

Hannu Aro

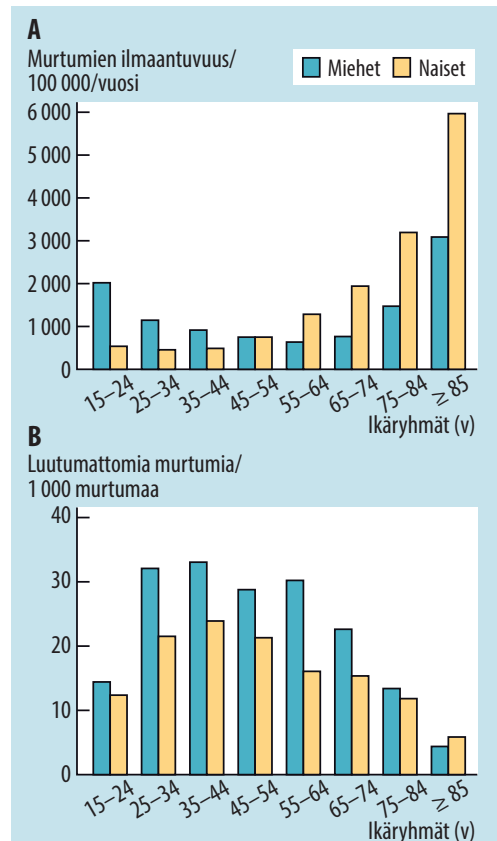
Kun luunmurtuma ei parane

Harva luunmurtuma jää luutumatta. Luutumattomuusriski vaihtelee murtuman paikan, murtumatyypin sekä potilaan iän ja sukupuolen mukaan. Ikääntyminen ei näytä altistavan murtumien luutumattomuudelle. Olennaista on selvittää luutumattomuuteen johtaneet todennäköiset syyt ja myötävaikuttaneet tekijät. Yleisimpiä syitä ovat murtumapäiden välinen rako, murtumien epätydyttävä kiinnitys leikkauksessa ja leikkauksenjälkeiset infektiot. Myötävaikuttavia riskitekijöitä ovat tupakointi, diabetes, D-vitamiinin puute, nivelreuma, lihavuus, runsas alkoholinkäyttö ja tulehduskipulääkitys. Näiden riskitekijöiden vaikutus on usein vain kohtalainen. Kivut ja toimintakyky määrittävät sen, vaatiiko luutumaton murtuma leikkausta. Cierny–Maderin luokituksella arvioidaan komplikaatioille altistavat tekijät ja potilaan soveltuvuus leikkaukseen. Luudutusleikkaus on vaativa toimenpide, mutta sillä voidaan saavuttaa murtuman luutuminen melko todennäköisesti.

Luukudoksen regeneraatiokyky takaa luunmurtumien nopean paranemisen. Valtaosa, yli 65 % aikuisten murtumista voidaan hoitaa ilman leikkausta. Leikkaushoitoa suositellaan, kun murtuma on dislokoitunut tai sen luutumatta jäämisen riski on huomattava (1). Leikkaushoito varmistaa luutumisen hyvin tehokkaasti.

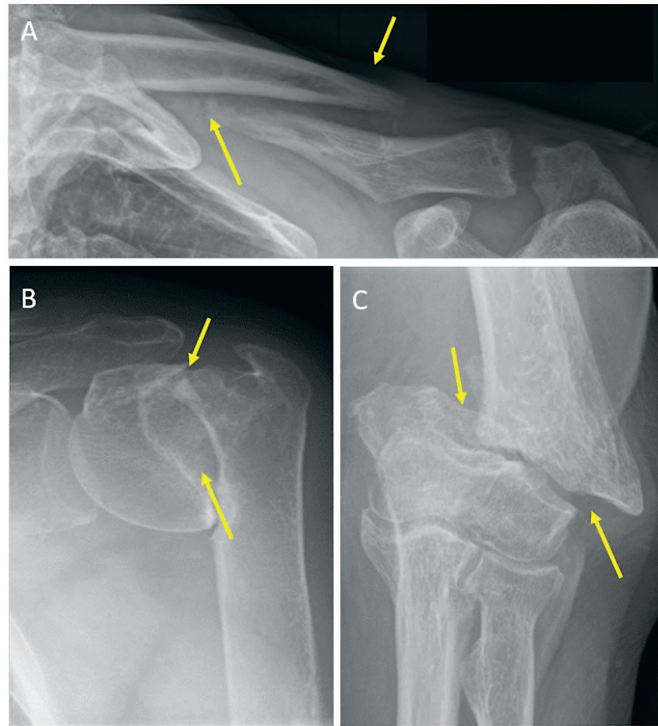
Luutuminen katsotaan hidastuneeksi, jos 12 viikon kuluttua murtumasta ei ole todettavissa kliinisiä ja radiologisia merkkejä luutumisen käynnistymisestä. Murtuma voidaan katsoa luutumattomaksi, jos se ei ole luutunut yhdeksän kuukauden kuluessa eikä luutuminen ole edistynyt kolmen viime kuukauden aikana (2). Luunmurtumista jää nykyisin luutumatta vain pieni osa, 1,9–4,9 % (3,4).

Luutumattomuusriski vaihtelee paljon murtuman paikan ja tyyppin sekä potilaan iän ja sukupuolen mukaan. Luutumattomien murtumien suhteellinen osuus pienenee iän myötä, vaikka luunmurtumien absoluuttiset määrät lisääntyvät eksponentiaalisesti yli 75-vuotiailla (KUVA 1) (4,5). Skotlannissa luutumattomien murtumien vuosittainen ilmaantuvuus on 18,9 tapausta 100 000 henkilöä kohden (6). Jos ilmaantuvuus olisi Suomessa vastaava, meillä ilmenisi vuosittain noin 1 000 luutumattontä murtumaa. Luku on pieni, jos otetaan huo-



KUVA 1. Murtumien ilmaantuvuus ja luutumattomien murtumien suhteellinen määrä skotlantilaisessa potilasaineistossa, joka käsitti lähes 5 000 hoidettua luutumattontä murtumaa (4).

KUVA 2. Luutumattomia murtumia konservatiivisen hoidon jälkeen. **A.** Solisluun keskikolmanneksen kivulias luutumaton murtuma 23-vuotiaalla miehellä 3 kk:n kuluttua polkupyörä-onnettomuudesta. **B.** Olkaluun kaulan murtuman jälkeinen kivuton valenivel 77-vuotiaalla naisella vuoden kuluttua kaatumistapaturmasta. **C.** Olkaluun alaosan kivulias luutumaton murtuma 89-vuotiaalla miehellä 9 kk:n kuluttua kaatumistapaturmasta.



mioon, että vuosittain Suomessa ilmenee yli 35 000 pelkästään luuston haurastumiseen liittyvää luunmurtumaa (7).

Luutumaton murtuma vaatii perusteellisen arvion tilaan johtaneista syistä. Valtaosalla potilaista on todettavissa enemmän kuin yksi syy luutumattomuuteen. Syiden on oltava tiedossa, kun suunnitellaan mahdollista luudutusleikkausta (1). Kivut ja toimintakyky määrittävät, vaatiiko luutumaton murtuma luudutusleikkausta. Leikkaushoito ei ole aina tarpeen.

Hitaan luutumisen riskitekijät

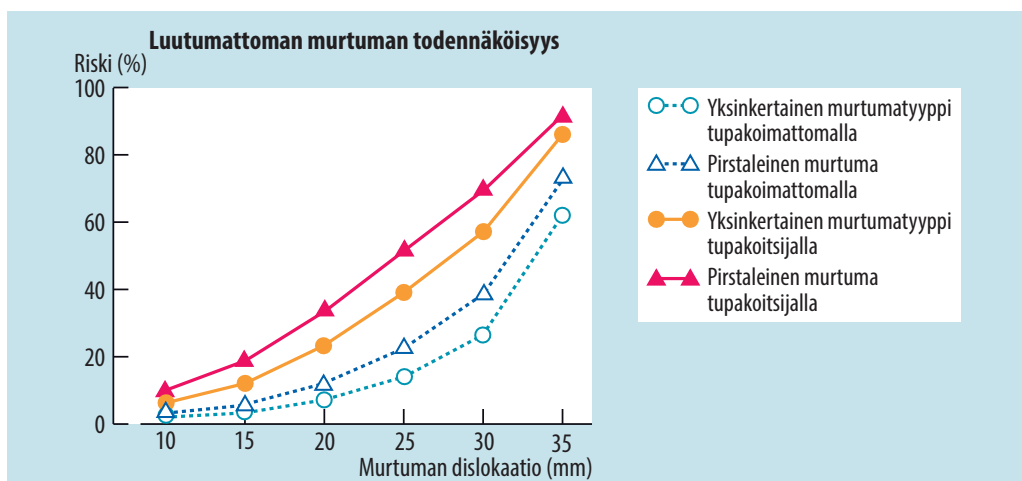
Murtuman aiheuttaneen voiman suuruus (vammaenergia) ja syntyneen pehmytkudosvaman vaikeus ratkaisevat usein murtuman paranemisedellytykset. Suurienergisistä vaikeista avomurtumista jää luutumatta 10–20 % (3,4).

Konservatiivisen hoidon onnistuminen edellyttää, että murtumapäiden välinen etäisyys on pieni ja murtumassa ei tapahdu suurta liikettä. Tämä tavoite on vaativa osassa solisluun keskikolmanneksen (**KUVA 2 A**) ja olkavarren murtumista. Solisluun keskiosan murtumien luutumista ennustavat murtumapäiden välinen

etäisyys, murtuman pirstaleisuus ja potilaan tupakointi (**KUVA 3**) (8). Myös olkavarren murtumien yhteydessä murtumaraon jokainen millimetri lisää konservatiivisen hoidon epäonnistumisriskiä (9). Solisluun keskikolmanneksen murtumista jää luutumatta keskimäärin 15 % ja olkavarren murtumista 10–20 % (10,11). Näiden murtumien konservatiiviseen hoitoon liittyvä huomattava luutumattomuus (24–25 %) on havaittu myös Suomessa tehdyissä tutkimuksissa (12,13).

Leikkauksessa saavutettu tukeva kiinnitys edistää murtuman paranemista, mutta liian jäykkä lukkoruuvi-levytys voi paradoksaalisesti estää luutumista. Luutumattomuus on yleistä (17–21 %) erityisesti lateraalisesti levytetyissä reisiluun alaosan murtumissa (14). Mini-invasiivinen leikkaustapa, levykiinnityksen jäykkyyden pienentäminen ja murtuman aksiaalisen mikroliikkeen (alle 1,5 mm) salliminen voivat auttaa ongelman ratkaisussa (15).

Jos leikattu murtuma ei luudu, kantava implantti voi pettää mekaanisesti (**KUVA 4**). Implantin murtuminen tai irtoaminen on varma merkki murtuman luutumattomuudesta. Ydinnaulojen salparuuvi- väsymismurtumat ovat



KUVA 3. Konservatiivisesti hoidettujen solisluun keskikolmanneksen murtumien paranemisen ennustaminen yli 900 aikuispotilaan aineistossa (8). Solisluu ei luutunut 13 %:lla potilaista. Luutumattomuus pystyttiin parhaiten ennustamaan ottamalla huomioon murtumatyyppi, murtumapäiden välinen etäisyys (dislokaatio) ja tupakointi.

haitallisia esimerkiksi patologisten murtumien hoidossa (**KUVA 5**).

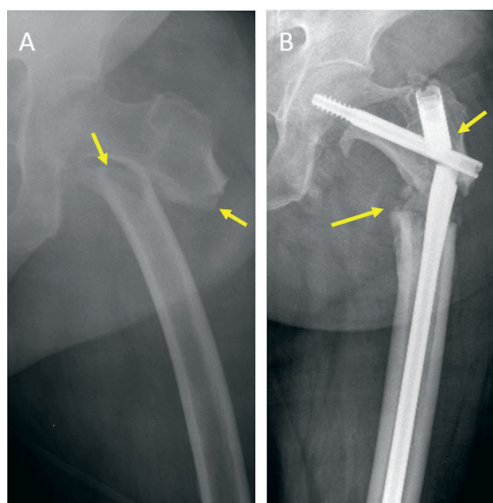
Laajat rekisteritutkimukset ovat tuoneet esille luutumattomuudelle altistavia hyvin erilaisia riskitekijöitä (3,5). Niihin kuuluvat tupakointi, diabetes, D-vitamiinin puute, lihavuus, runsas alkoholinkäyttö, nivelreuma ja tulehduskipulääkkeiden käyttö. Riskitekijöiden vaikutus on usein vain kohtalainen, ja niiden keskinäistä merkitystä on vaikea arvioida (3,16). Luutumattomuusriskiä on vaikeaa ennustaa yhden altistavan riskitekijän perusteella. Ilman muita riskitekijöitä esimerkiksi tupakoinnin negatiivinen vaikutus ei ole kovin suuri tai tule olla esillä (16). Tulehduskipulääkkeet ovat lisänneet konservatiivisesti hoidettujen murtumien luutumattomuusriskiä, mutta leikattujen murtumien osalta niiden negatiivinen vaikutus ei aina ole tullut esille (17).

Hitaan luutumisen varhainen toteaminen

Hitaaseen paranemiseen pitäisi puuttua varhaisessa vaiheessa, koska luudutusleikkauksen siirtäminen voi vaikuttaa vammasta toipumiseen (13,18). Raajamurtumien kliininen luuttumisaika ja radiologinen luuttumisaika ovat hämmästyttävän hyvin ennustettavissa (19). Jos murtuma päätetään hoitaa konservatiivises-

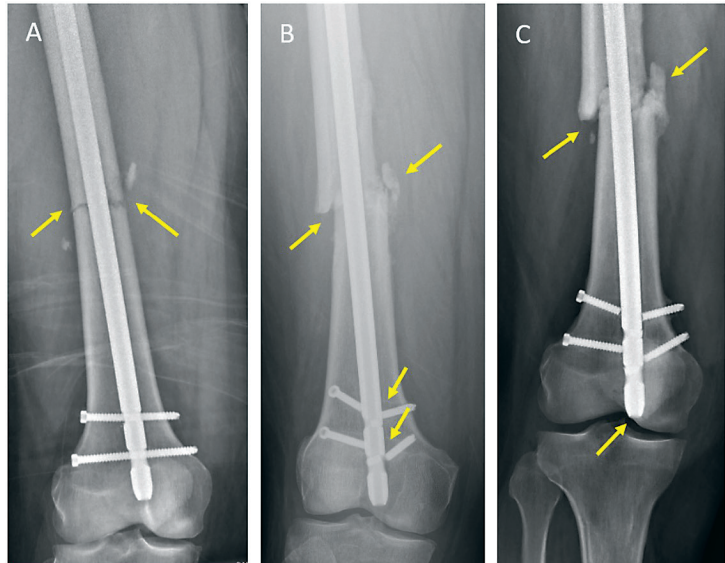
ti, leikkaushoidon tarve on syytä arvioida uudelleen kuuden viikon kuluttua sen perusteella, miten hyvin paraneminen on edistynyt.

Solisluun keskiosan murtuman paranemiseen liittyy kivun vähentyminen ensimmäisten viikkojen aikana, ja luutumattomuusriskiä voidaan ennustaa kuuden viikon kuluttua kliinisen tutkimuksen (murtuman lujittuminen ja arkuus), radiologisten löydösten (kalluksen



KUVA 4. A. Ilman tapaturmaa syntynyt reisiluun epätyypillinen murtuma diabetesta sairastavalla 86-vuotiaalla naisella. Potilas oli saanut alendronaattihoitoa nikamamurtumien takia kahden vuoden ajan. B. Murtuma ei luutunut ja ydinnaula murtui (5 kk leikkauksesta).

KUVA 5. A. Salpaydinnaulauksella ja sädehoidolla hoidettu reisiluun varren patologinen murtuma multipplia myeloomaa sairastavalla 51-vuotiaalla miehellä. Luutumattomaan murtumaan kehittyi lyhentymistä, distaaliset salparuuvit murtuivat ja ydinnauula painui distaalisesti lähelle nivelpintaa (B ja C).



ilmaantuminen) ja potilaan subjektiivisen arvon (QuickDASH-potilasmittari) perusteella (10,20). Vastaavasti olkavarren murtumien luutumattomuusriskiä voidaan ennustaa kuuden viikon kuluttua murtumasta sen klinisen lujittumisen ja radiologisen mittarin perusteella (11,21).

Luutumattomuuden kliinisten syiden yleisyys

Sadan potilaan aineistossa luutumattomuuden syyt pystyttiin jakamaan neljään pääryhmään (22). Niihin kuuluivat murtuman paranemiselle epäedulliset mekaaniset olosuhteet, murtumarako, infektiot ja altistavat yksilölliset riskitekijät (kuten tupakointi ja diabetes). Valtaosalta potilaista (69 %) löytyi vähintään kaksi syytä luutumattomuuteen. Yleisin syy (59 % potilaista) olivat epäedulliset mekaaniset olosuhteet. Niihin kuuluivat teknisesti puutteelliset murtumien kiinnitykset leikkauksissa. Toiseksi yleisin syy (47 % potilaista) oli murtumaraon leveys. Altistavia yksilöllisiä riskitekijöitä löytyi 43 %:lta potilaista, ja infektio todettiin 38 %:lla.

Ikääntyneiden ja osteoporoosista kärsivien luutumattomat murtumat

Ikääntyminen ja osteoporoosi eivät näytä suoraan hidastavan murtumien paranemista,

mutta ne vaikuttavat kuitenkin merkittävästi murtumien hoitoon. Prekliinisissä malleissa ikä on hidastanut luun paranemista monella eri mekanismilla, mutta kliinisesti iän on todettu jopa vähentävän luunmurtuman luutumatta jäämisen riskiä (3). Luutumattomien murtumien määrän väheneminen vanhemmissa ikäryhmissä voi osin selittyä sillä, että moneen luutumattomuuden yksilölliseen riskitekijään (kuten tupakointiin) liittyy suurentunut kuolleisuus (4,5).

Ikäkkäät murtumapotilaat edustavat todennäköisesti valikoitunutta potilasryhmää. Heillä näyttää säilyvän biologinen valmius luunmurtumien paranemiseen. Kiertävät mesenkymaaliset kantasolut ilmaantuvat jopa yli 80-vuotiaiden lonkkamurtumapotilaiden verenkiertoon heti kaatumistapaturman jälkeen (23). Nämä murtuma-alueelle hakeutuvat solut osallistuvat luunmurtuman paranemisen säätelyyn (24).

Osteoporoosin oletettua luunmurtumien paranemista hidastavaa vaikutusta on ollut vaikea todentaa. Luuntiheyden mittaaminen kaksiennergaisella röntgenabsorptiometrialla (DXA) ei ole auttanut luutumattomuusriskin ennustamisessa. Kiistatta implantit pysyvät huonosti kiinni haurastuneissa luissa. Implanttien irtoamiset ovat yleisiä esimerkiksi olkaluun yläosan osteoporoottisissa murtumissa. Osteoporoosi voi näin epäsuorasti myötävaikuttaa murtuman luutumattomuuteen. Tämä mekanismi toden-

TAULUKKO 1. Luun kasvutekijöiden ja osteoporoosilääkkeiden vaikutus luunmurtumiin.

	Satunnaistettu hoito	Luutumisen ja kliininen tulos
Ydinnaulauksella hoidetut säärimurtumat		
Sulkeiset säärimurtumat	rhBMP-2-injektio vs standardihoito	N.S. (29)
	Romosotumabi vs lume	N.S. (32)
Akuutit säärimurtumat, joissa luupuutosta	rhBMP-2/kollageenisieni + allografi vs autografi	N.S. (40)
	rhBMP-2/kollageenisieni vs autografi	Autografi parempi (41)
Säären avomurtumat		
Gradus I–III Gradus IIIA–B	rhBMP-2/kollageenisieni vs standardihoito	N.S. (30)
	rhBMP-2/kollageenisieni vs standardihoito	Standardihoidossa enemmän uusintaleikkauksia ja infektoita (28)
Luutumattomat säärimurtumat	rhBMP-7 (OP-1) vs autografi	N.S. (42)
Lonkkamurtumat		
Trokanteeriset murtumat	Teriparatidi vs risedronaatti	N.S. (43)
Reisiluun kaulan murtumat	Teriparatidi vs lume	N.S. (31)
Trokanteeriset murtumat ja reisiluun kaulan murtumat	Romosotumabi vs lume	N.S. (33)

N.S. = ei merkitsevää eroa; OP-1 = osteogenic protein-1; rhBMP-2 = recombinant human bone morphogenetic protein-2; rhBMP-7 = recombinant human bone morphogenetic protein-7

näköisesti selittää, miksi osteoporoosi on tilastollisesti merkittävä luutumattomuuden riskitekijä (3,5). Alle 70-vuotiaiden lonkkamurtumapotilaiden komplikaatoriski on erityisen suuri (28 %), jos osteoporoosiin liittyy runsas alkoholinkäyttö (25).

Hohkaluun murtuman luutumattomuus johtaa yleensä arpiliitoksen muodostumiseen. Iäkkäiden potilaiden osalta arpiliitos voidaan hyväksyä esimerkiksi olkaluun kaulan murtumissa (**KUVA 2 B**), kyynärliisäkkeen (olecranon) murtumissa ja kaularangan densin tyven (tyyppi II) murtumissa. Osalle iäkkäistä potilaista kehittyy luutumattoman murtuman myötä invalidisoivia jälkioireita. Olkaluun distaaliosan murtumien konservatiivinen hoito voi johtaa kivuliaaseen arpiliitokseen (**KUVA 2 C**). Se voi pysyvästi heikentää potilaan elämänlaatua ja selviytymistä itsenäisenä (26).

Yleisimmät osteoporoosilääkkeet (alendronaatti, tsoledronihappo ja denosumabi) eivät hidasta tavallisten murtumien luutumista. Antiresorptiiviseen lääkehoitoon (bisfosfonaatit, denosumabi) liittyy harvinaisina haittatapahtumina epätyypillisiä reisiluun rasisurmurtumia. Ne luutuvat hitaasti ja vaativat erityisen tarkkaa leikkaustekniikkaa (**KUVA 4**) (27).

Voidaanko murtuman paranemista nopeuttaa?

Yhdistelmä-DNA-tekniikalla tuotetut osteoinduktiiviset kasvutekijät (rhBMP-2 ja rhBMP-7/OP-1) eivät ole saaneet odotettua kliinistä suosiota. Murtumakohtaan paikallisesti annettu rhBMP-2-kasvutekijä voi vähentää vaikeiden avosäärimurtumien uusintaleikkauksia ja infektoita (gradus IIIA–B) (28). Sulkeisten ja lievempien säären avomurtumien osalta ei ole todettu merkittävää hyötyä (gradus I–III) (**TAULUKKO 1**) (29,30).

Systeemisesti annetut anaboliset osteoporoosilääkkeet eivät ole nopeuttaneet lonkka- ja säärimurtumapotilaiden kliinistä toipumista ja murtumien luutumista (**TAULUKKO 1**) (31–33). Lisäkilpirauhashormonivalmisteiden on raportoitu nopeuttavan rasisurmurtumien ja hohkaluun murtumien paranemista, mutta vakuuttava näyttö tehosta ei ole. Sama koskee pienienergiaista pulsoivaa ultraäänihoidoa. Luuytimen ja rasvakudoksen kantasolujen käyttöön perustuvat kudosteknologiat eivät ole edenneet odotetusti satunnaistettuihin kliinisiin tutkimuksiin.

Pääosin negatiiviset kliiniset tulokset viit-

TAULUKKO 2. Toimenpiteet, kun luunmurtuma on jäänyt luutumatta.

1. Esitiedot
Vammamekanismi ja vammaenergia? Miten murtuman alkuvaiheen hoito toteutui?
2. Potilaan fysiologisen tilan luokitus (Cierny–Maderin luokitus)
3. Nykyiset oireet ja kliininen status
Toiminnallinen haitta? Lähinivelten liikkuvuus ja raajan kuormitusakseli
4. Röntgenkuvien arviointi ja lisäkuvantaminen
Oliko alun perin saavutettu murtuman hyväksyttävä asento? Tarvitaanko lisäkuvantamista luutumattomuuden varmistamiseksi?
5. Laboratoriotutkimukset harkinnan mukaan
Perusverenkuva, lasko, CRP-pitoisuus Veren pitkäaikainen glukoosipitoisuus, HbA _{1c} -arvo Kalsium-, lisäkilpirauhshormoni-, AFOS- ja fosfaatti-pitoisuudet D-vitamiinipitoisuus Tyreotropiini- ja T ₄ v-pitoisuudet
6. Päätelmät: mitkä tekijät todennäköisesti johtivat luutumattomuuteen?
7. Potilasinformaatio löydöksistä ja ennusteesta
8. Mahdollisen luudutusleikkauksen suunnittelu
Tarvittavien erikoisimplanttien varaaminen Leikkauksessa viisi kudოსnäytettä (vaihtoehtoisesti luuytimen kairauslastut) aerobiseen ja anaerobiseen bakteeriviljelyyn Kudosnäyte patologiseen tutkimukseen

taavat siihen, että luunmurtumien paraneminen tapahtuu optimaalisella nopeudella, eikä paranemista pystytä nopeuttamaan. Ainoan poikkeuksen muodostavat hitaasti paranevat avomurtumat. Luutumattomien murtumien hoidossa autogeeninen osteoinduktiivinen luusiirre vaikuttaa yhtä hyvältä tai jopa paremmalta kuin synteettinen kasvutekijä.

Kun murtuma ei luudu odotetusti

Potilaan tutkiminen. Murtuman hidas luutumisen tai luutumattomuus vaatii järjestelmällistä tilanteen arviointia ja peruslaboratoriotutkimuksia (**TAULUKKO 2**) (34). Olennaista on selvittää luutumattomuuteen johtaneet todennäköiset syyt ja myötävaikuttaneet tekijät. Geneettiset tekijät ja metaboliset luusairaudet voivat vaikuttaa ongelmaan. Epätyypillisten

reismurtumien yhteydessä on keskeytettävä antiresorptiivinen lääkehoito. Potilas tulee tarvittaessa lähettää jatkotutkimuksiin sisätautilääkärille tai endokrinologille. Potilas tulee myös ohjata mahdollisen ylipainon tai päihdeongelman osalta perusterveydenhuollon hoitoon.

Luutumattoman murtuman aiheuttamat oireet ja toiminnalliset haitat on selvitettävä. Potilaan yleistila luokitellaan Cierny–Maderin luokituksen mukaan osana leikkauskelpoisuuden ja leikkausennusteen arviota (**TAULUKKO 3**) (34). Luokkaan B kuuluvat potilaat, joilla on kirurgisille komplikaatioille altistavia tekijöitä. Luokitus huomioi potilaat, joille luudutusleikkaus ei ole aiheellinen tai voi olla jopa vasta-aiheinen (luokka C).

Valmistautuminen leikkaushoitoon. Luudutusleikkauksen onnistumiseen voidaan vaikuttaa usealla tavalla: huolehtimalla diabeteksen hoitotasapainosta, korjaamalla mahdollinen D-vitamiinin puutos, varmistamalla kalsiumaineenvaihdunnan tasapaino, huolehtimalla iäkkään potilaan ravitsemustilasta ja korostamalla tupakoinnin lopettamisen tärkeyttä riittävän ajoissa ennen leikkausta. Tupakoinnin negatiivinen vaikutus luutumiseen voi jatkua useita kuukausia lopettamisen jälkeenkin.

Luutumattoman murtuman hoito kohdistetaan luutumishäiriöön johtaneen perussyyn korjaamiseen. Onko kysymys vaikean pehmytkudosvaurion sekundaarisesta luuinfektiosta vai hitaasta biomateriaali-infektiosta? Puutuuko murtumapäiden väliltä kontakti? Onko murtuman kiinnitys stabiili? Onko murtumafragmentti avaskulaarinen?

Infektioiden tunnistaminen on tärkeää luudutusleikkauksen onnistumisen kannalta. Normaalit tulehdusarvot eivät sulje pois luutumattoman murtuman infektiota. Luudutusleikkausten yhteydessä otetut bakteeriviljelynäytteet ovat olleet yllättäen positiivisia jopa 20–29 %:lla potilaista (35,36). Yleisimmin eristetyt taudinaiheuttajat ovat lievästi virulenteja (35,36). Biofilmi-infektioiden mikrobiologinen diagnosointi on vaativaa. Siihen suositellaan poistettujen implanttien ultraäänikäsittelyä ja pidennettyjä viljelyaikoja. Positiivinen bakteeriviljely ennustaa luudutusleikkauksen epäonnistumista (36).

Leikkaushoidossa pätevät kirurgiset peruseripiaatteet: arpidoksen poisto, murtumapäiden tarkka asennus pää päätä vastaan ja tukeva kiinnitys kompressioon yhdistettynä autogeeniseen osteoinduktiiviseen luunsiirtoon (1,36). Ydinnaulan sulkeinen vaihtoleikkaus on vaihtoehto, jos ydinnaulattu murtuma on jäänyt luutumatta ja murtuma on hyväksyttävässä asennossa tai virheasento on korjattavissa avaamalla murtumakohtaa (1,36).

Autogeeninen luunsiirto tuo kaikki välttämättömät biologiset tekijät luutumattoman murtuman luutumiseen: osteogeeniset solut, soluväliaineen luonnolliset osteoinduktiiviset kasvutekijät ja osteokonduktiivisen pinnan uudisluun kasvulle (37). Autogeeninen luusiirre toimii hyvin myös yli 65-vuotiailla. Siirre otetaan yleensä suoliluun harjasta. Jos siirrettä tarvitaan paljon, vaihtoehtona on RIA-tekniikalla (reamer-irrigator-aspirator) otettu luusiirre (37). RIA-siirre otetaan erikoisvälineistöllä yleensä reisiluusta. Ydinontelo kairataan suljettusti, ja luun sisäpinnalta irronneet kairauslasut huuhdellaan ja imetään talteen. Luusiirteen otossa esiintyy (6–19 %) paikallisia komplikaatioita (murtumia, infektioita, hermovaurioita).

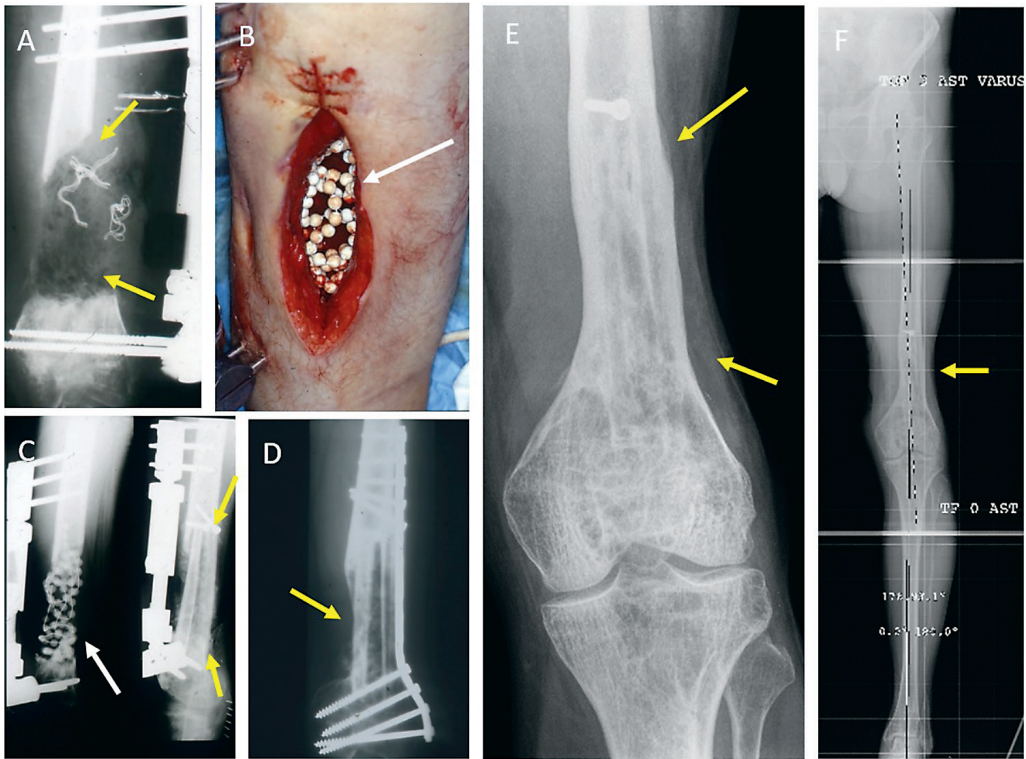
Ydinasiat

- ▶ Suurienergiaiset avomurtumat luutuvat usein hitaasti tai jäävät jopa luutumatta.
- ▶ Muiden murtumien paraneminen on suhteellisen hyvin ennustettavissa, ja paranemismekanismit toimivat iäkkäilläkin potilailla.
- ▶ Jos tavallinen murtuma ei luudu, syinä ovat usein murtumarako ja epäedulliset mekaaniset olosuhteet.
- ▶ Yksilölliset riskitekijät ovat myötävaikuttavia, mutta eivät yksin selitä luutumattomuutta.
- ▶ Luutumattomankin murtuman paranemiskyky säilyy – perussyyn korjaaminen takaa luudutusleikkauksen lähes varman onnistumisen.

Luudutusleikkauksen onnistuminen ensi yrittämällä on tärkeää toimintakyvyn palauttamiseksi mahdollisimman nopeasti (1). Tulehduskipulääkitystä suositellaan vain tilapäisesti

TAULUKKO 3. Luunmurtumapotilaille muokattu Cierny–Maderin luokitus.

Potilaan fysiologinen luokka	
Luokka	Tunnusomaiset löydökset
A	Terve aikuinen, toimiva immuunijärjestelmä
B	Kudosten paranemiseen vaikuttava paikallinen (B ^a) tai yleinen (B ^b) tekijä tai näiden yhdistelmä
C	Luudutusleikkaukseen huonosti soveltuva potilas, luutumattoman murtuman aiheuttama toiminnallinen haitta ja kipu vähäinen, odotettavissa oleva hyöty leikkauksesta rajallinen toimenpiteen riskeihin nähden
Fysiologiseen luokkaan vaikuttavat tekijät	
Yleisiä tekijöitä (B ^b)	Paikallisia tekijöitä (B ^a)
Diabetes	Paikallinen lymfedeema
Tupakointi	Laskimoverentungos
Runsas alkoholinkäyttö	Päävaltimoiden ahtauma
Krooninen keuhkosairaus	Pehmytkudosten vaikea arpeutuminen
Immunosuppressiivinen lääkehoito	Sädehoidon jälkitila
Immuunipuutokset	Perifeerinen neuropatia
Munuaisten tai maksan vajaatoiminta	Verisuonitulehdus
Hyvin korkea ikä	
Aliravitsemus	
Syöpä	



KUVA 6. Moottoripyöräonnettomuudessa syntynyt suurienergiainen reisiluun alaosan avomurtuma 22-vuotiaalla miehellä. **A.** Huolimatta puhdistusleikkauksista murtumaan kehittyi märkäinen (anaerobinen tai aerobinen) osteomyeliitti, joka vaati laajan luuresektion. Luupuutosalue täytettiin tilapäisesti mikrobilääke-luusementtihelmillä. Täyttöalueen ympärille muodostui paksu osteoinduktiivinen kalvo (**B** ja **C**). Luupuutos korjattiin avaskulaarisella pohjeluusiirteellä ja allogeenisella hohkaluulla (**C** ja **D**). Luutumisen ja uudelleen muovautuminen palauttivat reisiluun alaosan rakenteen ja raajan normaalin kuormitusakselin (15 vuotta tapaturmasta) (**E** ja **F**).

(alle kahdeksi viikoksi) luudutusleikkauksen jälkeen. Jos taustalla ei ole infektiota, luudutusleikkaus johtaa murtuman luutumiseen 87–100-prosenttisesti (1). Luutumaton murtuma voi vaikuttaa voimakkaasti elämänlaatuun. Elämänlaatu korjaantuu hitaasti. Osalle potilaista jää krooninen kiputila onnistuneenkin luudutusleikkauksen jälkeen.

Infektiot ja vaikeat luupuutokset

Pitkien luiden infektoituneet murtumat ja niihin liittyvät luupuutokset edustavat traumatologian vaativinta aluetta. Niiden hoito vaatii eri erikoisalojen yhteistyötä. Huolimatta hoidon keskittämisestä osalle potilaista joudutaan lopulta tekemään amputaatio.

Laajojen, yli 6 cm:n luupuutosten hoidon päävaihtoehdot ovat Masquelet'n tekniikka ja distraktio-osteogeneesiin perustuva venytys-

luudutus. Masquelet'n tekniikka on kaksivaiheinen leikkaushoito, joka perustuu luupuutoksen tilapäiseen täyttöön luusementillä (38). Käytössä on ollut myös mikrobilääkehelmiä (**KUVA 6**). Sementin ympärille muodostuu luukalvon (periosti) kaltainen hyvin verisuonitunut, osteoinduktiivinen paksu kalvo (39). Se ohjaa luupuutoksen luutumista sen jälkeen, kun luusementti on korvattu luusiirteellä 6–8 viikon kuluttua.

Masquelet'n tekniikan yhteyteen suositellaan autogeenistä RIA-luusiirrettä, jota voidaan mahdollisesti täydentää (alle 30 % tilavuudesta) synteettisillä luusiirteiden korvikkeilla (38). Niiden soveltavuudesta tarvitaan vielä satunnaistettuja tutkimuksia. Laajojen luupuutosten onnistunut hoito antaa hyvän kuvan luukudoksen luonnollisesta regeneraatiokyvystä ja hoitomahdollisuuksista (**KUVA 6**).

Lopuksi

Solislun keskikolmanneksen ja olkavarren murtumien operatiivista ylihoitoa pitää välttää, vaikka välitön leikkaushoito varmistaa lähes varmasti luutumisen. Näiden murtumien konservatiiviseen hoitoon on syytä kehittää luutumisen seurantamenetelmiä, kuten kaikukuvausdiagnoosiikkaa (2).

Leikattujen murtumien hidastunut luutuminen on monitahoinen diagnostinen ja hoidollinen haaste. Potilaat ovat yleensä työikäisiä, ja hoidossa on vältettävä toistuvia uusinta-

leikkauksia. Potilaiden hoito on syytä keskitää traumakeskuksiin. Hoidon onnistuminen vaatii usein useiden erikoisalojen yhteistyötä, mukaan lukien mikrobiologit, infektio lääkärit, plastiikkakirurgit ja sisätautilääkärit.

Hoitopolkuja on kehitettävä, koska iäkkäiden murtumapotilaiden määrä lisääntyy nopeasti. Konservatiivisesti hoidettu luutumaton murtuma voi olla toiminnallisesti hyvä ja iäkkään potilaan odotusten mukainen. Hoidon valinnan tulisi kuitenkin perustua tutkittuun tietoon, koska kliininen lopputulos ei ole aina odotuksen mukainen. ■

HANNU ARO, ortopedian ja traumatologian emeritusprofessori
Turun yliopisto ja TYKS

VASTUUTOIMITTAJA
Ville Sallinen

SIDONNAISUUDET

Hannu Aro: Apuraha (Amgen), luentopalkkio/asiantuntijapalkkio (UCB Biopharma Sprl, Amgen AB)

KIRJALLISUUTTA

- Nicholson J, Makaram N, Simpson A, ym. Fracture nonunion in long bones: a literature review of risk factors and surgical management. *Injury* 2021;52:3–11.
- Nicholson JA, Yapp LZ, Keating JF, ym. Monitoring of fracture healing. Update on current and future imaging modalities to predict union. *Injury* 2021;52:29–34.
- Zura R, Xiong Z, Einhorn T, ym. Epidemiology of fracture nonunion in 18 human bones. *JAMA Surg*, julkaistu verkossa 16.11.2016. DOI:10.1001/jamasurg.2016.2775.
- Mills LA, Aitken SA, Simpson AHRW. The risk of non-union per fracture: current myths and revised figures from a population of over 4 million adults. *Acta Orthop* 2017;88:434–9.
- Zura R, Braid-Forbes MJ, Jeray K, ym. Bone fracture nonunion rate decreases with increasing age: a prospective inception cohort study. *Bone* 2017;95:26–32.
- Mills LA, Simpson AHRW. The relative incidence of fracture non-union in the Scottish population (5.17 million): a 5-year epidemiological study. *BMJ Open*, julkaistu verkossa 8.2.2013. DOI:10.1136/bmjopen-2012-002276.
- Svedbom A, Hernlund E, Ivergård M, ym. Osteoporosis in the European Union: a compendium of country-specific reports. *Arch Osteoporos* 2013;8:59–66.
- Murray IR, Foster CJ, Eros A, ym. Risk factors for nonunion after nonoperative treatment of displaced midshaft fractures of the clavicle. *J Bone Joint Surg Am* 2013;95:1153–8.
- Neuhaus V, Menendez M, Kurylo JC, ym. Risk factors for fracture mobility six weeks after initiation of brace treatment of mid-diaphyseal humeral fractures. *J Bone Joint Surg Am* 2014;96:403–7.
- Nicholson JA, Clement ND, Clelland AD, ym. Displaced midshaft clavicle fracture union can be accurately predicted with a delayed assessment at 6 weeks following injury. *J Bone Joint Surg Am* 2020;102:557–66.
- Oliver WM, Smith TJ, Nicholson JA, ym. The Radiographic Union Score for Humeral fractures (RUSHU) predicts humeral shaft nonunion. *Bone Joint J* 2019;101-B:1300–6.
- Virtanen KJ, Malmivaara AO V, Remes VM, ym. Operative and nonoperative treatment of clavicle fractures in adults. *Acta Orthop* 2012;83:65–73.
- Rämö L, Sumrein BO, Lepola V, ym. Effect of surgery vs functional bracing on functional outcome among patients with closed displaced humeral shaft fractures. *JAMA* 2020;323:1792–801.
- Wang MT, An VVG, Sivakumar BS. Nonunion in lateral locked plating for distal femoral fractures: a systematic review. *Injury* 2019;50:1790–4.
- Bottlang M, Tsai S, Bliven EK, ym. Dynamic stabilization with active locking plates delivers faster, stronger, and more symmetric fracture-healing. *J Bone Joint Surg Am* 2016;98:466–74.
- Zura R, Mehta S, Della Rocca GJ, Steen RG. Biological risk factors for nonunion of bone fracture. *JBJS Rev* 2016;4:1.
- Oliver WM, Searle HKC, Ng ZH, ym. Factors associated with humeral shaft nonunion. *J Shoulder Elbow Surg* 2021;30:2283–95.
- Nicholson JA, Gribbin H, Clement ND, ym. Open reduction and internal fixation of clavicular fractures after a delay of three months is associated with an increased risk of complications and revision surgery. *Bone Joint J* 2019;101-B:1385–91.
- Aro H. Luunmurtumat ja luutumattomat murtumat. Kirjassa: Kröger H, Aro H, Böstman O, ym toim. Traumatologia. Helsinki: Kandidaattikustannus 2019, s. 167–90.
- Qvist AH, Væsel MT, Jensen CM, ym. Minimal pain decrease between 2 and 4 weeks after nonoperative management of a displaced midshaft clavicle fracture is associated with a high risk of symptomatic nonunion. *Clin Orthop Relat Res* 2021;479:129–38.
- Driesman AS, Fisher N, Karia R, ym. Fracture site mobility at 6 weeks after humeral shaft fracture predicts nonunion without surgery. *J Orthop Trauma* 2017;31:657–62.
- Mills L, Tsang J, Hopper G, ym. The multifactorial aetiology of fracture nonunion and the importance of searching for latent infection. *Bone Joint Res* 2016;5:512–9.
- Alm JJ, Koivu HMA, Heino TJ, ym. Circulating plastic adherent mesenchymal stem cells in aged hip fracture patients. *J Orthop Res* 2010;28:1634–42.
- Feehan J, Kassem M, Pignolo RJ, ym. Bone from blood: characteristics and clinical implications of circulating osteogenic progenitor cells. *J Bone Miner Res* 2021;36:12–23.
- Campanfeldt P, Al-Ani A, Hedström M, ym. Low BMD and high alcohol consumption predict a major re-operation in patients younger than 70 years of age with a displaced femoral neck fracture — a two-year follow up study in 120 patients. *Injury* 2018;49:2042–6.

26. Varecka TF, Myeroff C. Distal humerus fractures in the elderly population. *J Am Acad Orthop Surg* 2017;25:673–83.
27. Larsen MS, Schmal H. The enigma of atypical femoral fractures. *EFORT Open Rev* 2018;3:494–500.
28. Swiontkowski MF, Aro HT, Donell S, ym. Recombinant human bone morphogenetic protein-2 in open tibial fractures. *J Bone Joint Surg Am* 2006;88:1258–65.
29. Lyon T, Scheele W, Bhandari M, ym. Efficacy and safety of recombinant human bone morphogenetic protein-2/calcium phosphate matrix for closed tibial diaphyseal fracture. *J Bone Joint Surg Am* 2013;95:2088–96.
30. Aro HT, Govender S, Patel AD, ym. Recombinant human bone morphogenetic protein-2: a randomized trial in open tibial fractures treated with reamed nail fixation. *J Bone Joint Surg Am* 2011;93:801–8.
31. Bhandari M, Jin L, See K, ym. Does teriparatide improve femoral neck fracture healing: Results from a randomized placebo-controlled trial. *Clin Orthop Relat Res* 2016;474:1234–44.
32. Bhandari M, Schemitsch EH, Karachalios T, ym. Romosozumab in skeletally mature adults with a fresh unilateral tibial diaphyseal fracture. *J Bone Joint Surg Am* 2020;102:1416–26.
33. Schemitsch EH, Miclau T, Karachalios T, ym. A randomized, placebo-controlled study of romosozumab for the treatment of hip fractures. *J Bone Joint Surg Am* 2020;102:693–702.
34. Bishop JA, Palanca AA, Bellino MJ, ym. Assessment of compromised fracture healing. *J Am Acad Orthop Surg* 2012;20:273–82.
35. Olszewski D, Streubel PN, Stucken C, ym. Fate of patients with a “surprise” positive culture after nonunion surgery. *J Orthop Trauma* 2016;30:19–23.
36. Amorosa LF, Buiris LD, Bexkens R, ym. Single-stage treatment protocol for presumed aseptic diaphyseal nonunion. *JBJS Essent Surg Tech*, julkaistu verkossa 22.4.2015. DOI:10.2106/JBJS.ST.N.00109.
37. Higgins TF, Marchand LS. Basic science and clinical application of reamed sources for autogenous bone graft harvest. *J Am Acad Orthop Surg* 2018;26:420–8.
38. Masquelet A, Kanakaris NK, Obert L, ym. Bone repair using the masquelet technique. *J Bone Joint Surg Am* 2019;101:1024–36.
39. Aho O-M, Lehenkari P, Ristiniemi J, ym. The mechanism of action of induced membranes in bone repair. *J Bone Joint Surg Am* 2013;95:597–604.
40. Jones AL, Bucholz RW, Bosse MJ, ym. Recombinant human BMP-2 and allograft compared with autogenous bone graft for reconstruction of diaphyseal tibial fractures with cortical defects. *J Bone Joint Surg Am* 2006;88:1431–41.
41. A randomized controlled trial comparing rhBMP-2/absorbable collagen sponge versus autograft for the treatment of tibia fractures with critical size defects. Major Extremity Trauma Research Consortium (METRC). *J Orthop Trauma* 2019;33:384–91.
42. Friedlaender GE, Perry CR, Cole JD, ym. Osteogenic protein-1 (bone morphogenetic protein-7) in the treatment of tibial nonunions: a prospective, randomized clinical trial comparing rhOP-1 with fresh bone autograft. *J Bone Joint Surg Am* 2001;83:151–8.
43. Aspenberg P, Malouf J, Tarantino U, ym. Effects of teriparatide compared with risedronate on recovery after pertrochanteric hip fracture. *J Bone Joint Surg Am* 2016;98:1868–78.