

ACL siirteen asemoinnin merkitys lopputulokseen: Prospektiivisen tutkimuksen 2 vuoden seuranta

Anna-Stina Moisala¹, Timo Järvelä², Arsi Harilainen³, Jerker Sandelin³, Pekka Kannus^{4,5}, Markku Järvinen^{1,5}

¹Tampereen Yliopisto; ²Hatanpään sairaala; ³Sairaala ORTON; ⁴UKK Instituutti; ⁵TAYS

Background: The effect of the graft placement on the clinical outcome of patients after arthroscopic ACL reconstruction has been studied sparsely. We examined this in patients with ACL reconstruction using a hamstring graft.

Hypothesis: The graft placement has an association with the clinical outcome of the patients.
Study Design: Prospective clinical study.

Methods: Between 1998 and 2004, 124 patients underwent an arthroscopic ACL reconstruction with a hamstring graft at the ORTON Hospital, Helsinki, Finland and were followed up prospectively. 106 of them (85 %) could be examined at the 2-year follow-up. Clinical examination included Lysholm, Tegner, and International Knee Documentation Committee (IKDC) rating scores, anterior-posterior knee laxity assessment using either the CA 4000- or the KT-2000-arthrometer and quadriceps and hamstring muscle strength assessments. The graft placement was measured from postoperative lateral radiographs using a system recommended for measuring the attachment positions of the graft in radiographs as well as a method called 'the sumscore of the graft placement'. The sumscore method takes into account both the femoral and the tibial graft placements simultaneously.

Results: The above noted radiographic sumscore was significantly smaller in knees with normal anterior-posterior knee stability in the Lachman test ($P=0.002$) and normal rotational knee stability in the pivot shift test ($P=0.01$) than in those with instability. The tibial graft placement was significantly more anterior when the Lachman test was normal rather than nearly normal (IKDC classification, $P=0.04$). The Lysholm knee score correlated with the femoral graft placement ($r = -0.20$, $P = 0.04$), so that the Lysholm score was higher (i.e. better) when the femoral graft placement was more posterior. The most optimal femoral graft placement, assessed as the placement which resulted in the best outcome in the IKDC score, was between 25 % and 29 % of length as radiographically measured from the posterior to anterior (tibial) surface of the femoral condyle along the Blumensaat's line. The optimal tibial graft placement was between 32 % and 37 % of the length as radiographically measured from the anterior to posterior corner of the tibial plateau, and the optimal sumscore was between 61 and 66.

Conclusions: The radiographic sumscore and its components (the femoral and tibial graft placements) showed a clear association with the clinical outcome of the patients. The best outcome was achieved when the sumscore was small; that is the graft placement showed posterior enough in the femur, and anterior enough in the tibia.

Johdanto

Siirteen asemointi sekä tibian että femurin porakanavien suhteen on luonnollisesti ensiarvoisen tärkeä asia hyvän lopputuloksen kannalta ja ne tulisi sijoittaa eturistisiteen anatomisiin kiinnittymispaikkoihin (1–4). Jos femurin puoleinen porakanava ei ole oikeassa paikassa on seurauksena puutteellinen fleksio polvessa tai siirteen venyminen siihen kohdistuvien liiallisten vetovoimien johdosta (2,3,5–8). Sääriluun puoleisen kiinnityksen sijoittaminen liian eteen aiheuttaa "impingement"-tilanteen ja johtaa ennen pitkää siirteen vaurioitumiseen (7). Toisaalta liian taakse viety siirre jättää polven löysäksi (5).

Siirteen aseman määrittämiseen on useita menetelmiä (1,9–11). Tavallisesti käytetään röntgensivuprojektiota, josta mittaukset tehdään, mutta myös AP-kuvasta voidaan siirteen sijaintia horisontaalitasossa mitata. Ainoastaan kahdessa prospektiivisessä tutkimuksessa on selvitetty siirteen asemoinnin vaikutusta lopputulokseen (6,10). Olemme kehittäneet menetelmän ("sumscore"), joka ottaa huomioon samalla sekä femurin että tibian porakanavien sijainnin antaen käsityksen kokonaistilanteesta (12).

Tämän prospektiivisen tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää siirteen asemoinnin merkitys lopputulokseen käyttämällä "sumscore"-menetelmää.

Aineisto ja menetelmät

Potilaat

Vuosina 1998–2004 tehtiin sairaala ORTONissa eturistisiteen korjaus 124:lle potilaalle (45 naista ja 79 miestä, keski-ikä 32 vuotta) käyttämällä koukistajajännteistä kehitettyä siirrettä. Potilaat olivat prospektiivisessä tutkimusryhmässä. 106 (85 %) potilasta saatiin jälkitarkastukseen 2 vuotta toimenpiteen jälkeen. Lopulliseen analyysiin jäi 104 potilasta, koska kaksi polvea oli käynyt täysin löysäksi ("failures"), toinen uuden vamman vuoksi ja toinen tuntemattomasta syystä.

Eturistisiteen repeämän korjauksen yhteydessä tehtiin sisempään kierukkaan 31:lle potilaalle osittainen ja kuudelle täydellinen resektio ja kaksi kierukkaa kiinnitettiin takaisin paikalleen.

Ulompaan kierukkaan tehtiin 16:ssa tapauksessa osittainen ja kahdessa täydellinen kierukan poisto sekä kaksi kierukkaa kiinnitettiin.

Leikkaustekniikka

Käytettiin artroskopia-avusteista kahden viillon tekniikkaa (Out-In). Femurin porakanava tehtiin erillisestä avauksesta lateraalisesti käyttämällä "rear-entry"-ohjainta oikeassa polvessa klo 11 ja vasemmassa klo 13 asemaan mahdollisimman posteriorisesti. Sääriluun porakanava tehtiin eturistisiteen anatomiseen kiinnitysmiskohtaan käyttämällä ohjainta. Tarvittaessa tehtiin interkondylaarisen välitilan avarrus ("notch-plastia"). Semitendinosus- ja gracilis-jännteistä kehitettiin nelinkertainen siirre, joka vietiin tibian porakanavasta niveleen ja edelleen femurin porakanavaan. Kiinnitys tapahtui femurin ("outside-in") ja tibian porakanavaan joko metallisilla tai biohajoavilla interferenssiruuveilla. Tibian puolella käytettiin myös Intrafix-kiinnintä (Innovasive Devices Inc., Marlborough, Massachusetts, USA). Porakanavan läpimitta oli sama kuin jännesiirteen paksuus.

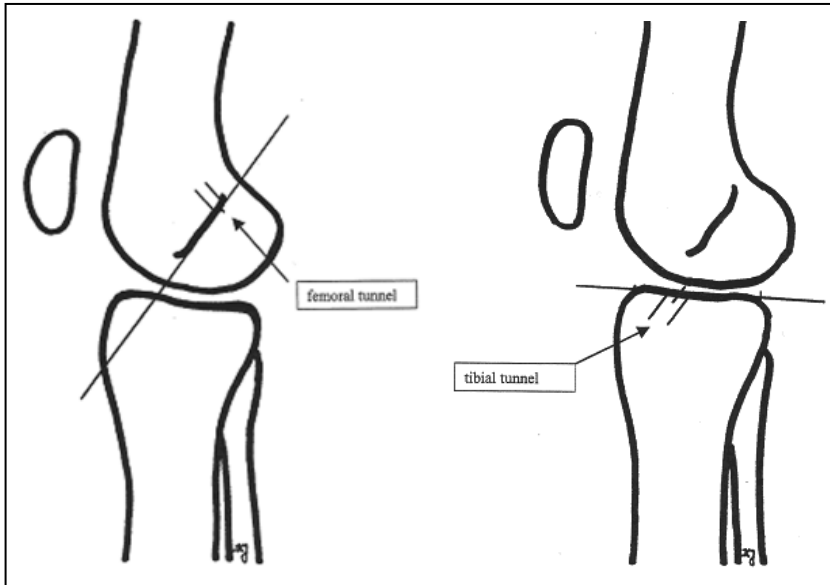
Kuntoutus

Polven liikeharjoittelu sallittiin välittömästi ilman rajoituksia. Osavaraus ja kyynärsauvat olivat ohjeena 2 viikon ajan ja sen jälkeen oli lupa täyteen varaamiseen. Kuntoutusortooseja ei käytetty. Suljetun ketjun periaatteita sovellettiin lihasvoimien palauttamiseksi. Juoksu sallittiin 3 kuukauden kuluttua ja kontaktiurheilut 6 kuukauden kuluttua.

Seuranta

Subjekttiivisen arvion saamiseksi käytettiin Lysholmin (13) polvipisteytystä (vaihteluväli 0–100). Potilaitten liikunnan aktiiviuusaste määritettiin sekä ennen eturistisiteen rekonstruktioleikkausta että seuranta-tutkimuksessa Tegnerin mukaan (14) (vaihteluväli 0–10). Kliinisessä tutkimuksessa Lachmanin testi jaoteltiin negatiiviseksi (-, puoliero < 3 mm, IKDC luokitus normaali), lievästi positiiviseksi (+, puoliero 3–5 mm, IKDC luokitus lähes normaali) sekä selvästi positiiviseksi (++, puoliero > 5 mm, IKDC luokitus epänormaali). Vastaavasti pivot shift testin luokitus oli negatiivinen (-, IKDC luokitus normaali), liukuva (+, IKDC luokitus lähes normaali) tai selvästi positiivinen (++, IKDC luokitus epänormaali).

Kliinisen tutkimuksen (AH ja JS) perusteella muodostettiin IKDC (International Knee Documentation Committee) luokitus. Fysioterapeutti teki polven väljyysmittaukset joko KT-2000-laitteistolla 30 asteen fleksiokulmassa (manual maximal force) tai CA-4000-laitteistolla (OSI, Hayward, Ca., USA) käyttämällä 178 N voimaa. Alaraajan lihasten ojennus- ja kou-



Kuva 1 (vas.). Siirteen asemoinnin mittaustapa reisiluun puolella.

Kuva 2 (oik.). Siirteen asemoinnin mittaustapa sääriluun puolella.

Kuva 3 (alla). "Sumscore" 61 siirteen hyvän asemoinnin jälkeen.



seen (1). Porakanavan laajuus mitattiin lähinnä nivelpintaa ja sen keskikohta merkittiin (siirteen sijainti). Femurin porakanavan sijainti määritettiin femurkondyylin takareunasta Blumensaatin linjalla ja sitä verrattiin koko femurkondyylin pituuteen lateraalisessa röntgenkuvassa (kuva 1). Porakanavan positio ilmaistiin prosenttiosuutena laskettuna takaa eteen. Tibian porakanavan määrittämiseen käytettiin sen keskikohdan etäisyyttä tibian nivelpinnan etuosasta ja sen sijainti ilmaistiin prosenttiosuutena koko nivelpinnan mitasta (kuva 2). Mittauksissa ei tarvita röntgenkuvan suurennuksen korjausta, koska käytetään prosenttiosuuksia.

Jotta femurin ja tibian porakanavien asemointia voitaisiin arvioida samanaikaisesti niiden sijainnin prosenttiosuudet laskettiin yhteen. Tämän luvun nimeksi on annettu "sumscore" kuvaamaan siirteen sijaintia (12). Aikaisemman tutkimuksemme johtopäätös oli, että mitä pienemmän arvon "sumscore" saa sitä horisontaalisempi ja biomekaanisesti optimaalisempi siirteen asema polvessa on (12). **Kuvassa 3** on esimerkiksi hyvästä siirteen asemoinnista, "sumscore" on 61.

kistusvoimat mitattiin isokineettisesti sekä 60°/s että 180°/s kulmanopeuksilla. Seurantatutkimuksessa otetut röntgenkuvat analysoi tutkija (ASM), joka ei ollut potilaitten hoidosta vastuussa.

Siirteen sijainnin mittaaminen

Porakanavien sijainnin mittaustapa on kuvattu aikaisemmin (12) ja se sisältyy myös ESSKA:n suosituks-

Tilastomenetelmät

Kruskal-Wallis ja Mann-Whitney U -testejä käytettiin jatkuvien muuttujien analysointiin. Luokittelu-
muuttujien kyseessä ollen käytettiin X²-testiä ja kun selvitettiin "sumscoren" ja sen komponenttien yhteyttä Lysholmin polvipisteetykseen käytettiin Spearman rank -testiä. Tilastollisesti merkitseväksi eroksi päätettiin P < 0.05.

Tulokset

Eturistisiteen rekonstruktioita edeltävät ja 2 vuoden seurantatutkimuksen IKDC luokitukset, Lysholmin polvipisteytykset ja Tegnerin aktiivisuusluvut on esitetty taulukossa 1. Kahden vuoden jälkitarkastuksessa Lysholmin pisteytys oli keskimäärin 92 (SD 10). Femurin porakanavan sijainti ja Lysholmin pisteluku 2 vuoden kohdalla korreloivat keskenään ($r = -0.20$, $P = 0.04$) niin, että mitä suurempi oli pisteluku niin sitä taaempaan porakanava sijaitti. Kaikkiaan 28 potilaalla oli Lysholm pisteluku 100 ja heidän siirteen femurin puoleinen sijainti oli alle 36%.

Tilastollista eroa ei todettu eri IKDC-luokitusten ja "sumscoren" tai sen osien suhteen (taulukko 2), mutta suuntaus oli pienempään "sumscore"-arvoon IKDC-luokissa normaali tai lähes normaali. Samanlainen suuntaus oli erikseen femurin ja tibian porakanavan asemalla ja IKDC-luokituksella. Kaksi vuotta postoperatiivisesti 82 % potilaista olivat IKDC-luokissa normaali (A) tai lähes normaali (B). Jos tibian porakanavan sijainti oli välillä 32–37 % niin 23/25:ssä (92 %) tapauksista oli A- tai B-luokissa. Vastaa- vat luvut femurin porakanavan osalta olivat 26/27 (96 %), jos se sijoittui 25–29 %:n välille. Jos "sumscore" sai arvon 61–66 % niin 25/28 potilaista (89 %) oli IKDC-luokissa A tai B.

Polven ollessa stabiili Lachman-testin mukaan olivat sekä "sumscore" ($P=0.002$) että tibian porakanavan sijainti ($P=0.04$) pienemmät kuin jos todettiin lievä tai selvä löysyys (taulukko 3). "Sumscore" oli myös pienempi jos todettiin stabiili polvi pivot shift testissä kuin jos siinä oli lievä löysyys ($P=0.01$) (taulukko 4).

Koko aineistossa 50 potilaan "sumscore" oli 66 tai vähemmän ja heistä 39 (78 %) oli stabiileja Lachman-testissä, 9 (18 %) oli lievästi löysiä ja kahdella (4 %) oli selvä löysyys. 56 potilaan "sumscore" oli yli 66 ja heistä 29 (52 %) oli Lachman-testissä stabiileja, 25 (45 %) oli lievästi löysiä, ja 2 (4 %) oli selvästi löysiä. Kun "sumscore" oli välillä 61–66 ($N=29$), 19 oli (66 %) stabiileja, 8 (28 %) oli lievästi löysiä ja 2 selvästi löysiä.

29:ssä tapauksessa femurin porakanavan sijainti oli 25–29 % ja heistä 21 (72 %) oli stabiileja Lachman-testissä, 6 (21 %) oli lievästi löysiä ja 2 (7 %) selvästi löysiä. Jos siirteen femurin puolen kiinnitys oli alle 25 %, niin 19 polvea (70 %) oli stabiileja Lachman-testin mukaan, 7 (26 %) oli lievästi löysiä ja yksi (4 %) oli selvästi löysä. Porakanavan sijainnin ollessa yli 29 % ($N=50$), 28 (56 %) polvea oli stabiileja, 21 (42 %) lievästi löysiä ja yksi (2 %) selvästi löysä.

lievästi löysiä ja yksi (2 %) selvästi löysä.

Koko aineistossa tibian porakanavan sijainti oli yli 37 % 60:ssä polvessa ja niistä 34 (57 %) olivat stabiileja Lachman-testissä, 23 (38 %) oli lievästi löysiä ja kolme (5 %) selvästi löysiä. Sääriluun puoleinen kiinnitys oli 37 % tai alle 46:lla potilaalla ja 34 (74 %) olivat stabiileja Lachman-testissä, 11 (24 %) oli lievästi löysiä ja yksi (2 %) selvästi löysä. Porakanavan sijainnin ollessa 32–37 % ($N=25$) 18 (72 %) oli stabiileja Lachman-testissä, 6 (24 %) oli lievästi löysiä ja yksi (4 %) selvästi löysä.

"Sumscore" tai sen osat eivät korreloineet polven liikelaajuuden, isokineettisten lihasvoimien tai laksi-teettimittauksissa todetun puolieron kanssa.

Pohdinta

Tässä prospektiivisessä seurantatutkimuksessa selvitettiin polven eturistisidesiirteen asemointia "sumscore"-menetelmällä määritettynä erilaisilla kliinisen tutkimuksen mittareilla todettuun lopputulokseen 2 vuotta postoperatiivisesti.

"Sumscore" oli tilastollisesti merkittävästi pienempi kun sekä Lachman- että pivot shift -testeissä polvet todettiin stabiileiksi. Myös tibian porakanavan osalta todettiin sama asia Lachman-testin suhteen. Femurin posteriorinen sijainti korreloi hyvään Lysholm-pisteytykseen. "Sumscore" oli pienempi hyvän lopputuloksen IKDC-luokituksissa ja sama suuntaus oli myös sen osien suhteen: mitä taaempaan oli femurin porakanava tai mitä edempänä tibian porakanava, sen parempi oli IKDC-luokitus. Paras tulos saavutettiin kun "sumscore" oli välillä 61–66 %, ja asemointi femurissa 25–29 % ja tibiassa 32–37 %. Aikaisemmassakin tutkimuksemme "sumscore" korreloi Lysholmin pisteytyksen kanssa niin, että mitä pienempi oli "sumscore" niin sitä parempi oli Lysholmin pistearvo (12).

Ristisidesiirteen asemoinnin vaikutuksesta lopputulokseen on raportoitu aikaisemmin (6,10). On todettu, että paras sijainti femurin porakanavalle on eturistisiteen anatominen kiinnittymiskohta. Sommerin ym. (8) retrospektiivisen tutkimuksen mukaan siirteen femurin puolen kiinnittymiskohdan ja kliinisen tuloksen välillä oli korrelaatio: IKDC-luokitus heikkeni mitä anteriorisemmin porakanava oli eturistisiteen isometrisimpään säiekimppuun nähden. Kahden vuoden seurannan jälkeen oli todettu suurempi väljyys polvissa, joissa femurin puoleinen kiinnittymiskohta oli 2 mm edempänä ristisiteen anatomiseen sijaintiin nähden (6). Khalfayan ym (10) totesivat parhaan lopputu-

Taulukko 1. IKDC luokittelun, Lysholmin polvipisteytyksen ja Tegnerin aktiiviuslukujen preoperatiiviset ja 2 vuoden seurannan arvot. Keskiarvo (SD).

		Preoperatiivinen (N=87)	2-vuotta post. oper. (N=104)
IKDC	A	0	23
	B	1	62
	C	46	18
	D	40	1
Lysholm		70 (18)	92 (10)
Tegner		3 (2)	6 (2)

Taulukko 2. Keskimääräiset siirteen sijainnit eri IKDC-luokissa 2 vuotta postoperatiivisesti.

		IKDC-luokka				
		A (N=23)	B (N=62)	C (N=18)	D (N=1)	merkitsevyys
Siirteen sijainti	"sumscore"	65	67	71	69	NS
	Femurin sijainti	28	29	30	33	NS
	Tibian sijainti	37	38	41	36	NS

A = Normaali

B = Lähes normaali

C = Epänormaali

D = Selvästi epänormaali

NS = Non significant

Taulukko 3. Siirteen sijainti ja Lachman-testi 2 vuotta postoperatiivisesti. Mean (SD).

Lachman-testi				
	- (N=68)	+ (N=34)	++ (N=2)	merkitsevyys
"sumscore"	65 (7)	71 (6)	68 (4)	P=0.002
Femurin sijainti	29 (6)	30 (6)	31 (9)	NS
Tibian sijainti	37 (6)	41 (7)	37 (6)	P=0.04

NS = Non significant

Taulukko 4. Siirteen sijainti ja pivot shift -testi. Keskiarvo (SD).

Pivot shift -testi				
	- (N=84)	+ (N=18)	++ (N=2)	merkitsevyys
"sumscore"	66 (7)	72 (7)	68 (4)	P=0.01
Femurin sijainti	29 (6)	31 (5)	31 (9)	NS
Tibian sijainti	38 (7)	41 (7)	37 (6)	NS

NS = Non significant

loksen KT-1000-väljyysmittauksessa ja Lysholmin pisteytyksessä kun femurin kiinnittymiskohta oli alle 40 % ja tibian vähintään 20 %. Polven väljyys ja siirteen pettäminen ovat olleet tavallisempia kun femurkiinnitys on ollut "etupainotteinen" (6,15). Markolfin ym. (16) mukaan 5 mm:n poikkeama anatomisesta kiinnittymiskohdasta lisäsi laksiteettia 1,7 mm 10 asteen fleksiassa lisääntyen 4,2 mm:iin 90 asteen fleksiassa.

Aineistossamme ei polven väljyyteen (KT 2000- ja CA 4000 -mittaukset) ollut vaikutusta vaikka siirre ei ollutkaan täysin anatomisessa paikassa femuriin nähden (25 %:ssa porakanava oli > 33 %). Sen sijaan "sumscoressa" tuli eroja polven stabiiliuden suhteen sekä Lachman- että pivot shift -testeissä. Toisaalta femurin puolen asemoinnilla näyttää olevan vaikutusta toiminnalliseen tilaan, koska sillä oli korrelaatio Lysholmin pisteytykseen. Mikäli femurkanavan positio oli 36 % anteriorisempi ei yksikään tutkittavista saanut maksimipisteitä (100) Lysholmin mukaan.

Tibian porakanavan sijoittamiseen on kiinnitetty vähemmän huomiota kuin femurin puolella ja sen vaikutusta lopputulokseen on tutkittu niukasti. Sääriluun porakanava pitäisi sijoittaa riittävän taakse, jotta vältyttäisiin siirteen törmäämiseltä interkondylaarisen välitilan kattoon, välttäen kuitenkin liian taakse viemistä, jotta siirre säilyttää funktionsa polven stabiloinnissa (2). Tästä aiheesta ei ole olemassa prospektiivisiä tutkimuksia, mutta Howellin ja Clarkin (17) mukaan polven stabiilius ja ojennuskulma olivat paremmat jos siirre sijoitettiin 2–3 mm anatomisesta paikasta taaksepäin. Tutkimuksemme mukaan siirre on optimaalisessa positiossa kun se ei ylitä 37 % mitattuna nivelpinnan etuosasta.

Tutkimuksemme oli prospektiivinen, jossa seuranta tutkimuksen kliinisen osan tehneet (AH ja JS) eivät olleet tietoisia "sumscore"-laskelman tehneen tutkijan (ASM) tuloksista. Sääri- ja reisiluun kiinnityskohtien lisäksi saatiin "sumscore"-menetelmällä käsitys siirteen kokonaisuasemoinnista polven sisällä. "Sumscore" on kehitetty yhden säiekimpun sijainnin määrittämiseen koska se on ollut käytetyin rekonstruktio menetelmä (18), joten se ei sellaisenaan sovellu uudemmalla "double-bundle" -menetelmällä (19) tehtyjen toimenpiteiden seurantaan.

Tutkimustuloksia rajoittaa se, että siirteen sijaintia medio-lateraalisuunnassa ei oltu mitattu ja toisaalta mittaukset teki vain yksi tutkija, joten mahdollista "interobserver"-virhettä ei voida ilmoittaa. Toisaalta tämän mittaustavan virhemahdollisuus oli vähäisempi verrattuna kahteen muuhun menetelmään (11). Mit-

taustapa on aikaisemmassa työssämme validoitu (12) ja se sisältyy ESSKAN suositukseen mittaamenetelmäksi (1).

Liian anteriorinen siirteen femurin puolen kiinnitys rajoittaa polven fleksiota kun taas sen asennus liian taakse aikaansaa kiristystä ojennuksessa sekä löystymistä koukistaessa tehden polven väljäksi. Sääriluun puoleisen kiinnittymiskohdan vieminen liian taakse lisää myös väljyyttä (2,3,5,6). Tämän tutkimuksen tulokset tukevat näitä johtopäätöksiä. Siirteen sijainnin "sumscore" oli pieni kun tibian puolen kiinnitys oli edessä ja femurin takana. Voitiin osoittaa yhteys kliiniseen lopputulokseen, joka oli parempi, jos "sumscore" oli pieni (66 tai pienempi). Tutkimuksen tulos tukee aikaisempaa (12) käsitystämme siitä, että pieni "sumscore"-arvo viittaa horisontaaliseen siirteen sijaintiin, johon nykykäsityksen mukaan yhä enemmän pitäisi pyrkiä. Käyttämässämme kahden viillon tekniikassa se on mahdollista toisin kuin esimerkiksi transtibiaalisella tekniikalla femurin porakanavaa tehtäessä.

Yhteenvedon voidaan sanoa, että radiologiseen siirteen sijainnin mittaamiseen kehitetyllä "sumscorella" ja sen osatekijöillä oli yhteys kliiniseen lopputulokseen polven eturistisiteen rekonstruktion jälkeen. Paras tulos saavutettiin kun "sumscore"-arvo oli pieni merkiten riittävän taakse vietyä femurin porakanavaa ja liian taakse tehdyn tibian porakanavan välttämistä.

Kirjallisuus:

1. Amis AA, Beynon B, Blankevoort L, Chambat P, Christel P, Durselen L, et al.: Proceedings of the ESSKA scientific workshop on reconstruction of the anterior and posterior cruciate ligaments. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1994;2:124-132.
2. Beynon BD, Johnson RJ, Abate JA, Fleming BC, Nichols CE: Treatment of anterior cruciate ligament injuries, part 2. *Am J Sports Med* 2005;33:1751-1767.
3. Fu FH, Bennett CH, Ma CB, Menetrey J, Lattermann C: Current trends in anterior cruciate ligament reconstruction. Part II. Operative procedures and clinical correlations. *Am J Sports Med* 2000;28:124-30.
4. Zavras TD, Race A, Bull AM, Amis AA: A comparative study of 'isometric' points for anterior cruciate ligament graft attachment. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2001;9:28-33.
5. Amis AA, Zavras T: Isometricity and graft placement during anterior cruciate ligament reconstruction. *The Knee* 1995;2:5-17.
6. Good LOM, Gillquist J: Sagittal knee stability after anterior cruciate ligament reconstruction with a patellar tendon strip. A two-year follow-up study. *Am J Sports Med* 1994;22:518-523.
7. Howell SM, Taylor MA: Failure of reconstruction of the ante-

rior cruciate ligament due to impingement by the intercondylar roof. *J Bone Joint Surg* 1993;75-A:1044-1055.

8. Sommer C, Friederich NF, Müller W: Improperly placed anterior cruciate ligament grafts: correlation between radiological parameters and clinical results. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2000;8:207-213.

9. Bernard M HP, Hornung H, Cierpinski T: Femoral insertion of the ACL. Radiographic quadrant method. *Am J Knee Surg* 1997;10:14-21.

10. Khalfayan EE, Sharkey PF, Alexander AH, Bruckner JD, Bynum EB: The relationship between tunnel placement and clinical results after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 1996;24:335-341.

11. Klos TV, Harman MK, Habets RJ, Devilee RJ, Banks SA: Locating femoral graft placement from lateral radiographs in anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison of 3 methods of measuring radiographic images. *Arthroscopy* 2000;16:499-504.

12. Järvelä T, Paakkala T, Järvelä K, Kannus P, Järvinen M: Graft placement after the anterior cruciate ligament reconstruction: a new method to evaluate the femoral and tibial placements of the graft. *Knee* 2001;8:219-227.

13. Lysholm J, Gillquist J: Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. *Am J Sports Med* 1982;10:150-154.

14. Tegner Y, Lysholm J: Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop Rel Res* 1985;198:43-49.

15. Aglietti PBR, D'Andria S, Zaccherotti, G.: Long-term study of anterior cruciate ligament reconstruction for chronic instability using the central one-third patellar tendon and a lateral extraarticular tenodesis. *Am J Sports Med* 1992;20:38-45.

16. Markolf KL, Hame S, Hunter DM, Oakes DA, Zoric B, Gause P: Effects of femoral tunnel placement on knee laxity and forces in an anterior cruciate ligament graft. *J Orthop Res* 2002;20:1016-1024.

17. Howell SM, Clark JA: Tibial tunnel placement in anterior cruciate ligament reconstructions and graft impingement. *Clin Orthop Rel Res* 1992;283:187-195.

18. Beynon BD, Johnson RJ, Abate JA, Fleming BC, Nichols CE: Treatment of anterior cruciate ligament injuries, part I. *Am J Sports Med* 2005;33:1579-1602.

19. Gabriel MT, Wong EK, Woo SL, Yagi M, Debski RE: Distribution of in situ forces in the anterior cruciate ligament in response to rotatory loads. *J Orthop Res* 2004;22:85-89.