

Vstavitev kolenske proteze s pomočjo računalniške navigacije v primerjavi s klasičnim inštrumentarijem: Študija primera s kontrolo

Computer-assisted surgery versus manual total knee arthroplasty: A case-controlled study

Simon Kovač, Matevž Topolovec, Vesna Levašič

Ortopedska bolnišnica
Valdoltra, Jadranska
cesta 31, 6280 Ankaran

Korespondenca/ Correspondence:

mag. Simon Kovač,
Ortopedska bolnišnica
Valdoltra, Jadranska c.
31, 6280 Ankaran,
e-naslov. simon.kovac@
ob-valdoltra.si

Ključne besede:

vstavitev kolenske
proteze, navigacijski
sistem, študija primera s
kontrolo

Key words:

total knee arthroplasty,
navigation system, a
case-controlled study

Citirajte kot/Cite as:

Zdrav Vestn Supl 2009;
78: 11-52-59

Prispelo: 22. maj 2009,
Sprejeto: 23. okt. 2009

Izvelek

Izhodišča: Vzpostavitev nevtralne uravnano-
nosti operirane okončine pomembno vpliva
na trajanje preživetja kolenske proteze. Kljub
izboljšavam klasičnega inštrumentarija pa se
še vedno veliko protez vstavi v položajih, ki
imajo za posledico večje odstopanje od obi-
čajne mehanične osi. Število odstopanj naj
bi bistveno zmanjšal nov računalniški navi-
gacijski sistem. Cilj študije je bil ugotoviti,
ali tehnika vstavitve s pomočjo računalniške
navigacije omogoča boljše rezultate glede
usmerjenosti operirane okončine v primer-
javi s klasično tehniko.

Bolniki in metode: V študijo je bilo vklju-
čenih 44 bolnikov. 23 jih je bilo operiranih
s pomočjo računalniške navigacije, 21 bol-
nikov pa je sestavljalo kontrolno skupino,
v kateri so bili bolniki, operirani klasično.
Skupini sta si bili podobni glede povprečne
starosti, spola, diagnoze, strani operirane
okončine, indeksa telesne mase (ITM) in
vrednosti ocene IKSKS (International Knee
Society Knee Score) predoperativno. Skupini
smo primerjali na podlagi uravnano-
sti meh-
hane osi in usmeritve vstavljenih kompo-
nent. Uravnanost smo ocenjevali na podlagi
rentgenskih posnetkov celotnega spodnjega
uda v antero-posteriorni (AP) in lateralni
projekciji.

Rezultati: Skupini se nista statistično značil-
no razlikovali glede uravnano-
sti meh-
hane osi in komponent ($p > 0,05$). Pooperativni
obseg gibanja in vrednost IKSKS poopera-
tivno sta bila v obeh skupinah zelo podobna.
Čas operacije je bil v povprečju za 30 min
daljši v skupini, pri kateri smo uporabljali
računalniško navigacijo. Prav tako smo v tej
skupini beležili večjo izgubo krvi, v povpre-
čju za 70 mL.

Zaključki: Tehnika vstavitve kolenske pro-
teze s pomočjo računalniške navigacije daje
v primerjavi s klasično operativno tehniko
boljše rezultate glede uravnano-
sti meh-
hane osi in usmerjenosti komponent. Rezultati
žal niso statistično značilni. Za ugotavljanje
morebitnih prednosti bo potrebno počakati
dolgoročne rezultate nadaljnjih raziskav.

Abstract

Background: Restoration of neutral align-
ment of the leg is an important factor af-
fecting the long-term results of total knee
arthroplasty. Despite the use of modern in-
struments in total knee arthroplasty, com-
ponent malalignment remains a problem.
Computer-assisted systems have been de-
veloped in order to improve alignment of
components. The objective of this study was
to determine whether the computer-assisted
total knee arthroplasty is superior to the con-

ventional surgical method with regard to the precision of implant positioning.

Patients and methods: A total of 44 patients were included in the study. Twenty-three patients underwent surgery using a computer-assisted navigation system. The control group included 21 patients, who were operated on using the conventional technique. The groups were similar with regard to age, gender, diagnosis, body mass index, side of the operated limb, implants and preoperative value of IKSKS. The two methods were compared for alignment of the leg and the orientation of components on post-operative long-leg coronal and lateral films.

Results: The groups were not significantly different with regard to the accuracy of

component positioning as compared to that achieved by conventional total knee arthroplasty ($p > 0,05$). Postoperative range of motion of the knees and postoperative value of IKSKS were similar in both groups. The operating time was longer in the computer-assisted total knee arthroplasty, by 30 minutes on average. The blood loss was greater in the computer-assisted total knee arthroplasty, by approximately 70 mL on average.

Conclusions: Computer-assisted total knee arthroplasty yields better correction of leg alignment and orientation of the components compared with the conventional technique. However, these results were not statistically significant. Potential benefits in the long-term outcome and functional improvement require further investigation.

Uvod

Vstavev kolenske proteze je rutinski poseg, ki se uporablja zadnjih 40 let. Uspešni modeli totalnih protez pa so v neprestani uporabi približno zadnjih 20 let. Število vstavljenih protez se nezadržno večja. V Skandinaviji je incidenca artroplastike kolena med 68 in 106 protez/100.000 prebivalcev na leto, v Sloveniji pa je bila v letu 2005 41 primarnih protez/100.000 prebivalcev na leto. V

zahodnih državah je zaznati tudi okoli 5– do 10-odstotni porast letno vstavljenih protez.^{1,2} Ta trend je posledica staranja prebivalstva in vse večjih zahtev bolnikov, ki hočejo živeti dejavno življenje tudi v starosti.²

Osnovni nameni artroplastike so napraviti kolenski sklep neboleč, stabilen, dobro gibljiv in trajen. Uspeh vstavitve kolenske proteze je odvisen od številnih dejavnikov: primerna izbira bolnika, dobra izdelava proteze, pravilna kirurška tehnika, učinkovita

Tabela 1: Podatki o bolnikih

	Vstavev kolenske proteze s pomočjo navigacije (št. = 22)	Vstavev kolenske proteze s pomočjo klasičnega inštrumentarija (št. = 21)
Starost (leta)	70,0 (56–80), $s = 8,0$	70,3 (57–82), $s = 8,3$
Indeks telesne mase (ITM)	30,8 (22,6–40,0), $s = 5,3$	32,7 (26,4–41,2), $s = 4,1$
Trajanje operacije (min)	109 (90–130), $s = 12,2$	77 (45–105), $s = 16,3$
Izguba krvi (mL)	405 (300–600), $s = 98,5$	331 (150–500), $s = 98,1$
Spol (% moški)	36 %	24 %
Operirana okončina (% desna)	55 %	48 %
IKSKS – predoperativno	100 (63–136), $s = 19,9$	96,8 (53–121), $s = 21,3$
IKSKS – pooperativno	179 (135–200), $s = 18$	176,9 (137–200), $s = 16,2$
Obseg gibanja (stopinje)	101 (80–120), $s = 12,5$	103 (90–130), $s = 12,4$

Vrednosti so podane z aritmetično sredino, minimalnim in maksimalnim odstopanjem od povprečja ter standardnim odklonom (s).



Slika 1: Računalnik z monitorjem in detektorjem IR žarkov.

po-operativna nega.³ Kot pri vseh operativnih posegih se tudi tukaj srečujemo z zgodnjimi in poznimi pooperativnimi zapleti.

Zgodnji pooperativni zapleti so sorazmerno redki. Najpogostejši pa so vnetja, nekroze kože, večji hematomi, globoke venske tromboze, podaljšano otekanje kolena, zelo redko tudi poškodbe živcev.

Pozni pooperativni zapleti so pogostejši, glavni pa so: omajanje proteze, čezmerna obraba dela proteze, postopna destabilizacija kolena, možno pa je tudi pozno vnetje pro-

teze. Podatki o pogostosti poznih zapletov so zelo različni, pričakujemo pa lahko, da bo v 15 pooperativnih letih potrebno ponovno operirati okrog 15 % bolnikov. Pomembno je dejstvo, da je verjetnost ponovnih operacij večja pri protezah, pri katerih položaj vstavitve odstopa od idealnega. Najpogosteje se meri pooperativno odstopanje mehanične osi spodnje okončine od običajne. Mehanična os povezuje center kolka, kolena in gležnja. Če pooperativna mehanična os odstopa za več kot 3° od običajne, se verjetnost revizije kolenske proteze značilno zviša.³⁻⁵

Priprava ležišča proteze mora zato biti natančna, saj je od te odvisna usmeritev proteze v vseh treh ravninah – horizontalni (rotacija komponent), sagitalni (naklon komponent od sprednje proti zadnji strani kolena), frontalni (naklon proteze od notranje proti zunanji strani kolena). Usmerjenost proteze v frontalni ravnini vpliva na pooperativno mehanično os spodnje okončine (spodnja okončina je lahko ravna, deformirana v valgusni ali varusni obliki).⁶⁻⁷ Poleg usmerjenosti proteze pa je zelo pomembna tudi stabilizacija obkolenskih vezi, ki jo dosežemo z različnimi operativnimi tehnikami. Le tako je koleno funkcionalno zadovoljivo, preprečimo pa tudi čezmerno obrabo polietilena in kot skrajno možnost izpah proteze.

Kljub izboljšavam klasičnega inštrumentarija pa je po podatkih iz literature še vedno približno 10–15 % vseh protez vstavljenih v položajih, ki imajo za posledico več kot 3° odstopanja od običajne mehanične osi.⁷ Število teh odstopanj naj bi bistveno zmanjšal nov računalniški navigacijski sistem.⁷⁻⁹ V grobem ga delimo v dve kategoriji. Slikovno odvisni navigacijski sistem, ki se sklicuje na podatke, pridobljene iz pred- ali medoperativno opravljenega slikanja s pomočjo CT ali fluoroskopije, in slikovno neodvisni navigacijski sistem, ki deluje na podlagi medoperativne registracije ključnih anatomske točk, s pomočjo katerih sistem opredeli mesto reznih ploskev.⁹ Pri naših operacijah smo uporabljali slikovno neodvisni navigacijski sistem proizvajalca BrainLAB®.



Slika 2: Inštrumenti: označevalec tibije, označevalec femurja, markacijski inštrument (pointer) in kontrolni inštrument za preverjanje položaja



Slika 3: Označevalca z odsevnimi telesci (tibialna in femoralna referenca).

Materiali in metode

Med aprilom 2006 in junijem 2007 je bilo v Ortopedski bolnišnici Valdoltra operiranih 682 bolnikov, ki smo jim vstavili totalno kolensko protezo. Med temi sta dva kirurga operirala 44 kolen, katerih podatki so bili vključeni v raziskavo. 23 bolnikom, ki smo jih naključno izbrali, smo vstavili kolensko protezo s pomočjo računalniške navigacije. Ena bolnica je umrla dva meseca po operativnem posegu zaradi razloga, ki ni bil povezan z operacijo. Za analizo je torej ostalo 22 bolnikov. Kot kontrolna skupina je bilo izbranih 21 bolnikov, operiranih v istem obdobju. Predoperativna diagnoza je bila pri vseh bolnikih degenerativna artroza. Skupini bolnikov sta si bili podobni glede starosti, spola, ITM, strani operirane okončine in vrednosti IKSXS predoperativno (Tabela 1). Pri vseh bolnikih je bil opravljen pred- in pooperativni radiološki pregled, s pomočjo katerega smo določali položaj mehanične osi ter položaj tibialne in femoralne komponente. Prav tako smo pri obeh skupinah beležili čas operacije, pooperativne zaplete, izgubo krvi med operacijo, ter ovrednotili gibanje operiranega uda na prvem pregledu po operaciji in določili vrednost IKSXS približno leto dni po operaciji. 5 bolnikov je imelo vstavljene bilateralne proteze, od tega smo pri 4 bolnikih na eni strani vstavili protezo s pomočjo računalniške navigacije, koleno na nasprotni

strani pa s konvencionalnim inštrumentarijem.

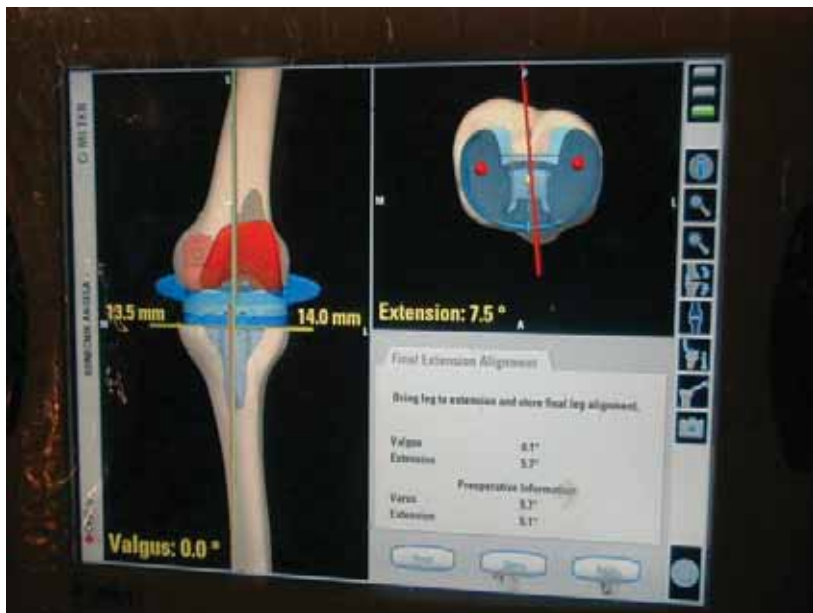
Pri vseh bolnikih smo vstavili totalno cementno kolensko protezo tipa PFC Sigma® z ohranitvijo zadnje križne vezi. Uporabili smo cement z antibiotikom. Pri vseh bolnikih smo uporabili medialni parapatelarni pristop, pri 42 je bila operacija opravljena v brezkrvnem stanju. Približno tri mesece po operaciji smo opravili kontrolni pregled, na katerem smo poleg kliničnega statusa opravili tudi rentgensko slikanje celotnega spodnje okončine v antero-posteriorni in lateralni projekciji.

Pri obeh skupinah smo merjenim količinam določili: aritmetično sredino, standardni odklon, minimalno in maksimalno vrednost ter razpon vrednosti. Pri preizkušanju domneve o razliki med povprečjema dveh neodvisnih vzorcev smo uporabili neparametrični test (Mann-Whitneyev test). Podatke smo statistično obdelali s statističnim programom SPSS (Statistical Package for Social Sciences) 15.0.

Tehnika vstavitve s pomočjo računalniške navigacije

Osnovo sistema sestavljata računalnik z monitorjem in optična enota, sestavljena iz vira IR žarkov in njihovega detektorja (Slika 1). Delovanju sistema so prilagojeni tudi drugi operativni inštrumenti, ki so označeni s tremi nekolinearno razporejenimi odsevnimi kroglicami.^{10,11} Ti inštrumenti so: označevalec tibije, označevalec femurja, markacijski inštrument (pointer) in kontrolni inštrument za preverjanje položaja šablon in reznih ploskev. (Slika 2) Kroglice odbijajo IR žarke, ki jih zazna detektor, in glede na njihov vzorec in razporeditev v prostoru računalnik v realnem času prepozna položaj kolena ali določenega inštrumenta. Natančnost sistema je zelo visoka, saj je napaka med računalniško izmerjenim in dejanskim položajem inštrumentov oz. raznih anatomskih osi manjša od 0,5°.¹¹

Operativni poseg pričnemo z običajnim operativnim pristopom in opravimo začetni del operacijskega posega (odstranitev meniskov, osteofitov, ostankov sprednje križne vezi, toaleta patelofemoralnega sklepa).



Slika 4: Označevanje ostalih pomembnih anatomskih točk spodnjega uda (gleženj, površino celotnega kolenskega sklepa) s pointerjem

Slika 5: Predhodnja objektivizacija gibanja, stičnih površin in stabilnosti kolena pred vstavitvijo proteze.

Nato se operativni poseg bistveno razlikuje od običajnega. Sprva nastavimo na stegnenico in golenico označevalca z reflektivnimi telesci, ki morata ostati nespremenjena ves čas operativnega posega (tibialna in femoralna referenca) (Slika 3). S sledenjem teh označevalcev računalnik prepozna položaj kolena oz. stegnenice in golenice v prostoru. Položaj kolena namreč zaradi lažjega poteka dela med operativnim posegom vseskozi spreminjamo. S krožnimi gibi spodnje okončine nato določimo center rotacije kolka, s pointerjem pa označimo ostale pomembne anatomske točke spodnje okončine (gleženj, površina celotnega kolenskega sklepa) (Slika

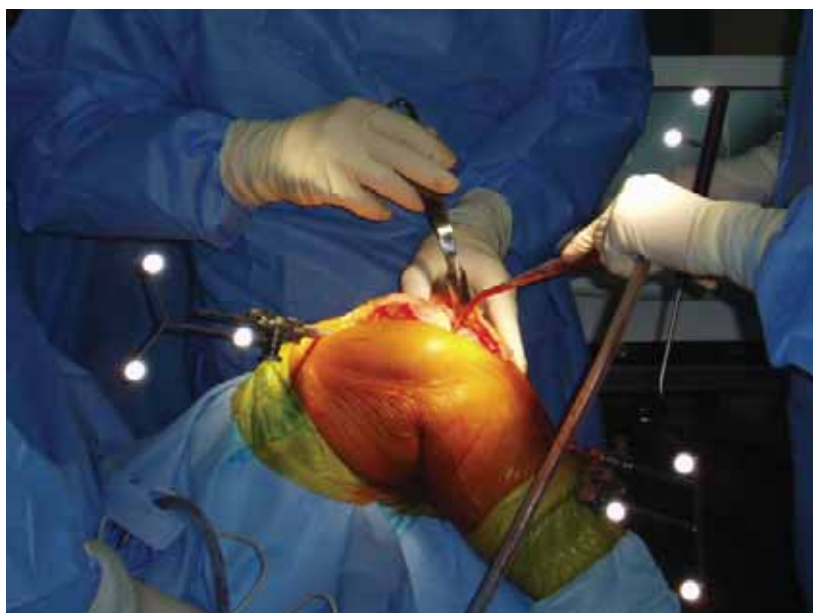
4). Na osnovi tako pridobljenih podatkov računalnik določi mehanično os spodnje okončine in poda predoperativno deformacijo kolena oz. trenutno odstopanje od te osi. S primerjavo podatkov v že naloženi bazi podatkov se izbere model kolena, ki najbolj ustreza dejanskemu. Odstopanja obeh modelov so v večini primerov manjša od 1 mm. Programska oprema nato na osnovi modela izbere velikost proteze in njen položaj. Oba dejavnika lahko tudi sami spreminjamo, seveda v določenih okvirih. Odlična lastnost sistema pa je, da ob korekcijah položaja proteze v eni ravnini takoj pridobimo podatke o vplivu te spremembe na položaj proteze v ostalih ravninah.

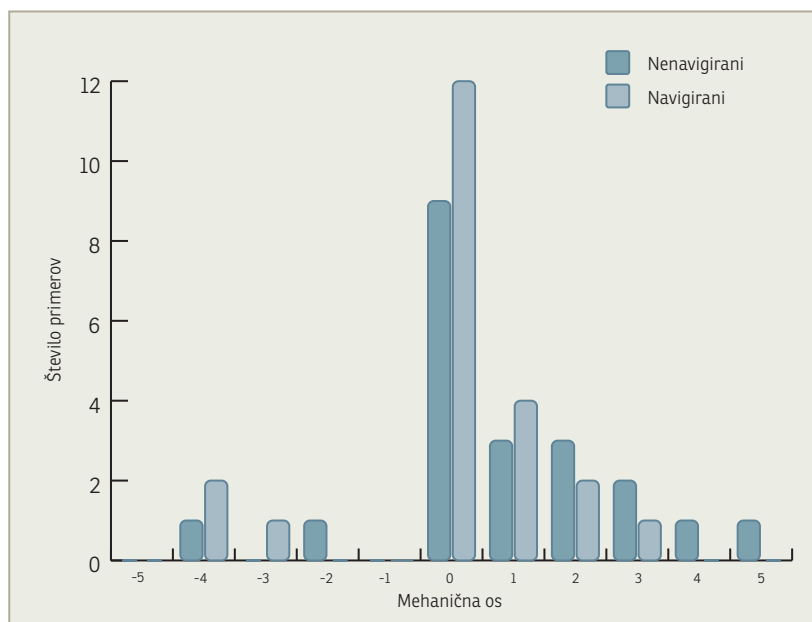
Pri pripravi ležišča proteze vseskozi nadzorujemo položaj šablon, s pomočjo katerih reseciramo kost. Po izvedeni resekciji sledi dodaten nadzor reznih ploskev, saj je možno, da se zaradi različne trdote kosti list žage zviša. Pomemben korak v poteku operacije je stabiliziranje vezi. To izvedemo s pomočjo t.i. stabilizatorja ligamentov, s katerim preverimo stabilnost notranjih in zunanjih vezi kolena in jih po potrebi dodatno uravnotežimo.¹¹ Kot zadnji korak sledi vstavev proteze z objektivizacijo gibanja, stičnih površin in stabilnosti kolena (Slika 5).

Rezultati

Glede demografskih podatkov ni bilo opaziti večjih razlik med bolniki, ki so bili operirani s pomočjo navigacije, in bolniki, ki so bili operirani s pomočjo klasičnega instrumentarija (Tabela 1). Prav tako se skupini nista značilno razlikovali glede obsega gibanja operirane okončine na prvem pooperativnem pregledu in vrednosti IKSKS leto dni po operaciji. Glede trajanja operacije je bila ugotovljena težnja k podaljšanemu trajanju operacije (v povprečju 109 min pri navigaciji v primerjavi s 77 min pri klasični tehniki), vendar razlika ni bila značilna. Število pooperativnih zapletov v smislu nastanka hematoma je bilo enako v obeh skupinah. V obeh skupinah se je hematoma pojavil pri šestih bolnikih.

Pri opazovanju mehanične osi v frontalni ravnini smo opazili neenakomerno porazdelitev podatkov tako v skupini z računalniško

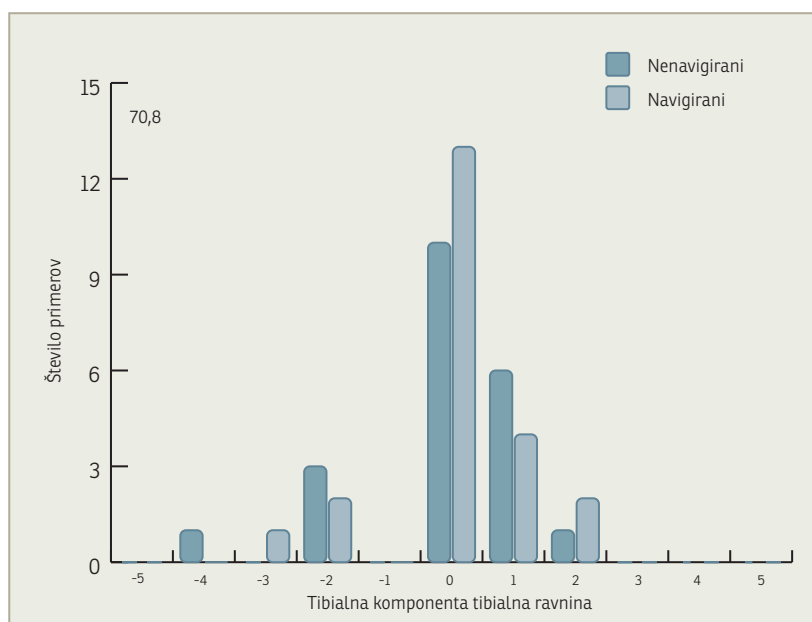




Slika 6: Orientacija mehanične osi v frontalni ravnini.

navigacijo kot v skupini s klasičnim inštrumentarijem (Slika 6). V zadnji skupini smo zaznali razpon vrednosti med 4° valgus in 5° varus, s srednjo vrednostjo 1,43° in standardnim odklonom 1,60. V skupini, v kateri bolnike operirali s pomočjo računalniške navigacije, je bil razpon vrednosti med 4° valgus in 3° varus. Srednja vrednost je pri tem bila 1,00°, standardni odklon pa 1,38. Pri preizkušanju domneve o razliki med povprečema dveh neodvisnih vzorcev smo dobili vrednost $p = 0,36$. Zunaj tolerančnega odstopanja 3° so bili pri operaciji s pomočjo klasične-

Slika 7: Orientacija tibialne komponente v frontalni ravnini.



ga inštrumentarija trije bolniki, pri operaciji s pomočjo navigacije pa dva bolnika.

Pri opazovanju orientacije tibialnega platoja v frontalni ravnini smo prav tako opazili neenakomerno razporeditev podatkov ne glede na uporabljeno kirurško metodo (Slika 7). V skupini, v kateri smo bolnike operirali s pomočjo računalniške navigacije, je bil razpon vrednosti med 3° valgus in 2° varus. Srednja vrednost je pri tem bila 0,68°, standardni odklon pa 0,95. V skupini, v kateri smo bolnike operirali s pomočjo klasičnega inštrumentarija, smo dobili vrednosti med 4° valgus in 2° varus. Srednja vrednost je pri tem bila 0,86°, standardni odklon pa 1,06. Pri preizkušanju domneve o razliki med povprečema dveh neodvisnih vzorcev smo dobili vrednost $p = 0,56$. Zunaj tolerančnega odstopanja 3° je bil pri operaciji s pomočjo klasičnega inštrumentarija en bolnik, pri operaciji s pomočjo navigacije pa nihče.

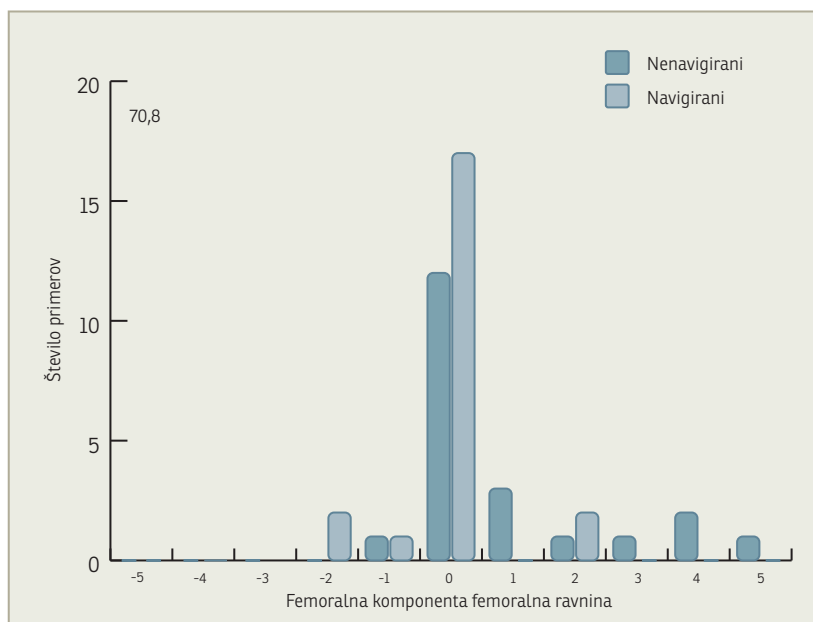
Tudi pri opazovanju usmeritve femoralnega platoja v frontalni ravnini smo opazili neenakomerno razporeditev podatkov ne glede na uporabljeno kirurško metodo (Slika 8). V skupini, v kateri smo bolnike operirali s pomočjo računalniške navigacije, je bil razpon vrednosti med 2° valgus in 2° varus. Srednja vrednost je pri tem bila 0,41°, standardni odklon pa 0,80. V skupini, v kateri smo bolnike operirali s pomočjo klasičnega inštrumentarija, smo dobili vrednosti med 1° valgus in 5° varus. Srednja vrednost je pri tem bila 1,05°, standardni odklon pa 1,60. Pri preizkušanju domneve o razliki med povprečema dveh neodvisnih vzorcev smo dobili vrednost $p = 0,15$. Zunaj tolerančnega odstopanja 3° so bili pri operaciji s pomočjo klasičnega inštrumentarija 3 bolniki, pri operaciji s pomočjo navigacije pa nihče.

Razpravljanje

Računalniško podprta ortopedska kirurgija (angl. computer assisted orthopedic surgery – CAOS) je aktivneje pričela pridobivati svoj pomen v začetku tega tisočletja.

Računalniško podprti navigacijski sistemi so se pričeli uporabljati za izboljšanje natančnosti 3 tridimenzionalne vstavitve proteze.

Začetki navigacije sicer segajo že v konec 80. let, ko se je pričel razvijati prvi robotizirani



Slika 8: Orientacije femoralne komponente v frontalni ravnini.

rani (aktivno navigacijski) sistem priprave ležišča kolčnih protez. Ta sistem se je v omejenem obsegu uporabljal v 90. letih, nato pa se je zaradi nepraktičnosti in pomanjkanja dokazov o njegovi učinkovitosti iz uporabe umaknil. V 90. letih se je postopno pričela razvijati »pasivna« navigacija, s katero na daljavo nadziramo tako položaj kirurških inštrumentov kot tudi anatomijo in prostorsko usmerjenost operiranega sklepa in komponent proteze.

V Ortopedski bolnišnici Valdoltra imamo v uporabi slikovno neodvisni navigacijski sistem. S tem bolnika ne izpostavimo dodatni pred- in medoperativni radiološki diagnostiki oz. sevanju.¹²

Glavna prednost navigacije je torej izboljšanje položaja komponent proteze, kar potrjujejo praktično vse dosedaj objavljene študije, pri čemer pa je pogostost kratkoročnih med- in pooperativnih zapletov nespremenjena.^{13,14} Nespremenjenost kratkoročnih pooperativnih zapletov smo potrdili tudi z našo študijo. Prav tako smo z navigacijsko tehnologijo dosegali v povprečju boljši položaj vstavljene proteze.

Opisuje pa se tudi zmanjšanje pooperativne krvavitve in zmanjšanje incidence medoperativnih tromboembolizmov, saj se med operativnim posegom ne odpre stegnenični medularni kanal.¹³⁻¹⁵ Zmanjšanja pooperativne krvavitve nismo dokazali, večjemu smo imeli večjo izgubo, v povprečju

za 70 mL. Povečano izgubo bi lahko pripisali daljšemu trajanju operacije, v povprečju za 30 min, in večjemu rezu zaradi postavitve označevalcev z odsevnimi telesci. Pojava tromboembolizmov nismo zaznali v nobeni skupini.

Ker naj bi položaj proteze glede na določanje ugotovitve vplival na dolgoročne rezultate artroplastike, je pričakovati, da bo uvedba navigacije rezultate izboljšala. Seveda pa bodo le dolgoročne raziskave pokazale, ali to drži, in se bo število omajanih protez v obdobju 10 do 15 let po operaciji zares zmanjšalo.

Uvedba računalniške navigacije v ortopedijo pomeni nadaljnji korak k objektivizaciji operativnega posega. Izkušenemu kirurgu lahko ponuja možnost, da izboljša operativno tehniko. Poleg tega omogoča natančnejšo usmerjenost proteze predvsem pri bolnikih, kjer je usmerjenost zaradi različnih okoliščin težja.^{16,17} Vsekakor z njeno uporabo ne moremo rešiti vseh nepredvidenih situacij, ki lahko nastanejo med samo operacijo. Njena trenutna slaba lastnost pa je cena sistema in daljši operativni čas (v povprečju za 20–30 minut). Ker dejanskega vpliva na izboljšanje dolgoročnih rezultatov še ne poznamo, bi bilo uvajanje navigacije v rutinsko uporabo vsaj zaenkrat ekonomsko vprašljivo.¹⁸

Navigacije v povsem rutinsko uporabo trenutno še nismo uvedli. Dejstvo namreč je, da je pri pravilno izvedeni vstavitvi proteze z običajnim inštrumentarijem uspeh operativnega posega zelo visok. Če se bodo navigacijski sistemi tudi dolgoročno izkazali za boljši način vstavitve proteze, je pričakovati, da bodo postali rutinski del operativnega inštrumentarija.

Literatura

1. Furnes O et al. The Norwegian Arthroplasty register 2005 Report. p. 31.
2. Lidgren L et al. The Swedish Knee Arthroplasty Register Annual Report 2006. p. 8.
3. Stulberg SD, Loan P, Sarin V. Computer-assisted navigation in total knee replacement: results of an initial experience in thirty-five patients. *J Bone Joint Surg Am* 2002; 84 (Suppl 2): 90-8.
4. Ritter MA, Faris PM, Keating EM, Meding JB. Postoperative alignment of total knee replacement. Its effect on survival. *Clin Orthop* 1994; 299: 153-6.

5. Jeffery RS, Morris RW, Denham RA. Coronal alignment after total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br* 1991; 73: 709-14.
6. Pitto RP, Graydon AJ, Bradley L, Malak SF, Walker CG, Anderson IA. Accuracy of a computer-assisted navigation system for total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br* 2006; 88-B: 601-5.
7. Sparmann M, Wolke B, Czupalla H, Banzer D, Zink A. Positioning of total knee arthroplasty with and without navigation support. A prospective, randomised study. *J Bone Joint Surg Br* 2003; 85: 830-5.
8. Jenny JY, Clemens U, Kohler S, Kiefer H, Konermann W, Miehle RK. Consistency of implantation of a total knee arthroplasty with a non-image-based navigation system a case-control study of 235 cases compared with 235 conventionally implanted prostheses. *J Arthroplasty* 2005; 20: 832-9.
9. Matziolis G, Krocher D, Weiss U, Tohtz S, Perka C. A prospective, randomized study of computer-assisted and conventional total knee arthroplasty: three-dimensional evaluation of implant alignment and rotation. *J Bone Joint Surg Am* 2007; 89: 236-43.
10. Sikorski JM, Blythe MC. Annotation, Learning the vagaries of computer-assisted total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br* 2005; 87-B: 903-10.
11. Bathis H, Perlick L, Tingart M, Luring C, Zurakowski D, Grifka J. Alignment in total knee arthroplasty. A comparison of computer-assisted surgery with the conventional technique. *J Bone Joint Surg Br* 2004; 86: 682-7.
12. Bellemans J, Ries MD, Victor JMK. *Total Knee Arthroplasty, A Guide to Get Better Performance*. Heidelberg:Springer Medizin Verlag; 2005.
13. Kalairajah Y, Cossey AJ, Verrall GM, Ludbrook G, Spriggins AJ. Are systemic emboli reduced in computer-assisted knee surgery?: a prospective, randomised, clinical trial. *J Bone Joint Surg Br* 2006; 88: 198-202.
14. Church JS, Scadden JE, Gupta RR, Cokis C, Williams KA, Janes GC. Embolic phenomena during computer-assisted and conventional total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br* 2007; 89-B: 481-5.
15. Kalairajah Y, Simpson D, Cossey AJ, Verrall GM, Spriggins AJ. Blood loss after total knee replacement: effects of computer-assisted surgery. *J Bone Joint Surg Br* 2005; 87: 1480-2.
16. Stulberg SD, Yaffe MA, Koo SS. Computer-assisted surgery versus manual total knee arthroplasty: A case-controlled study. *J Bone Joint Surg Am* 2006; 88: 47-54.
17. Berry DJ. Computer-assisted knee arthroplasty is better than a conventional jig-based technique in terms of component alignment. *J Bone Joint Surg. Am.* 2004; 86: 2573.
18. Novak EJ, Silverstein MC, Bozic KJ. The Cost-Effectiveness of Computer-Assisted Navigation in Total Knee Arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 2007; 89: 2389-97.