettaviksi, ja osteotomioiden jälkeen kiinnitysstabiilius on ollut metallifiksatioon verrattava (Haers ja Sailer 1998, Kallela ym. 1998).

Kasvovampotilailla biohajoavia kiinnittämiä on käytetty pääasiassa alaleuan (kuva 6) ja poskiluun murtumien kiinnittämisessä. Alaleuan

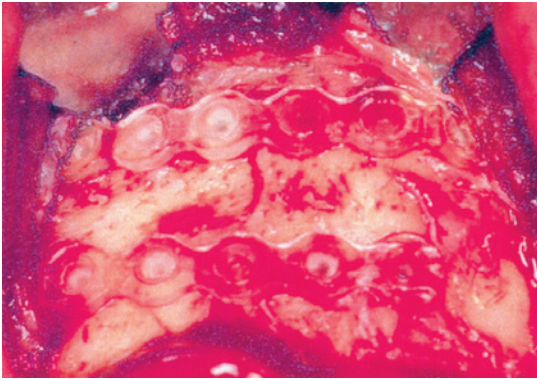
murtumissa voidaan käyttää myös vetoruuvitekniikkaa. Silmäkuopan pohjan rekonstruoimisessa on käytetty apuna biohajoavia kalvoja ja levyjä. On kuitenkin syytä muistaa, että infektoituneiden, pirstaleisten ja defektimurtumien hoito vaatii edelleen vahvempia metallisia rekonstruktiolevyjä (Kallela ym. 1999, Suuronen ym. 2000, Kontio ym. 2001, Yerit ym. 2002).

Syöpäpotilaiden ala- ja yläleuan yksinkertaisten »access»-osteotomioiden jälkeen voidaan luut hampaallisissa leuoissa korjata metallisten minilevyjen sijaan biohajoavilla levyillä ja ruuveilla. Näillä potilailla biohajoavan kiinnittimen etuna on se, että leikkauksen jälkeinen seuranta kuvantamisineen ei vaikeudu metallisten kiinnittimien aiheuttamien artefaktien vuoksi (kuva 7).

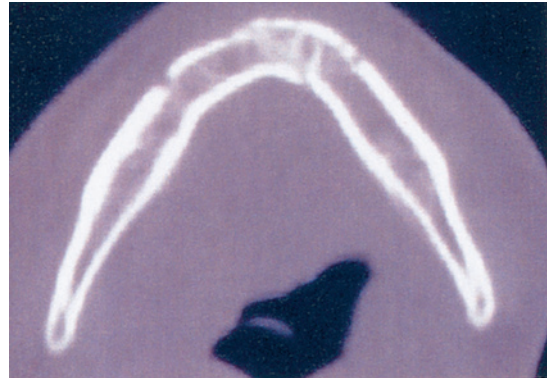
Biohajoavat kiinnittimet ovat saavuttaneet maailmalla laajan suosion lasten kraniofasiaalikirurgiassa, koska tavanomaiset metalliset kiinnittimet voivat aiheuttaa kasvavassa kallossa kasvuhäiriöitä ja translokoitua aivokudokseen (Ashammakhi ym. 2001 ja 2003). Ensimmäiset kraniofasiaaliset leikkaukset itselujittuneilla levyillä tehtiin Suomessa 1990-luvun alussa (Wa-



Kuva 5. A) Alaleuan retrognatia ennen leikkausta. B) Alaleukaa siirrettiin eteenpäin 6 mm sagittaaliosteotomian avulla.



Kuva 6. Alaleuan anteriorinen murtuma on levytetty kahdella P(L/DL)LA 70/30 -levyllä.



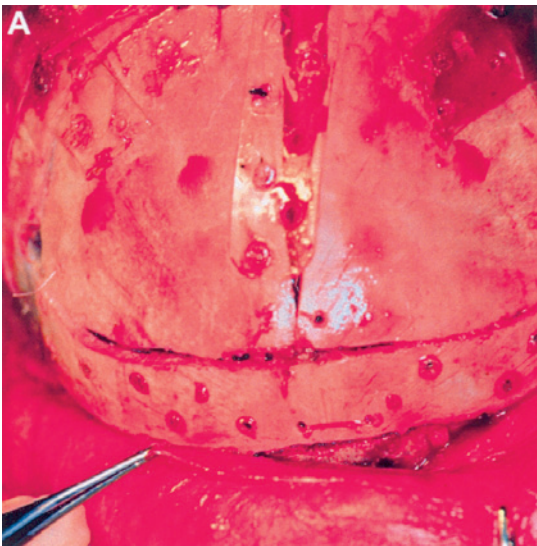
Kuva 7. Biohajoavat levyt eivät häiritse kuvantamista leikkauksen jälkeen. Tietokonetomografiakuvassa alaleuan »access»-osteotomia, joka on korjattu minilevyillä ja -ruuveilla. Monokortikaalisten ruuvien porauskanavat näkyvät ulommassa korteksissa.

ris ym. 1994). Nykyisin biohajoavilla levyillä ja ruuveilla korjataan monenlaisia synnynnäisiä kallon epämuodostumia (kuva 8) sekä kiinnittää luusiirteitä ja osteotomioiden yhteydessä luita (Ashammakhi ym. 2001 ja 2003, Serlo ym. 2001). Ruuvien kierteistämisen välttämiseksi on äskettäin kehitetty ammuttavat nastat, joiden pito vastaa ruuvien pitoa ja joita käyttämällä

voidaan lyhentää leikkausaikaa (kuva 8) (Ashammakhi ym. 2003, Serlo ym. 2003).

Tulevaisuudennäkymiä

Biomateriaalien tutkimus tuottaa uutta tietoa ja entistä kudosityhteensopivampia ja mekaanisesti parempia materiaaleja, joiden hajoamisnopeus



Kuva 8. Biohajoavilla kiinnittimillä voidaan korjata monenlaisia synnynnäisiä kallon epämuodostumia. A) Yhdeksän kuukauden ikäisen pojan trikonokefalia on korjattu irrottamalla otsaluu, muotoilemalla ja kiinnittämällä kranioplastia biohajoavin levyin, ruuvein ja ammuttavin nastoin. Kasvavassa kallossa suositetaan nopeasti liukenevia PLGA 80/20 -kiinnittimiä. B) Tietokonetomografiakuvien pohjalta tehdyt muovimallit potilaan kallostaan ennen leikkausta (vasemmalla) ja kuuden kuukauden kuluttua leikkauksesta (oikealla).

sekä solu- ja kudokset tunnetaan tarkkaan. Polymeerien bioaktiivisuutta sekä implantin ja luun kiinnittymistä toisiinsa voidaan muunnella lisäämällä polymeeriin biokeraameja ja bioaktiivista lasia. Biohajoaviin implantteihin voidaan liittää kasvutekijöitä (Tiainen ym. 1999), joilla pyritään nopeuttamaan kudoksen korjaantumista. Yhdistettäessä biohajoaviin implantteihin lääkkeenantotekniikkaa voidaan esimerkiksi antibiootin vaikutus kohdentaa toivotulle alueelle (Veiranto ym. 2002). Kehittämässämme uuden polven monitoimi-implanteissa tavantomaiseen biohajoavaan kiinnittimeen on lisätty bioaktiivisen lasin avulla osteokonduktiivisuutta ja vapautuvaa lääkeainetta, jolloin voidaan hoitaa tehokkaammin esimerkiksi infektoituneita murtumia tai huonosti luutuvia murtumia esimerkiksi diabeetikoilla, vanhuksilla ja avomurtumapotilailla (Ashammakhi ym. 2003). Ensimmäiset kliiniset kokeet antibioottia vapauttavilla biohajoavilla implanteilla on tarkoitus aloittaa tämän vuoden aikana.

Biohajoavia polymeerejä kehitetään kehiko- ja tukimateriaaleiksi kudosteknologiaan. Biohajoavia kalvoja, levyjä ja huokoisia verkkorakenteita voidaan käyttää ympäröivän kudoksen ja luun kasvua ohjaavina implanteina (Ashammakhi ym. 2001 ja 2003). Niillä pystytään kasvattamaan erilaisia soluja (esim. rusto-, luu- tai sidekudossoluja) ja täten tuottamaan komposiitteja, jotka korvaavat erilaisia kudokset

puutoksia ja edistävät vaurioituneen kudoksen paranemista. Yksi maailman ensimmäisistä tämän alan innovaatioista on biorekonstrukttiivinen tyynyartroplastia, jota on käytetty lupaavien tuloksin nivelreuman tuhoamien rystysnivelten korjauksessa ensimmäisissä kliinisissä sarjoissa Suomessa (Honkanen ym. 2003).

Lopuksi

Biohajoavien kiinnittimien käyttö soveltuu nykyään useisiin luukirurgisiin toimenpiteisiin. Käyttö eri klinikoissa vaihtelee hyvin paljon mutta on etenkin viimeisten vuosien aikana lisääntynyt maailmanlaajuisesti. On huomattava, että biohajoavien kiinnittimien käyttö vaatii kirurgilta kokemusta, sillä menetelmät poikkeavat tietyiltä osin totunnaisista. Uusimmassa 329 leukojen osteotomiaa käsittävässä tutkimuksemme totesimme biohajoavista kiinnittimistä aiheutuneet komplikaatiot erittäin harvinaisiksi. Ne liittyivät usein kokemattomuuteen uuden kiinnittintyyppin käytössä (Laine ym., 2004). Pirstaleisten ja defektimurtumien hoidossa ei usein saavuteta riittävää stabiiliutta. Yleistä käyttöönottoa on rajoittanut myös implantin kalleus metallisiin kiinnittimiin nähden. Tutkimusten mukaan biohajoavien kiinnittimien käytöllä voidaan kuitenkin säästää kokonahoitokuluissa, jos poistoleikkaus ja siihen liittyvät kulut huomioidaan (Juutilainen ym. 1997b).

Kirjallisuutta

- Albrecht-Olsen P, Kristensen G, Törmälä P. Meniscus bucket-handle fixation with an absorbable Biofix tack: development of a new technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1993;1:104–6.
- Ashammakhi N, Peltoniemi H, Waris E, ym. Developments in craniomaxillofacial surgery: use of self-reinforced bioabsorbable osteofixation devices. *Plast Reconstr Surg* 2001;108:167–80.
- Ashammakhi N, Suuronen R, Tiainen J, Törmälä P, Waris T. Spotlight on naturally absorbable osteofixation devices. *J Craniofac Surg* 2003;14:247–59.
- Böstman O, Mäkelä EA, Södergård J, Hirvensalo E, Törmälä P, Rokkanen P. Absorbable polyglycolide pins in internal fixation of fractures in children. *J Pediatr Orthop* 1993;13:242–5.
- Böstman OM, Pihlajamäki HK. Adverse tissue reactions to bioabsorbable fixation devices. *Clin Orthop* 2000;371:216–27.
- Ellermann A, Siebold R, Buelow JU, Sobau C. Clinical evaluation of meniscus repair with a bioabsorbable arrow: a 2- to 3-year follow-up study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2002;10:289–93.
- Haers PE, Sailer HF. Biodegradable self-reinforced poly-L/DL-lactide plates and screws in bimaxillary orthognathic surgery: short term skeletal stability and material related failures. *J Craniofac Surg* 1998;26:363–72.
- Honkanen PB, Kellomäki M, Lehtimäki MY, Törmälä P, Mäkelä S, Lehto MUK. Bioreconstructive joint scaffold implant arthroplasty in metacarpophalangeal joints: short-term results of a new treatment concept in rheumatoid arthritis patients. *Tissue Engineering* 2003;9:957–65.
- Jukkala-Partio K, Partio EK, Helevirta P, Pohjonen T, Törmälä P, Rokkanen P. Treatment of subcapital femoral neck fractures with bioabsorbable or metallic screw fixation. A preliminary report. *Ann Chir Gynaecol* 2000;89:45–52.
- Juutilainen T, Hirvensalo E, Majola A, ym. Bone mineral density in fractures treated with absorbable or metallic implants. *Ann Chir Gynaecol* 1997a;86:51–5.
- Juutilainen T, Pätäälä H, Ruuskanen M, Rokkanen P. Comparison of costs in ankle fractures treated with absorbable or metallic fixation devices. *Arch Orthop Trauma Surg* 1997b;116:204–8.
- Kallela I, Laine P, Suuronen R, Iizuka T, Pirinen S, Lindqvist C. Skeletal stability following mandibular advancement and rigid fixation with polylactide biodegradable screws. *Int J Oral Maxillofac Surg* 1998;27:3–8.
- Kallela I, Iizuka T, Salo A, Lindqvist C. Lag-screw fixation of anterior mandibular fractures using biodegradable polylactide screws:

- a preliminary report. *J Oral Maxillofac Surg* 1999;57:113–8.
- Kontio R, Suuronen R, Salonen O, Paukku P, Konttinen YT, Lindqvist C. Effectiveness of operative treatment of internal orbital wall fracture with polydioxanone implant. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2001;30:278–85.
- Kujala S, Raatikainen T, Kaarela O, Ashammakhi N, Ryhänen J. Successful treatment of scaphoid fractures and nonunions using bioabsorbable screws – report of seven cases. *J Hand Surg* 2004;29A:68–73.
- Laine P, Kontio R, Lindqvist C, Suuronen R. Are there any complications with bioabsorbable fixation devices? A 10 year review in orthognathic surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2004 (painossa).
- McGuire DA, Barber FA, Elrod BF, Paulos LE. Bioabsorbable interference screws for graft fixation in anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 1999;15:463–73.
- Mäkelä EA, Vainionpää S, Vihtonen K, ym. The effect of a penetrating biodegradable implant on the growth plate. An experimental study on growing rabbits with special reference to polydioxanone. *Clin Orthop* 1989;241:300–8.
- Paavolainen P, Karaharju E, Slätis P, Ahonen J, Holström T. Effect of rigid plate fixation on structure and mineral content of cortical bone. *Clin Orthop* 1978;136:287–93.
- Pelto-Vasenius K, Hirvensalo E, Böstman O, Rokkanen P. Fixation of scaphoid delayd union and non-union with absorbable polyglycolide pin or Herbert screw. Consolidation and functional results. *Arch Orthop Trauma Surg* 1995;114:347–51.
- Pelto-Vasenius K, Hirvensalo E, Rokkanen P. Absorbable pins in the treatment of hand fractures. *Ann Chir Gynaecol* 1996;85:353–8.
- Rokkanen P, Vainionpää S, Törmälä P, ym. Biodegradable materials in fracture fixation: early results of treatment of fractures of the ankle. *Lancet* 1985;1:1422–4.
- Rokkanen PU, Böstman O, Hirvensalo E, ym. Bioabsorbable fixation in orthopaedic surgery and traumatology. *Biomaterials* 2000; 21:2607–13.
- Serlo W, Kaarela OI, Peltoniemi HH, ym. Use of self-reinforced polylactide osteosynthesis devices in craniofacial surgery: a long-term follow-up study. *Scand J Plast Reconstr Hand Surg* 2001;35:285–92.
- Serlo W, Ashammakhi N, Lämsman S, Törmälä P, Waris T. A new technique for correction of trigonocephaly using bioabsorbable osteofixation tacks and plates and a novel tack-shooter. *J Craniofac Surg* 2003;14:92–6.
- Suuronen R, Pohjonen T, Wessman L, Törmälä P, Vainionpää S. New generation biodegradable plate for fracture fixation. Comparison of bending strength of mandibular osteotomies fixed with absorbable self-reinforced multi-layer poly-L-lactide plates and metallic plates. An experimental study in sheep. *Clin Mat* 1992(a); 9:77–84.
- Suuronen R, Törmälä P, Vasenius J, ym. Comparison of shear strength of osteotomies fixed with absorbable self-reinforced poly-L-lactide and metallic screws. *J Mater Sci Mater Med* 1992(b);3:288–92.
- Suuronen R, Pohjonen T, Hietanen J, Lindqvist C. A 5-year in vitro and in vivo study of the biodegradation of polylactide plates. *J Oral Maxillofac Surg* 1998;56:604–14.
- Suuronen R, Haers PE, Lindqvist C, Sailer HF. Update on bioresorbable plates in maxillofacial surgery. *Facial Plast Surg* 1999;15:61–72.
- Suuronen R, Kallela I, Lindqvist C. Bioabsorbable plates and screws: current state of the art in facial fracture repair. *J Craniomaxillofac Trauma* 2000;6:19–27.
- Tielinen L, Manninen M, Puolakkainen P, ym. Combining transforming growth factor-1 to a bioabsorbable self-reinforced polylactide pin for osteotomy healing: an experimental study on rats. *J Orthop Sci* 1999;4:421–30.
- Tuompo P, Arvela V, Partio EK, Rokkanen P. Osteochondritis dissecans of the knee fixed with biodegradable self-reinforced polyglycolide and polylactide rods in 24 patients. *Int Orthop* 1997;21:355–60.
- Törmälä P. Biodegradable self-reinforced composite materials; manufacturing structure and mechanical properties. *Clin Mater* 1992;10:29–34.
- Veiranto M, Törmälä P, Suokas E. In vitro mechanical and drug release properties of bioabsorbable ciprofloxacin containing and neat self-reinforced P(L/DL)LA 70/30 fixation screws. *J Mater Sci Mater Med* 2002;13:1259–63.
- Vihtonen K, Juutilainen T, Pätiälä H, Rokkanen P, Törmälä P. Reinsertion of the ruptured ulnar collateral ligament of the metacarpophalangeal joint with an absorbable self-reinforced polylactide tack. *J Hand Surg* 1993;18B:200–3.
- Waris T, Pohjonen T, Törmälä P. Self-reinforced absorbable polylactide (SR-PLLA) plates in craniofacial surgery: a preliminary report on 14 patients. *Eur J Plast Surg* 1994;17:236–8.
- Waris E, Ashammakhi N, Raatikainen T, Törmälä P, Santavirta S, Konttinen YT. Self-reinforced bioabsorbable versus metallic fixation systems for metacarpal and phalangeal fractures. A biomechanical study. *J Hand Surg* 2002;27A:902–9.
- Yerit KC, Enislidis G, Schopper C, ym. Fixation of mandibular fractures with biodegradable plates and screws. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2002;94:294–300.

EERO WARIS, LL, erikoistuva lääkäri
eero.waris@helsinki.fi
Mikkelin keskussairaala
Porrassalmenkatu 35–7, 50100 Mikkeli
ja Helsingin yliopisto, biolääketieteen laitos, anatomia
PL 63, 00014 Helsingin yliopisto

NUREDDIN ASHAMMAKHI, professori
PERTTI TÖRMÄLÄ, akatemiaprofessori
Tampereen teknillinen yliopisto, Biomateriaalitekniikan laitos
PL 589, 33101 Tampere

VILLE WARIS, LL, erikoistuva lääkäri
Mikkelin keskussairaala
Porrassalmenkatu 35–7, 50100 Mikkeli

WILLY SERLO, dosentti, ylilääkäri
OYS, lasten kirurgia
PL 22, 90022 OYS

RIITTA SUURONEN, professori, ylilääkäri
riitta.suuronen@helsinki.fi
Tampereen yliopisto, lääketieteen laitos,
K-rakennus, 33014 Tampereen yliopisto
ja Helsingin yliopisto ja HUS
Suu- ja leukakirurgian yksiköt
PL 41, 00014 Helsingin yliopisto

YRJÖ T. KONTTINEN, professori
Meilahden sairaala, sisätaudit
PL 340, 00029 HUS
ja Invalidisäätiö, sairaala ORTON
Tenholantie 10, 00281 Helsinki
ja Helsingin yliopisto, biolääketieteen laitos, anatomia
PL 63, 00014

SEPPO SANTAVIRTA, professori, ylilääkäri
Töölön sairaala, ortopedia ja traumatologia
PL 266, 00029 HUS