

Ilkka Helenius

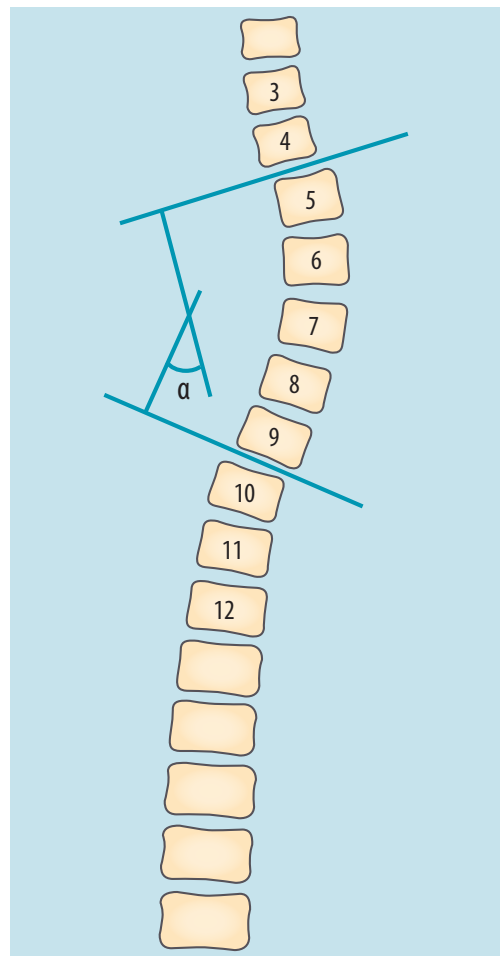
Nuoruusiän idiopaattinen skolioosi

Nuoruusiän idiopaattinen skolioosi on tavallisin hoitoa vaativa lasten selkäsairaus. Valtaosalla skolioosi todetaan kouluterveydenhuollon terveystarkastuksen yhteydessä. Skolioosin varhainen toteaminen on korsettihoidon onnistumisen edellytys. Konservatiivisen hoidon tavoitteena on estää skolioosin eteneminen, ja mikäli kasvukauden päättyessä skolioosia on alle 30 astetta, on skolioosin aiheuttama riski selän sairastavuudelle samansuuruinen kuin normaaliväestössä. Selän luudutusleikkaus pedikkeliruuvein ja tango on ensisijainen vaihtoehto yli 45 asteen skolioosin yhteydessä.

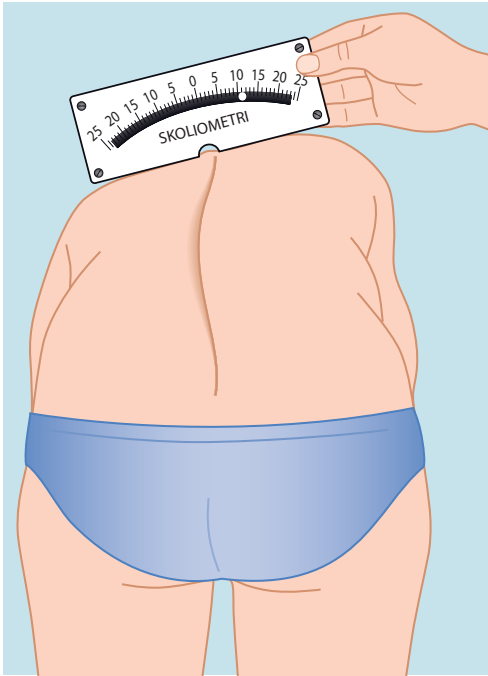
Skolioosi tarkoittaa selän vinoutumista. Sen määritelmä perustuu selän röntgenkuvaukseen, jossa yli kymmenen asteen Cobbin kulma on skolioosidiagnoosin edellytys (KUVA 1) (1–3). Määritelmän mukainen idiopaattinen skolioosi voidaan todeta noin 9 %:lla suomalaislapsista, mutta korsetti- tai leikkaushoitoa vaativan nuoruusiän idiopaattisen skolioosin esiintyvyys on vain noin 0,2 % (4).

Nuoruusiän idiopaattisella skolioosilla tarkoitetaan selän virheasentoa, joka todetaan 10–18 vuoden iässä ja johon ei liity muita sairauksia tai rakennepoikkeavuuksia. Muut idiopaattisen skolioosin muodot ovat imeväisiän (ikä diagnoosihetkellä alle kolme vuotta) ja lapsuusiän skolioosi (ikä diagnoosihetkellä vähintään kolmesta alle kymmeneen vuoteen), jotka kuuluvat varhaislapsuuden skolioosi -sairausryhmään (mikä tahansa ennen kymmentä ikävuotta todettu skolioosi) (5). Nuoruusiän idiopaattiseen skolioosin ei liity lisääntyttä kuolleisuutta toisin kuin alle kymmenvuotiaana alkaviin tautimuotoihin (6). Merkittävä keuhkotilavuuden pieneneminen liittyy kuitenkin lähes aina yli 60 asteen nuoruusiän idiopaattiseen skolioosiin (7).

Nuoruusiän idiopaattisen skolioosin etiologia on monisyinen (8). Skolioosin kehittymiseen myötävaikuttavat geneettiset tekijät, kasvuun vaikuttavat hormonaaliset ja biomekaaniset tekijät sekä sairauteen yleisesti liittyvä



KUVA 1. Skolioosin asteen määrittäminen röntgenkuvasta Cobbin kulman avulla (1–3).



KUVA 2. Skoliometri selän taivutustestissä (11).

luuntiheyden pieneneminen (osteopenia) (9). Hoitoa vaativa nuoruusiän idiopaattinen skolioosi on tytöillä kymmenen kertaa tavallisempi kuin pojilla.

Skolioosi kouluterveydenhuollossa

Valtaosa nuoruusiän idiopaattisista skolioositapauksista todetaan kouluterveydenhuollon tekemissä terveystarkastuksissa, koska lievä skolioosi on virheasentoa lukuun ottamatta oireeton. Nuoruusiän idiopaattista skolioosia tulisi seuloa viidesluokkalaisilta tytöiltä ja seitsemäsluokkalaisilta pojilta. Skolioosin varhainen diagnosointi on keskeistä paitsi korsettihoidon onnistumisen myös vaikeiden tautimuotojen ehkäisemisen kannalta. Skolioosin seulonta on lopetettu muun muassa Tanskassa. Siellä tehdyssä tuoreessa tutkimuksessa on todettu, että nuoruusiän idiopaattista skolioosia sairastavat tulevat erikoissairaanhoidon piiriin vasta kun kasvun nopea vaihe on ohitettu ja heidän selkänsä ovat aiempaan tilanteeseen verrattuna huomattavasti käyrempiä (10).

Kliininen tutkimus ja skolioosin seulonta toteutetaan avoterveydenhuollossa. Kun sko-

lioosin seulonnan raja-arvot ylittyvät, tehdään lähete erikoissairaanhoidon lastenortopedille. Skolioosin röntgenkuvaukset on sädeannoksen vuoksi perusteltua tehdä erikoissairaanhoidon ohjauksessa.

Seulontatutkimuksena käytetään Adamsin eteentaivutustestiä, jossa tutkittava kumartuu eteenpäin jalat suorana ja mahdollinen selän epäsymmetria mitataan skoliometrillä (**KUVA 2**) (11). Mahdollinen alaraajojen pituusero tulisi tasata käyttämällä esimerkiksi lyhyemmän alaraajan alle asetettuja puupalikoita. Mikäli ryhti on pois tasapainosta tai lapsi on alle kymmenvuotias, on perusteltua ottaa skolioosin röntgenkuva, kun skoliometri näyttää kuusi astetta tai enemmän. Nuoruusiän idiopaattisen skolioosin raja-arvona tämä on pienehkö. Kuuden asteen raja näyttää tuottavan jonkin verran negatiivisia tuloksia, ja siksi useimmat keskuksat käyttävät tässä sairausryhmässä skoliometrin raja-arvona vähintään seitsemää astetta.

Skolioosiröntgenkuva otetaan siten, että lapsi seisoo ja sädesuunta on takaa eteen, mikä vähentää rintoihin ja kilpirauhaseen tulevan säteilyn määrää. Uusi pyyhkäisykuvauslaite (EOS-laite) ottaa samanaikaiset pystyasentoiset skolioosin tai alaraajojen röntgenkuvat etu- ja sivusuunnissa aiempaa vähäisemmällä sädeannoksella.

Kliininen tutkimus

Skolioosipotilaan tutkimisessa huomio kiinnitetään koko tuki- ja liikuntaelimistön systemaattiseen kliiniseen tutkimukseen. Hartioiden, kainalokolmioiden ja vyötärön epäsymmetria arvioidaan lyhyesti (**KUVA 3**). Tunnustellaan okahaarakkeet, joista arvioidaan skolioosin sijainti (kaula, rinta, lanneranka). Terveen teini-ikäisen tulee pystyä kumartumaan siten, että sormien kärjet ulottuvat polviniveltason alapuolelle, ja nousemaan ylös tukeutumatta esimerkiksi käsillä reisiin. Arvioidaan potilaan tavanomainen kävely (ontuminen, Trendelenburgin oire), kävely varpailla (S1-hermojuuren toiminta) ja kantapäällä (L5-hermojuuren toiminta) sekä kyykistyminen (L3- ja L4-hermojuurten toiminta). Trendelenburgin oire tarkoittaa sitä, että lonkkaniveltä loitontavat mekanismit eivät

toimi odotetusti ja että lantio pettää tai kallistuu askeltaessa alaspäin.

Potilaan ollessa selinmakuuasennossa suoritetaan Lasèguen koe, jossa lapsen normaali tulos on yli 60 astetta, ja tutkitaan heijasteet (patella-, akilles-, Babinskin ja vatsanpeiteheijasteet). Toista jalkaa nostetaan polvinivelestä suorana ylös samalla kun toinen puoli pidetään vaakatasolla. Mikäli jokin prosessi painaa hermorakenteita, on tavallista, ettei jalkaa saada nostetuksi yli 60 asteen. On hyvä huomioida, että noin 8 %:lla idiopaattista skolioosia sairastavista suomalaislapsista todetaan myös alimman lannenikaman takakaaren höltymä (spondylolisteesi), jolloin on tyypillistä, että Lasèguen kokeen tulos jää alle 60 asteen (12).

Lievän skolioosin seuranta

Valtaosa idiopaattista skolioosia sairastavista ei tarvitse korsetti- tai leikkaushoitoa. Jäljellä oleva kasvu ja skolioosin suuruus röntgenkuvassa määrittelevät virheasennon etenemisriskin (13). Mikäli potilaan röntgenkuvassa ei kylkikohoumasta huolimatta todeta skolioosia, ei tarvita seurantaa erikoissairaanhoidossa, vaan kylkikohoumaan perustuva seuranta voidaan toteuttaa puolivuositain kasvukauden päättymiseen asti kouluterveydenhuollossa.

Skoliometrin kulma asteina ja röntgenkuvasta mitattava Cobbin kulma eivät vertaudu toisiinsa yksi yhteen. Skoliometrin kulmaa käytetään vain seulontamielessä, ja useimmat hoidon linjaukset perustuvat röntgenkuvasta mitattavaan Cobbin kulmaan. Kasvuikäinen lapsi, jolla todetaan 10–25 asteen skolioosi Cobbin kulmalla röntgenkuvassa, kutsutaan tyypillisesti 6–9 kuukauden kuluttua uuteen arvioon ja skolioosikuvaukseen (etusuunnan kuva riittää). Mikäli skolioosin suuruus on alle 30 astetta kasvukauden päättyessä (tyttöillä kaksi vuotta kuukautisten alkamisesta), voidaan skolioosiseuranta päättää.

Korsettihoito

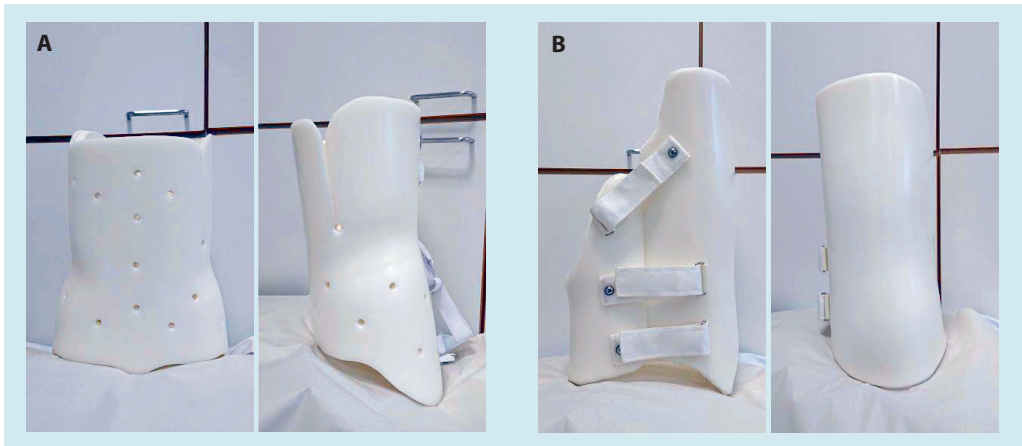
Korsettihoidon käyttöaiheena on vielä kasvavan lapsen 25–40 asteen skolioosi. Kasvua arvioidaan kuukautisten alkamisesta ja skolioosi-



KUVA 3. Skolioosin aiheuttama selän, vyötärön ja hartioiden epäsymmetria.

röntgenkuvasta näkyvistä muuttujista (lonkka- ja lantion kasvulinjat avoin tai sulkeutunut, Risserin kasvutumake). Risserin kasvutumake viittaa suoliluun harjun päällä olevaan apofyyysiin, joka ilmaantuu röntgenkuvaan suoliluun etukulman päälle siinä vaiheessa, kun kasvu alkaa hidastua (Risserin merkki, tässä vaiheessa Risserin luokka on 1). Apofyyysi kasvaa taaksepäin, ja kun se luutuu kokonaisuudessaan suoliluuun, on kasvu päättynyt (Risserin luokka 5).

Yhä enemmän käytetään myös käden röntgenkuvasta määritettävää Sandersin luokitusta, jolla on hyvä korrelaatio selän pituuskasvuun ja sitä kautta skolioosin etenemisriskiin (14). Boston-korsettihoito estää tehokkaasti sko-



KUVA 4. Boston-korsetti (A) ja Providence-yökorsetti (B).

lioosin etenemisen kasvukauden aikana (15). Kun päätemuuttujana käytetään skolioosin etenemistä hoidon aikana leikkaushoitoalueelle, on korsettihoidon NNT (number needed to treat) kolme (15).

Suomessa on käytössä kaksi yksilöllistä korsettityyppiä: Boston-korsetti, jota pyritään käyttämään 23 tuntia vuorokaudessa, ja Providence-korsetti, jota käytetään vain yöaikaan (**KUVA 4**). Erityisesti päiväaikaisen korsettihoidon onnistumisessa potilaan ja perheen motiivointi korsetin käyttöön on keskeistä, sillä Boston-korsetin käyttöajalla on suora korrelaatio skolioosin etenemisriskiin (15). Hoitomyöntyvyyttä voidaan arvioida asentamalla korsettiin lämpöanturi, jolla voidaan seurata korsetin käyttöaikaa objektiivisesti.

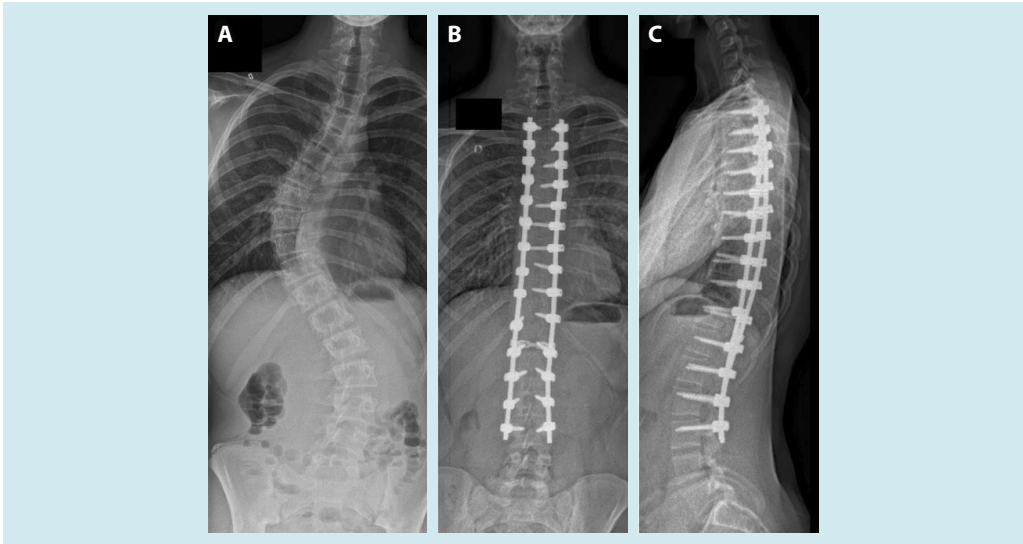
Boston-korsettia on käytetty ensisijaisesti rintarangan skolioosin hoidossa ja Providence-korsettia rinta-lannerangan rajan alapuolisten käyryyksien yhteydessä. Vahvin tieteellinen näyttö on Boston-korsetista, mutta ilmeisesti myös yökorsettihoito estää riittävästi rintarangan skolioosin etenemistä, mikäli hoitomyöntyvyydessä on ongelmia (16). Korsettihoidon aloituksen yhteydessä on tapana ottaa etusuunnan skolioosiröntgenkuva korsetissa, jolloin saadaan käsitys korsetin oikaisukyvyistä. Mikäli korsetti korjaa yli 50 % skolioosista, on hyvin todennäköistä, että korsetti estää skolioosia etenemästä leikkaushoitoa vaativaksi.

Leikkaushoito

Leikkaushoito on perusteltua, kun skolioosi etenee korsettihoidosta huolimatta yli 45 asteen suuruiseksi (srs.org). Skolioosin hoidon kansainvälinen yhdistys (SRS) perustaa 45 asteen leikkausindikaationsa sairauden luonnollista kulkua selvittäneeseen tutkimukseen, jossa todetaan, että rintarangan tai lannerangan idiopaattinen 40 asteen skolioosi jatkaa hidasta etenemistään (0,5–1 astetta vuodessa), vaikka kasvu olisikin jo päättynyt (13).

Ensisijainen leikkausmenetelmä on selän luudutusleikkaus, jossa käytetään pedikkeliruu-vitekniikkaa (17). Sillä voidaan korjata noin 70–75 % skolioosin radiologisesti arvioidusta lähtökulmasta (**KUVA 5**). Sairauteen liittyvästä kylkikohoumasta korjaantuu noin 50 % (17). Keuhkotilavuus (vitaalikapasiteetti) parantuu joitakin satoja millilitroja, ja siksi on tärkeää, etteivät skolioosi ja sen aiheuttama restriktiivinen keuhkosairaus pääse vaikeiksi (18). Vakavien komplikaatioiden ja verenvuodon määrää vähentää kahden kokeneen ortopedin leikkaustiimi, mutta laajoissa aineistoissa syvien leikkaushaavatulehdusten määrä on noin 2–3 % ja hermojuuri- tai selkäydinvaurioiden riski alle 1 % (19).

Tuoreessa suomalaistutkimuksessa osoitettiin, että 31 % nuorista, joiden skolioosin leikkaushoito on perusteltua, on kokenut kohta-



KUVA 5. Nuoruusiän idiopaattinen skolioosi ennen luudutusleikkausta (A) ja kaksi vuotta sen jälkeen (B ja C).

laista selkäkivua ennen idiopaattisen skolioosin leikkausta (20). Viiden vuoden kuluttua leikkauksesta tämä osuus oli pienentynyt 14 %:iin. Leikattujen skolioosipotilaiden elämänlaatu oli merkittävästi parempi selkävivun, käsityksen omasta itsestä ja aktiivisuusmuuttujien osalta kuin samanikäisten hoitamattomien skolioosipotilaiden ja vastaava kuin normaaliväestön, lukuun ottamatta toimintakykyä, jossa ilmenee pitkän luudutusleikkauksen aiheuttama haitta.

Luudutusleikkaus lopettaa leikkausalueelta selän pituuskasvun, ja siksi lapsille on aktiivisesti haettu parempia leikkausmenetelmiä. Lisäksi mikäli lapsella on paljon kasvua jäljellä, on olemassa myös riski skolioosin etenemiseen luudutetun alueen ulkopuolella (21). Toisaalta selän luudutusleikkaus pidentää selkärunkoa keskimäärin 25 mm (22). Pitkä selän luudutus on pysyvä tila, joka vähentää selän taipuisuutta ja kuormittaa jäljellä olevia liikkuvia välilevyjä, eikä sitä voida peruuttaa (23,24).

Selän luudutusleikkauksen vaihtoehdoksi on kehitetty selkärangan pingotusleikkaus (spinal tethering) (25). Siinä nikamien runko-osaan kiinnitetään ruuvit rintaontelon kautta tähtäystavusteisesti ja ruuvien väliin pingotetaan polyetyleenistä valmistettu punottu kaapeli (25–28). Koe-eläintutkimuksissa selkärangan

pingottaminen aiheuttaa Hueter–Volkmannin periaatteen mukaisesti (kompressio vähentää kasvua, venytys lisää kasvua) nikamien kasvulinjojen epäsymmetrisen kasvun (27). Maailman ensimmäisen, lapsuusiän skolioosia sairastavalle kahdeksanvuotiaalle pojalle tehdyn selkärangan pingotusleikkauksen tulokset raportoitiin vuonna 2010 (25).

Kirjallisuudessa on raportoitu noin sadan lapsen pingotusleikkaushoidon tulokset, joita on seurattu vähintään kaksi vuotta leikkauksen jälkeen (25–28). Tulosten perusteella valtaosalla potilaista skolioosin korjaantuminen jatkuu leikkauksen jälkeen jäljellä olevan kasvun mukaisesti, ja seurannan lopussa noin 60 % potilaista on saavuttanut hyvän tuloksen ilman uusintaleikkausta (25,26). Pingotusleikkaus soveltuu alle 10 %:lle nuoruusiän idiopaattista skolioosia sairastavista potilaista, sillä selän kasvua täytyy olla riittävästi jäljellä, jotta kasvu jaksaa korjata jäljellä olevan käyryden (26).

Pitkäaikaisennuste

Nuoruusiän idiopaattisen skolioosin konservatiivisen hoidon tavoitteena on pitää skolioosi alle 30 asteen suuruisena röntgenkuvista mitattuna. Pitkäaikaistutkimuksissa on osoitettu,

Ydinasiat

- ▶ Nuoruusiän idiopaattisen skolioosin varhainen diagnoosi perustuu viidesluokkalaisten tyttöjen ja seitsemäsluokkalaisten poikien seulontatutkimuksiin kouluterveydenhuollossa.
- ▶ Korsettihoito estää tehokkaasti skolioosin etenemistä kasvun aikana leikkaushoitoa vaativaksi.
- ▶ Korsettihoito edellyttää sairauden toteamista varhain eli silloin, kun skolioosin suuruus röntgenkuvassa on 25–40 astetta.
- ▶ Vaikeaan yli 60 asteen skolioosin liittyy lähes aina merkittävä keuhkotilavuuden pientyminen, joka palautuu hoidon avulla vain osittain.
- ▶ Idiopaattisen skolioosin leikkaushoito on aiheellista, kun kasvavan lapsen skolioosi ylittää röntgenkuvassa 45 astetta Cobbin kulmalla mitattuna.

että tämän potilasryhmän pitkäaikainen toimintakyky ja elämänlaatu vastaavat normaali-väestöä (29). Suomesta on julkaistu Sairaala Ortonissa leikattujen nuoruusiän skolioosipo-

tilaiden pitkäaikaistulokset, jotka ovat olleet useimmiten erinomaiset silloin, kun on käytetty segmentaalista selkärangan instrumentaatiota eikä leikkaushoitoon ole liittynyt vakavia komplikaatioita (30).

Mikäli potilaalla todetaan yli 35 asteen skolioosi kasvukauden päättyessä, on perusteltua järjestää kliininen ja radiologinen seuranta potilaan siirtyessä lastenortopedin hoidosta aikuisortopedille, sillä yli 40 asteen skolioosi jatkaa etenemistään kasvun päättymisen jälkeenkin (13). Kokemukseni mukaan varsinkin hoitamaton ja suurempiasteinen rinta-lannerangan skolioosi aiheuttaa yhdessä välilevyjen rappeutumisen myötä hankalia alaraajojen neurologisia oireita osalle keski-ikäisistä potilaista. Näiden taustalla on usein käyryyden huipun degeneratiivinen spondylolisteesi, joka johtaa keskeisen selkäydinkanavan ja juurikanavien ahtautumiseen.

Lopuksi

Nuoruusiän idiopaattinen skolioosi on tavallisin lasten ja nuorten selkäsairaus. Suomalaisen terveydenhuollon hyvät tulokset tämän sairausryhmän hoidossa perustuvat varhaiseen diagnostiikkaan kouluterveydenhuollossa ja niin korsetti- kuin leikkaushoidonkin keskittämiseen yliopistosairaaloihin. ■

ILKKA HELENIUS, LT, professori, lasten ortopedian ja traumatologian ylilääkäri

Tyks, lasten ja nuorten klinikka, lastenkirurgia ja ortopedia
Turun yliopisto, lastentautioppi, lastenkirurgia ja ortopedia
Ortopedian ja traumatologian dosentti
Helsingin yliopisto

VASTUUTOIMITTAJA

Pekka Lahdenne

SIDONNAISUUDET

Apuraha (Medtronic, Innosurge), luentopalkkio/asiantuntijapalkkio (Medtronic K2M Nuvasive), korvaukset koulutus- ja kongressikuluista (Medtronic, Innosurge), luottamustoimet (Suomen lastenortopedisen yhdistyksen puheenjohtaja)

SUMMARY

Adolescent idiopathic scoliosis

Adolescent idiopathic scoliosis is the most common spinal disorder during childhood. The majority of cases are picked up by the school screening system. Early diagnosis is critical for appropriate treatment and especially important for conservative treatment and prevention of restrictive lung disease. Brace treatment effectively prevents curve progression. Spinal fusion using pedicle screws is indicated if scoliosis is more than 45 degrees on radiographs.

KIRJALLISUUTTA

1. Cobb JR. Outline for the study of scoliosis. *Instr Course Lect* 1948;5:261–75.
2. Kerttula L, Schlenzka D, Tallroth K. Skolioosin kuvantaminen. *Duodecim* 2004; 120:2298–305.
3. Helenius I, Parkkila T. Varhaislapsuuden skolioosin vanhat ja uudet hoitomenetelmät. *Duodecim* 2008;124:2541–6.
4. Nissinen M, Heliövaara M, Ylikoski M, ym. Trunk asymmetry and screening for scoliosis: a longitudinal cohort study of pubertal schoolchildren. *Acta Paediatr* 1993;82:77–82.
5. El-Hawary R, Akbarnia BA. Early Onset Scoliosis – time for consensus. *Spine Deform* 2015;3:105–6.
6. Pehrsson K, Larsson S, Oden A, ym. Long-term follow-up of patients with untreated scoliosis. A study of mortality, causes of death, and symptoms. *Spine* 1992;17: 1091–6.
7. Newton PO, Faro FD, Gollogly S, ym. Results of preoperative pulmonary function testing of adolescents with idiopathic scoliosis. A study of six hundred and thirty-one patients. *J Bone Joint Surg Am* 2005;87:1937–46.
8. Kikanloo SR, Tarpada SP, Cho W. Etiology of adolescent idiopathic scoliosis. *Asian Spine J* 2019;13:519–26.
9. Sarwark JF, Castelein RM, Maqsood A, ym. The biomechanics of induction in adolescent idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg Am* 2019;101:e22.
10. Ohrt-Nissen S, Hallager DW, Henriksen JL, ym. Curve magnitude in patients referred for evaluation of adolescent idiopathic scoliosis: five years' experience from a system without school screening. *Spine Def* 2016;4:120–4.
11. Helenius I. Skolioosi ja kyfoosi. Lääkärin käsikirja. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim 2019 [päivitetty 25.9.2019]. <https://www.terveysportti.fi/apps/ltk/article/ykt01310/search/skolioosi>.
12. Schlenzka D, Ylikoski M, Poussa M, ym. Concomitant low-grade isthmic L5-spondylolisthesis does not affect the course of adolescent idiopathic scoliosis. *Eur Spine J* 2019;28:3053–65.
13. Weinstein SL, Ponseti IV. Curve progression in idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg Am* 1983;65:447–55.
14. Sanders JO, Khoury JG, Kishan S, ym. Predicting scoliosis progression from skeletal maturity: a simplified classification during adolescence. *J Bone Joint Surg Am* 2008;90:540–53.
15. Weinstein SL, Dolan LA, Wright JG, ym. Effects of bracing in adolescents with idiopathic scoliosis. *N Engl J Med* 2013;369: 1512–21.
16. Ohrt-Nissen S, Lastikka M, Andersen TB, ym. Conservative treatment of main thoracic adolescent idiopathic scoliosis: full-time or night-time bracing? *J Orthop Surg* 2019;27:1–8.
17. Mattila M, Jalanko T, Helenius I. En bloc vertebral column derotation provides spinal derotation but no additional effect on thoracic rib hump as compared with no derotation in adolescents undergoing surgery for idiopathic scoliosis with total pedicle screw instrumentation. *Spine* 2013;38:1576–83.
18. Kim YJ, Lenke LG, Bridwell KH, ym. Pulmonary function in adolescent idiopathic scoliosis relative to the surgical procedure. *J Bone Joint Surg Am* 2005;87:1534–41.
19. Bartley CE, Yaszay B, Bastrom TP, ym. Perioperative and delayed major complications following surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg Am* 2017;99:1206–12.
20. Helenius L, Diarbakerli E, Grauers A, ym. Back pain and quality of life after surgical treatment for adolescent idiopathic scoliosis at 5-year follow-up. Comparison with healthy controls and patients with untreated idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg Am* 2019;101:1460–6.
21. Oksanen H, Lastikka M, Helenius L, ym. Posterior spinal fusion extended to stable vertebra provides similar outcome in juvenile idiopathic scoliosis patients compared with adolescents with fusion to the touched vertebra. *Scand J Surg* 2019;108:83–9.
22. Spencer HT, Gold ME, Karlin LI, ym. Gain in spinal height from surgical correction. *J Bone Joint Surg Am* 2014;96:59–65.
23. Marks MC, Bastrom TP, Petcharaporn M, ym. The effect of time and fusion length on motion of the unfused lumbar segments in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine Deform* 2015;3:549–53.
24. Parsch D, Gaertner V, Brocai DR, ym. The effect of spinal fusion on the long-term outcome of idiopathic scoliosis. A case-control study. *J Bone Joint Surg Br* 2001;83:1133–6.
25. Crawford CH 3rd, Lenke LG. Growth modulation by means of anterior tethering resulting in progressive correction of juvenile idiopathic scoliosis: a case report. *J Bone Joint Surg Am* 2010;92:202–9.
26. Newton PO, Kluck DG, Saito W, ym. Anterior spinal growth tethering for skeletally immature patients with scoliosis: a retrospective look two to four years postoperatively. *J Bone Joint Surg Am* 2018;100:1691–7.
27. Newton PO, Upasani VV, Farnsworth CL, ym. Spinal growth modulation with use of a tether in an immature porcine model. *J Bone Joint Surg Am* 2008;90:2695–706.
28. Samdani AF, Ames RJ, Kimball JS, ym. Anterior vertebral body tethering for idiopathic scoliosis: two-year results. *Spine* 2014;39:1688–93.
29. Weinstein SL, Dolan LA, Spratt KF, ym. Health and function of patients with untreated idiopathic scoliosis: a 50-year natural history study. *JAMA* 2003;289:559–67.
30. Helenius I, Remes V, Yrjönen T, ym. Harrington and Cotrel-Dubouset Instrumentation in adolescent idiopathic scoliosis. Long-term functional and radiographic outcomes. *J Bone Joint Surg Am* 2003; 85:2303–9.