

TÄMÄ ON HYVÄKSYTTY KÄSIKIRJOITUS JOKA ON JULKAISTU LEHDESSÄ. KÄSIKIRJOITUS VOI POIKETA ESIM. ULKOASULTAAN KUSTANTAJAN VERSIOSTA: VIITTAÄ ALKUPERÄISEEN JULKAISUUN.

TEKIJÄT Venäläinen Mikko, Panula Valtteri, Klén Riku, Haapakoski Jaason, Eskelinen Antti, Manninen Mikko, Kettunen Jukka, Puhto Ari-Pekka, Vasara Anna, Mäkelä Keijo, Elo Laura

OTSIKKO Riskilaskurimallit tyypillisimmille lyhyen aikavälin komplikaatioille sekä kuolemalle ensivaiheen lonkan kokotekonivelleikkauksen jälkeen perustuen Suomen Endoproteesirekisterin tietokantaan

VUOSI 2021, 44(1).

VERSIO Hyväksytty käsikirjoitus

JULKAISSUT LEHTI Suomen ortopedia ja traumatologia.
ISSN 0780-671X

Riskilaskurimallit tyypillisimmille lyhyen aikavälin komplikaatioille sekä kuolemalle ensivaiheen lonkan kokotekonivelleikkauksen jälkeen perustuen Suomen Endoproteesirekisterin tietokantaan

Mikko Venäläinen^{a,*}; Valtteri Panula^{b,*}; Riku Klén^a; Jaason Haapakoski^c; Antti Eskelinen^d; Mikko Manninen^e; Jukka Kettunen^f; Ari-Pekka Puhto^g; Anna Vasara^h; Keijo Mäkelä^b; Laura Elo^{a,i}

^a Turun biotiedekeskus, Turun yliopisto ja Åbo Akademi

^b Turun yliopistollinen keskussairaala, ortopedian ja traumatologian klinikka, Turun yliopisto

^c Terveyden ja hyvinvoinnin laitos

^d Tekonivelsairaala Coxa, Tampere

^e Sairaala Orton, Helsinki

^f Kuopion yliopistollinen keskussairaala, ortopedian ja traumatologian klinikka

^g Oulun yliopistollinen keskussairaala, ortopedian ja traumatologian klinikka, operatiivinen vastuualue

^h Helsingin yliopistollinen keskussairaala

ⁱ Biolääketieteen laitos, Turun yliopisto

*Kyseiset henkilöt ovat osallistuneet työntekoon yhdenvertaisesti

Abstract

The number of performed total hip arthroplasties (THAs) has been increasing. This has also led to increased number of complications following THA which can lead to substantial individual suffering and healthcare costs. Total of 25,919 primary THAs were included to our analyses which were performed in Finland between May 2014 and January 2018. The multivariable Lasso regression model was used to analyze possible predictors for the most frequent adverse outcomes based on the data of randomly selected training cohort (N=17,279; 2/3 of the data). Independent test cohort (N=8,640 primary THAs; 1/3 of the data) was used to validate the performances of all the developed models. Periprosthetic joint infection (1.1%), dislocation (0.7%), or periprosthetic fracture (0.5%), and death (0.7%) were the most common outcomes for revision operation within six months after the primary THA. Among the 17 available risk factors, the Lasso regression modeling identified subset of variables required for accurately predicting each outcome. In terms of areas under the receiver operating characteristic curve (AUROC), the discrimination performances in the test cohort were 0.84 for death, 0.68 for periprosthetic joint infection, 0.65 for periprosthetic fracture and 0.64 for dislocation. We developed successfully risk prediction models to assess the risk of revision for the most frequent complications and death within six months after the primary THA.

Johdanto

Lonkan kokotekonivelleikkausten määrät ovat kasvaneet merkittävästi viimeisen kahden vuosikymmenen aikana (1,2). Siitä huolimatta, että toimenpiteen lopputulos sekä sen jälkeiset potilaiden ilmoittamat tyytyväisyystulokset ovat olleet hyviä, osa lonkan tekonivelleikkauksista johtaa epäsuotuisaan komplikaatioon lyhyellä aikavälillä ensitoimenpiteestä. Näihin komplikaatioihin kuuluvat bakteeri-infektio, periproteettinen murtuma, sijoiltaanmeno ja proteesikomponenttien kiinnittymättömyys. (3–6) Lonkan tekonivelleikkauksiin liittyy myös kuolleisuutta. Uusintaleikkaus on yleensä vaikeampi kuin ensileikkaus, eikä uusinnan lopputulos ole aina paras mahdollinen. Uusintatoimenpiteeseen liittyvät kustannukset ovat myös suurempia verrattuna ensivaiheen leikkaukseen (3,7). Lonkan tekonivelleikkausten määrän kasvaessa merkittävästi jo pienikin määrä komplikaatioita koskettaa yhä useampaa potilasta. Komplikaatioista aiheutuu potilaille ylimääräistä kärsimystä ja ne nostavat myös terveydenhuollon kustannuksia.

Jotta komplikaatioiden vaikutukset saadaan minimoitua, tulee niihin johtavat riskit ymmärtää ja huomioida hoidossa mahdollisimman hyvin. Vaikka on tunnistettu useita lonkan tekonivelleikkauksen jälkeisiin komplikaatioihin johtavia riskitekijöitä, ne eivät välttämättä kerro suoraan yksittäisen potilaan komplikaatoriskiä. Riskilaskureiden avulla voidaan arvioida komplikaatoriskiä ja eri riskitekijöiden kumulatiivista vaikutusta potilaskohtaisesti. Muutamia riskilaskureita on jo kehitetty, mutta niissä ei tyypillisesti ole otettu huomioon leikkaus- ja implanttikohtaisia muuttujia, joka mahdollistaisi hoidon optimoinnin kullekin potilaalle ja helpottaisi leikkauksen jälkeisten komplikaatioiden minimoimisessa. (8–10) Aiempien riskilaskurien kehittämisessä on nojattu tyypillisesti myös perinteisempiin mallinnusmenetelmiin, joiden ennustustarkkuutta voitaisiin parantaa koneoppimisen avulla erityisesti silloin kun päätetapahtumia on vähän (11).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli kehittää koneoppimisen avulla helposti käytettävät riskilaskurit tyypillisimmille lyhyen aikavälin komplikaatioille ensivaiheen lonkan kokotekonivelleikkauksen jälkeen. Näiden kehitettyjen riskilaskureiden tarkoituksena on helpottaa ortopedejä tunnistamaan korkean riskin potilaita aikaisemmassa vaiheessa hoitoa. Siten riskilaskureiden avulla voidaan mahdollisesti vähentää tulevaisuudessa uusintaleikkausten määrää sekä terveydenhuollon kustannuksia. Kehittämiämme riskilaskureita on mahdollista hyödyntää kaikissa suurissa integroiduissa terveydenhuollon yksiköissä myös Suomen ulkopuolella.

Aineisto ja menetelmät

Tutkimusaineistomme sisälsi Suomen Endoproteesirekisteristä saadut potilas- ja leikkauskohtaiset tiedot lonkan ensivaiheen tekonivel- ja uusintaleikkauksista vuosilta 2014–2018. Tutkimuksen seuranta-aika oli vähintään kuusi kuukautta ensileikkauksesta. Päätetapahtumana oli ensimmäinen uusintaleikkaus mistä tahansa syystä tai potilaan kuolema ensimmäisten kuuden kuukauden kuluessa toimenpiteestä. Mikäli potilaalta oli leikattu molemmat lonkat, tutkimukseen sisällytettiin vain ensimmäinen leikkaus. Nämä edellä

mainitut kriteerit täyttäviä lonkan ensivaiheen kokotekonivelleikkauksia sisältyi materiaaleihin 25 919 kappaletta. Kriteerit täyttäneet lonkan ensivaiheen kokotekonivelleikkaukset jaettiin riskilaskurimallien kehittämistä varten satunnaisesti koulutusmateriaaliin (N=17 279, 2/3 materiaalista) sekä itsenäiseen testimateriaaliin (N=8 640, 1/3 materiaalista). Testimateriaali pidettiin täysin erillään koulutusmateriaalista ja sitä käytettiin ainoastaan kuvaamaan luotujen riskilaskureiden toimivuutta.

Tutkimusmateriaalimme sisälsi sekä potilas- (esim. ikä, sukupuoli ja painoindeksi) että leikkauskohtaisia (esim. käytetty fiksaatio- sekä anestesiamenetelmä ja implantti) muuttujia, joista määritettiin mahdolliset riskitekijät tarkasteltavalle haattatapahtumalle Lasso (least absolute shrinkage and selection operator) regressiomallin avulla. Mallien luokittelukykyä mitattiin AUROC (area under the receiver operating characteristic curve) -arvon avulla. Koulutusvaiheessa mallien koulutukseen käytettiin vain niitä leikkauksia, joilla ei ollut puuttuvia arvoja (N=13 585). Mallien koulutus tehtiin vaiheittain siten, että ensin tunnistettiin iteratiivisesti kaikki päätetapahtumaa mahdollisesti ennustavat muuttujat toistamalla mallin sovittaminen 100 kertaa. Lopulliset mallit koulutettiin käyttämällä vain iteratiivisen prosessin aikana tunnistettuja muuttujia.

AUROC-arvojen lisäksi luokittelimme potilaat matalan, keskitason ja korkean riskin alaluokkiin perustuen koulutusmateriaalissa ennustettujen yksilöllisten riskien avulla. Matalan riskin ryhmään kuului riskijakauman ensimmäinen tertiili, keskitason riskin ryhmään jakauman toinen tertiili ja korkean riskin ryhmään kolmas tertiili. Riskiryhmien välisiä eroja haattatapahtumien suhteen vertailtiin Kaplan-Meier -estimaattorin avulla.

Tulokset

Tutkimuksessamme yleisimmät komplikaatiot kuuden kuukauden kuluessa ensitoimenpiteestä olivat syvä bakteeri-infektio (1,1%), sijoiltaanmeno (0,7%), periproteettinen murtuma (0,5%) sekä kuolema (0,7%). Näiden lisäksi seuranta-aikana tehtiin uusintaleikkauksia 0,4% myös muista syistä. Sisällytimme kuitenkin riskilaskurimallien kehitykseen toistaiseksi syvän bakteeri-infektion, periproteettisen murtuman, sijoiltaanmenon ja kuoleman näihin yhdistettyjen suurempien aineistossa esiintyvien ilmaantuvuuksien vuoksi.

Lasso-regressio malli tunnisti merkittäviksi riskiä kasvattaviksi tekijöiksi bakteeri-infektioille miessukupuolen sekä korkean painoindeksin, ASA-luokan ja yleisanestesian. Korkea ASA-luokka oli merkittävä riskitekijä kaikille tutkituille päätetapahtumille. Reisiluun kaulan murtumadiagnoosi, aiemmat toimenpiteet, 32 millimetrin nuppikoko ja taka-avaus suurensivat riskiä sijoiltaanmenolle. Korkea ikä sekä sementitön fiksaatio suurensivat riskiä periproteettiselle murtumalle. Suurentunutta riskiä kuolemalle ennustivat korkea ikä sekä reisiluun kaulan murtumadiagnoosi leikkaukseen johtaneena syynä.

Paras todellisten tapausten erottelukyky oli kuolemaa ennustavalla mallilla sekä koulutus- [AUROC=0,82 (95% luottamusväli (confidence interval, CI): 0,78–0,86)] että testimateriaalissa [AUROC=0,84 (95% CI: 0,78–0,90)]. Kaikki muut kehitetyt mallit saavuttivat kohtuullisen tai hyvän luotettavuustason. Kehitetyistä malleista yhdenmukaisin tulos sekä koulutus- [AUROC=0,70 (95% CI 0,67–0,74)] että testimateriaalissa [AUROC=0,68 (95% CI 0,62–0,74)] oli syville bakteeri-infektioille. Periproteettisen murtuman mallinnuksessa testimateriaalin tulos [AUROC=0,65 (95% CI 0,58–0,72)] oli heikompi kuin koulutusmateriaalin [AUROC=0,70 (95% CI 0,64–0,76)]. Matalin erottelukyky oli sijoiltaanmenolle sekä koulutus- [AUROC=0,65 (95% CI 0,60–0,70)] että testimateriaalissa [AUROC=0,64 (95% CI 0,56–0,72)]. (Taulukko 1)

Ennustetun riskin perusteella korkeimpaan riskiryhmään luokitelluilla potilailla oli myös suurin todellinen riski eri haittatapahtumille. Verrattaessa riskitehyyssuhdetta (Hazard ratio, HR) matalan ja suuren riskiryhmien välillä, suurin ero ryhmien välillä ilmeni kuolemalle (testimateriaali, HR=14,0, 95% CI 5,6—35,2, $p<0,001$). Testimateriaalissa riskitehyyssuhteet korkean ja matalan riskiryhmien välillä olivat bakteeri-infektioille 3,5 (95% CI 2,0—6,2, $p<0,001$), periproteettiselle murtumalle 4,4 (95% CI 1,9—10,0, $p<0,001$) ja sijoiltaanmenolle 3,5 (95% CI 1,4—8,5, $p=0,001$). (Taulukko 2)

Pohdinta

Riskilaskurimallien avulla on mahdollista tunnistaa korkean uusintaleikkausriskin potilaita. Siten riskilaskurimallien avulla voitaisiin tulevaisuudessa mahdollisesti vähentää uusintaleikkausten lukumäärää. Kehitimme onnistuneesti riskilaskurimallit tyypillisimmille lyhyen aikavälin komplikaatioille kuuden kuukauden kuluessa ensivaiheen lonkan kokotekonivelleikkauksesta. Hyödynsimme uutta tietosisällöltään laajennettua Suomen Endoproteesirekisterin tietomateriaalia, johon sisältyi sekä potilas- että leikkausriippuvaisia muuttujia. Tyypillisimmät lyhyen aikavälin komplikaatiot olivat syvä bakteeri-infektio, periproteettinen murtuma, sijoiltaanmeno ja kuolema. Kehittämiemme riskilaskureiden avulla havaittujen potilaskohtaisten riskitekijäpainokertoimien avulla voidaan arvioida potilaan yksilökohtaista riskiä tyypillisimmille lyhyen aikavälin komplikaatioille.

Lasso-regressiomallinnus tunnistasi miessukupuolen sekä korkean painoindeksin, korkean ASA-luokan ja yleisanestesian suurentavan riskiä syvälle bakteeri-infektioille. Kaikki edellä mainitut muuttujat ovat jo aiemmin laajasti kirjallisuudessa tunnistettuja riskitekijöitä infektiolle (12–14). Liitännäissairauksien on myöskin todettu nostavan riskiä bakteeri-infektioille (15). Meidän tutkimuksessamme ei ollut saatavilla tietoa potilaiden liitännäissairauksista. Hyödynsimme ASA-luokkaa, koska se kuvaa melko tarkasti potilaan sen hetkistä somaattista vointia.

Sijoiltaanmenolle riskilaskuri tunnisti riskitekijöiksi korkean ASA-luokan, reisiluun kaulan murtumadiagnoosin, aikaisemmat leikkaustoimenpiteet, 32 millimetrinen nuppikoon verrattuna 36 millimetriseen nuppikokoon ja taka-avauksen. Kyseiset muuttujat ovat myöskin jo aiemmin kirjallisuudessa tunnistettuja riskitekijöitä (16–20). Sijoiltaanmenoriskin on todettu olevan suurentunut reisiluun kaulan murtumapotilailla, joilla ensivaiheen hoitona reisiluun ydinnalaus on epäonnistunut ja heille on tämän jälkeen tehty lonkan kokotekonivelleikkaus (21). Lisäksi potilaat, joille on aiemmin tehty lonkan ydinnalaus tai liukuruuvilevyfiksaatio (DHS, dynamic hip screw), ja jotka joudutaan myöhemmin protetisoimaan, ovat alttiimpia komplikaatioille, kuten sijoiltaanmenolle (22).

Periproteettiselle murtumalle riskitekijöiksi tunnistettiin korkea ASA-luokka sekä ikä ja sementitön fiksaatio. Aikaisemmissa tutkimuksissa kyseiset riskitekijät ovat myös yhdistetty periproteettiseen murtumaan (23–26). Vastaavasti kuolemalle riskilaskuri tunnisti riskitekijöiksi korkean iän sekä ASA-luokan ja reisiluun kaulan murtumadiagnoosin. Tutkimukset ovat osoittaneet, että potilaiden ikä 80 vuotta tai enemmän (27), korkea ASA-luokka (\geq III) (28) ja reisiluun kaulan murtumadiagnoosi (29) ovat merkittäviä riskitekijöitä kuolemalle tekonivelleikkauksen jälkeen.

Tutkimuksessamme komplikaatioiden esiintyvyyksien havaittiin olevan yleisimpiä potilaiden keskuudessa, jotka oli luokiteltu kehittämiemme riskilaskurimallien avulla korkeisiin riskiryhmiin. Yleisesti ottaen yksilökohtaiset riskit komplikaatioille olivat matalia. Verrattaessa kuitenkin korkean ja matalan riskiryhmien potilaita keskenään saattoi riski haittatapahtumalle olla jopa 4–14-kertaa suurempi korkean riskiryhmän potilaiden keskuudessa. Tämän vuoksi olisikin tärkeää hyödyntää kehittämiämme riskilaskureita tunnistamaan korkean riskiryhmän potilaita ja suunnittelemaan tekonivelleikkauksessa käytettävät menetelmät siten, että riskit mahdollisille tuleville komplikaatioille minimoidaan. Lisäksi kyseisiä korkeaan riskiryhmään kuuluvia potilaita tulisi seurata tiheämmin toimenpiteen jälkeen.

Vaikka kehittämiemme riskilaskureiden erottelutarkkuudet olivat vähintään kohtuulliset tai hyvät, on silti tärkeää muistaa, että osa potilaista saatetaan virheellisesti luokitella kuuluvaksi joko matalaan tai korkeaan riskiryhmään. Riskilaskurimalleja kehitettäessä raportoituja tapahtumia liittyen epäsuotuisiin komplikaatioihin oli suhteellisen vähän, joten mallien suoristuskykyä voidaan todennäköisesti yhä parantaa, kun tutkimusaineistoa kertyy lisää ja yhä useampia leikkauksia sekä uusia muuttujia saadaan hyödynnettyä mallinnuksessa. Infektioriskiä ennustavan mallin tarkkuutta voidaan myös parantaa muun muassa lisäämällä liitännäissairaudet mallinnukseen, jotka eivät nyt olleet saatavilla. Toinen mallien tarkkuutta mahdollisesti parantava tekijä on kirurgin leikkauskokemus, jota ei nyt ollut saatavilla. Yksi tärkeä jatkokehityskohde riskimalleille on myös ominaisuus, jonka avulla voitaisiin laskea virherajat riskiennusteille.

Tämän rekisteritutkimuksen vahvuutena on laaja sekä monipuolinen tietomateriaali, joka on kerätty prospektiivisesti. Heikkoutena on, että Suomen Endoproteesirekisteriin on raportoitu kaikista tehdyistä

uusintaleikkauksista ainoastaan 81%:a Hoitoilmoitusrekisteriin verrattuna (30). Ilmoituskattavuudeltaan ongelmallisia ovat esimerkiksi päivystysaikana tehtävät infektiolonkkien DAIR-puhdistusleikkaukset (debridement, antibiotics and implant retention). Tutkimusmateriaalissamme puutteellisesti raportoitujen uusintaleikkausten lukumäärät saattavat aiheuttaa aliarviointia uusintaleikkauriskissä verrattaessa todelliseen riskiin. Näistä syistä tulevaisuudessa olisi hyödyllistä vielä vahvistaa kehittämiemme riskilaskurimallien toimivuus toisissa tekonivelrekistereissä.

Tutkimuksen yhteenvedona voidaan todeta, että kehitimme helposti hyödynnettävät riskilaskurimallit tyypillisimmille lyhyen aikavälin komplikaatioille lonkan ensivaiheen kokotekonivelleikkauksen jälkeen. Kehitettyjen mallien avulla saattaa tulevaisuudessa olla mahdollista vähentää komplikaatioiden lukumäärää. Mallien tuottamien riskiarvioennusteiden avulla hoitoa pystytään kohdistamaan juuri kyseiselle hoidetavalle potilaalle optimaaliseksi muun muassa vaikuttamalla leikkauriippuvaisiin tekijöihin. Potilaat ovat myöskin tavanomaista tyytyväisempiä, kun heidät otetaan mukaan päätöksentekoon ja kun he saavat tarkempaa yksilöllistä hoitoa.

Kirjallisuusviitteet

1. Kurtz S, Mowat F, Ong K, Chan N, Lau E, Halpern M. Prevalence of primary and revision total hip and knee arthroplasty in the United States from 1990 through 2002. *J Bone Joint Surg Am.* 2005;87(7):1487–97.
2. Pabinger C, Geissler A. Utilization rates of hip arthroplasty in OECD countries. *Osteoarthr Cartil.* 2014;22(6):734–41.
3. Weber M, Renkawitz T, Voellner F, Craiovan B, Greimel F, Worlicek M, et al. Revision Surgery in Total Joint Replacement Is Cost-Intensive. *Biomed Res Int.* 2018;2018:1–8.
4. Badarudeen S, Shu AC, Ong KL, Baykal D, Lau E, Malkani AL. Complications After Revision Total Hip Arthroplasty in the Medicare Population. *J Arthroplasty.* 2017;32(6):1954–8.
5. Bozic KJ, Kurtz SM, Lau E, Ong K, Vail TP, Berry DJ. The Epidemiology of Revision Total Hip Arthroplasty in the United States. *J Bone Jt Surgery-American Vol.* 2009;91(1):128–33.
6. AOANJRR. Australian Orthopaedic Association National Joint Replacement Registry (AOANJRR). Hip, Knee & Shoulder Arthroplasty: 2018 Annual Report. [cited 2019 Mar 17]. Available from: <https://aoanjrr.sahmri.com/annual-reports-2018>
7. Vanhegan IS, Malik AK, Jayakumar P, Ul Islam S, Haddad FS. A financial analysis of revision hip arthroplasty: the economic burden in relation to the national tariff. *J Bone Joint Surg Br.* 2012;94(5):619–23.
8. Bozic KJ, Ong K, Lau E, Berry DJ, Vail TP, Kurtz SM, et al. Estimating Risk in Medicare Patients With THA: An Electronic Risk Calculator for Periprosthetic Joint Infection and Mortality. *Clin Orthop Relat Res.* 2013;471(2):574–83.

9. Kunutsor SK, Whitehouse MR, Blom AW, Beswick AD. Systematic review of risk prediction scores for surgical site infection or periprosthetic joint infection following joint arthroplasty. *Epidemiol Infect.* 2017;145(09):1738–49.
10. Paxton EW, Inacio MCS, Khatod M, Yue E, Funahashi T, Barber T. Risk Calculators Predict Failures of Knee and Hip Arthroplasties: Findings from a Large Health Maintenance Organization. *Clin Orthop Relat Res.* 2015;473(12):3965–73.
11. Pavlou M, Ambler G, Seaman SR, Guttman O, Elliott P, King M, et al. How to develop a more accurate risk prediction model when there are few events. *BMJ.* 2015;351:h3868.
12. Smith JO, Frampton CMA, Hooper GJ, Young SW. The Impact of Patient and Surgical Factors on the Rate of Postoperative Infection After Total Hip Arthroplasty—A New Zealand Joint Registry Study. *J Arthroplasty.* 2018;33(6):1884–90.
13. Kunutsor SK, Whitehouse MR, Blom AW, Beswick AD, INFORM Team. Patient-Related Risk Factors for Periprosthetic Joint Infection after Total Joint Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PLoS One.* 2016;11(3):e0150866.
14. Scholten R, Leijtens B, Hannink G, Kamphuis ET, Somford MP, van Susante JLC. General anesthesia might be associated with early periprosthetic joint infection: an observational study of 3,909 arthroplasties. *Acta Orthop.* 2019 Jul;1–9.
15. Haverkamp D, Klinkenbijn MN, Somford MP, Albers GHR, van der Vis HM. Obesity in total hip arthroplasty—does it really matter? *Acta Orthop.* 2011;82(4):417–22.
16. Hailer NP, Weiss RJ, Stark A, Kärrholm J. The risk of revision due to dislocation after total hip arthroplasty depends on surgical approach, femoral head size, sex, and primary diagnosis. An analysis of 78,098 operations in the Swedish Hip Arthroplasty Register. *Acta Orthop.* 2012;83(5):442–8.
17. Zijlstra WP, De Hartog B, Van Steenberghe LN, Scheurs BW, Nelissen RGHH. Effect of femoral head size and surgical approach on risk of revision for dislocation after total hip arthroplasty: An analysis of 166,231 procedures in the Dutch Arthroplasty Register (LROI). *Acta Orthop.* 2017;88(4):395–401.
18. Ferguson RJ, Silman AJ, Combescure C, Bulow E, Odin D, Hannouche D, et al. ASA class is associated with early revision and reoperation after total hip arthroplasty: an analysis of the Geneva and Swedish Hip Arthroplasty Registries. *Acta Orthop.* 2019;90(4):324–30.
19. Ravi B, Pincus D, Khan H, Wasserstein D, Jenkinson R, Kreder HJ. Comparing Complications and Costs of Total Hip Arthroplasty and Hemiarthroplasty for Femoral Neck Fractures. *J Bone Jt Surg.* 2019;101(7):572–9.
20. Mjaaland KE, Svenningsen S, Fenstad AM, Havelin LI, Furnes O, Nordsletten L. Implant survival after minimally invasive anterior or anterolateral vs. conventional posterior or direct lateral approach. *J Bone Joint Surg Am.* 2017; 99: 840–847.
21. Smith A, Denehy K, Ong KL, Lau E, Hagan D, Malkani A. Total hip arthroplasty following failed intertrochanteric hip fracture fixation treated with a cephalomedullary nail. *Bone Joint J.* 2019;101-

B(6_Supple_B):91–6.

22. Pui CM, Bostrom MP, Westrich GH, Della Valle CJ, Macaulay W, Mont MA, et al. Increased complication rate following conversion total hip arthroplasty after cephalomedullary fixation for intertrochanteric hip fractures: a multi-center study. *J Arthroplasty*. 2013;28(8 Suppl):45–7.
23. Peters RM, van Steenberghe LN, Stewart RE, Stevens M, Rijk PC, Bulstra SK, et al. Patient Characteristics Influence Revision Rate of Total Hip Arthroplasty: American Society of Anesthesiologists Score and Body Mass Index Were the Strongest Predictors for Short-Term Revision After Primary Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2020; 35(1):188–192.e2
24. Abdel MP, Watts CD, Houdek MT, Lewallen DG, Berry DJ. Epidemiology of periprosthetic fracture of the femur in 32 644 primary total hip arthroplasties: a 40-year experience. *Bone Joint J*. 2016;98-B(4):461–7.
25. Lindberg-Larsen M, Jørgensen CC, Solgaard S, Kjersgaard AG, Kehlet H, Lunbeck Foundation Centre for Fast-track Hip and Knee Replacement. Increased risk of intraoperative and early postoperative periprosthetic femoral fracture with uncemented stems. *Acta Orthop*. 2017;88(4):390–4.
26. Thien TM, Chatziagorou G, Garellick G, Furnes O, Havelin LI, Mäkelä K, et al. Periprosthetic femoral fracture within two years after total hip replacement: analysis of 437,629 operations in the nordic arthroplasty register association database. *J Bone Joint Surg Am*. 2014;96(19):e167.
27. Rhee C, Lethbridge L, Richardson G, Dunbar M. Risk factors for infection, revision, death, blood transfusion and longer hospital stay 3 months and 1 year after primary total hip or knee arthroplasty. *Can J Surg*. 2018;61(3):165–76.
28. Belmont PJ, Goodman GP, Hamilton W, Waterman BR, Bader JO, Schoenfeld AJ. Morbidity and Mortality in the Thirty-Day Period Following Total Hip Arthroplasty: Risk Factors and Incidence. *J Arthroplasty*. 2014;29(10):2025–30.
29. Hailer NP, Garland A, Rogmark C, Garellick G, Kärrholm J. Early mortality and morbidity after total hip arthroplasty in patients with femoral neck fracture. *Acta Orthop*. 2016;87(6):560–6.
30. FAR. Finnish Arthroplasty Register. Finnish institute for Health and Welfare. 2021 [cited 2021 Apr 10]. Available from: <https://thl.fi/far/#index>

Taulukko 1. Kehitettyjen riskilaskurimallien luokittelukyvyyn arviointi tietylle päätetapahtumalle AUROC-arvojen perusteella koulutus- ja testimateriaalissa. Taulukkoon on sisällytetty ensivaiheen leikkaustoimenpiteiden ja saatavilla olevien päätetapahtumien lukumäärät.

Malli	Koulutusmateriaali N=17279			Testimateriaali N=8640		
	N 1	N 2	AUROC (95% CI)	N 1	N 2	AUROC (95% CI)
Syvä bakteeri-infektio	15127	199	0.70 (0.67–0.74)	7506	86	0.68 (0.62–0.74)
Sijoiltaanmeno	15907	109	0.65 (0.60–0.70)	7929	51	0.64 (0.56–0.72)
Periproteettinen murtuma	16291	74	0.70 (0.64–0.76)	8140	44	0.65 (0.58–0.72)
Kuolema	16466	109	0.82 (0.78–0.86)	8226	56	0.84 (0.78–0.90)

*N 1 = saatavilla olevien leikkaustoimenpiteiden lukumäärä, N 2 = tutkittujen päätetapahtumien lukumäärä, AUROC = area under the receiver operating characteristic curve, CI = luottamusväli

Taulukko 2. Riskitiheyssuhteet (HR) eri riskiryhmien välillä koulutus- ja testimateriaalissa.

	Koulutusmateriaali				Testimateriaali	
	Kynnysarvo	HR (95% CI)	p-arvo		HR (95% CI)	p-arvo
	Syvä bakteeri-infektio				Syvä bakteeri-infektio	
Riskiryhmä						
Matala	0.0%	Vertailuryhmä	-	Vertailuryhmä	-	
Keskitaso	0.8%	1.8 (1.1–3.0)	0.01	1.6 (0.8–3.2)	0.04	
Korkea	1.3%	4.8 (3.2–7.3)	<0.001	3.5 (2.0–6.2)	<0.001	
	Sijoiltaanmeno				Sijoiltaanmeno	
Riskiryhmä						
Matala	0.0%	Vertailuryhmä	-	Vertailuryhmä	-	
Keskitaso	0.5%	1.8 (1.0–3.5)	0.05	2.0 (0.8–5.1)	0.1	
Korkea	0.8%	3.6 (2.0–6.5)	<0.001	3.5 (1.4–8.5)	0.001	
	Periproteettinen murtuma				Periproteettinen murtuma	
Riskiryhmä						
Matala	0.0%	Vertailuryhmä	-	Vertailuryhmä	-	
Keskitaso	0.3%	2.5 (1.1–5.8)	0.03	2.3 (0.8–6.4)	0.1	
Korkea	0.5%	5.4 (2.7–10.6)	<0.001	4.4 (1.9–10.0)	<0.001	
	Kuolema				Kuolema	
Riskiryhmä						
Matala	0.0%	Vertailuryhmä	-	Vertailuryhmä	-	
Keskitaso	0.5%	3.9 (1.5–10.1)	0.005	1.4 (0.3–5.0)	0.7	
Korkea	0.8%	21.3 (9.3–48.7)	<0.001	14.0 (5.6–35.2)	<0.001	

*Potilaat luokiteltiin matalan, keskitason ja korkean riskin alaluokkiin perustuen koulutusmateriaalissa ennustettuihin yksilöllisiin riskijakaumiin.

**CI = luottamusväli, HR = Hazard ratio

