

Računalna navigacija pri ugradnji totalne endoproteze koljena

Computer assisted total knee arthroplasty

Željko Butorac, Branko Šestan, Gordan Gulan, Darko Ekl, Tomislav Mađarević*

Sažetak

Artroza koljena je najčešća degenerativna bolest zglobova čija se incidencija povećava starenjem populacije. U uznapredovaloj fazi bolesti liječenje artroze koljena obuhvaća ugradnju totalne endoproteze koljena. Dugotrajnost preživljenja totalne endoproteze koljena ovisi o ispravnoj pozicioniranosti komponenta endoproteze u sve tri ravnine, odnosno o rekonstrukciji biomehaničkih odnosa donjeg ekstremiteta.

Pogreške u kirurškoj tehnici najčešći su razlog nepreciznosti ugradnje komponenti totalne endoproteze koljena. Razvojem instrumentarija poboljšavaju se rezultati ugradnje endoproteze koljena, a značajan napredak postiže se uvođenjem računalne navigacije u kirurgiju koljena 1997. godine. Virtualnim povezivanjem anatomskih struktura, prvenstveno koštane anatomije pacijenta, s računalnom slikom istoga, koristeći podatke slikovnih pretraga ili anatomske intraoperativne podatke, svaka je kirurška akcija prikazana na ekranu u realnom vremenu na računalno oblikovanom modelu. Virtualna trodimenzionalna reprodukcija koljena uz pomoć računala omogućava preciznije reseciranje zglobnih površina i ugradnju komponenti endoproteze koljena. Precizna pozicioniranost dijelova endoproteze i rekonstrukcija biomehaničkih odnosa omogućava brži oporavak, agresivniju fizioterapiju, a i sam vijek endoproteze je produljen, čime se smanjuju troškovi zdravstvenog sustava i povećava zadovoljstvo pacijenta.

Ključne riječi: artroza koljena, totalna endoproteza koljena, računalna navigacija

Summary

Knee osteoarthritis is the most common degenerative joint disease, whose incidence increases as populations age. In advanced stages, knee osteoarthritis disease treatment considers the implantation of a total knee endoprosthesis. Longterm survival of total knee endoprosthesis depends on the correct positioning of prosthesis components in all three planes, with respect to the reconstruction of the biomechanical relations of the lower extremities.

Mistakes in surgical technique are the most common reason for inaccurate implantation of the total knee endoprosthesis components. The development of instruments for total knee arthroplasty enhanced the results of total knee arthroplasty and significant progress was achieved with the introduction of the computer navigation system in knee surgery in 1997. Virtual linking of anatomical structures, primarily the bone anatomy of the patient, with computer images of the same, using image search data or intraoperative anatomic data, each surgical action is displayed on the monitor in real time on a computer-shaped model. Virtual three-dimensional reproductions of the knee using a computer system enable accurate resection of the articular surface and precise implantation of total knee endoprosthesis components. The precise positioning of total knee endoprosthesis components and the reconstruction of the biomechanical relations allow faster recovery, aggressive physiotherapy, and longer survival of endoprosthesis which reduce the cost of the health system and increase patient satisfaction.

Key words: knee osteoarthritis, total knee endoprosthesis, computer navigation

Med Jad 2011;41(3-4):129-133

* **Klinika za ortopediju Lovran** (Željko Butorac, dr. med., prof. dr. sc. Branko Šestan, dr. med., prof. dr. sc. Gordan Gulan, dr. med., Tomislav Mađarević, dr. med.); **Klinički bolnički centar Rijeka, Klinika za kirurgiju** (mr. sc. Darko Ekl, dr. med.)

Adresa za dopisivanje / *Correspondence address:* Tomislav Mađarević, dr. med., Klinika za ortopediju Lovran, Maršala Tita 1, 51415 Lovran; e-mail adresa: tomislav.madzarevic@gmail.com

Primljeno / *Received* 2010-11-29; Ispravljeno / *Revised* 2011-03-31; Prihvaćeno / *Accepted:* 2011-05-16

Uvod

Artroplastika je operativni zahvat u kojem se želi uspostaviti bezbolna pokretljivost zgloba, uz urednu funkciju mišića, tetiva i ostalih mekih tkiva koji kontroliraju operirani zglob. Moderna era razvoja totalnih proteza zglobova započinje 1960-ih, kada Sir John Charnley razvija koncept i prvi ugrađuje totalnu protezu kuka. Slijedeći njegov koncept, Gunston prvi razvija i ugrađuje metalno-polietilensku totalnu protezu koljena.^{1,2}

Totalna proteza koljena (TPK) pokazala se pouzdanom metodom liječenja uzapredovalog osteoartritisa koljena,³ koja po Swedish knee arthroplasty register-u u 82% slučajeva daje zadovoljavajući rezultat.^{3,4}

Glavna kasna komplikacija ovog zahvata jesu aseptičke komplikacije, odnosno poremećaji koji nisu uzrokovani infektivnim organizmom. Najčešće aseptičke komplikacije TPK uključuju: tibiofemoralnu nestabilnost (labavost mekih česti – npr. kolateralni ligamenti), patelofemoralnu nestabilnost, prijelome patele, bol, kontrakturu koljena, ubrzano trošenje polietilenskog (PE) uložka, kao i ubrzano razlabavljenje proteze.⁵ Poseban entitet je aseptička nestabilnost endoproteze, kao posljedica aseptičke upale u okolici endoprotetskih komponenti, koja nastaje zbog oslobađanja sitnih djelića endoprotetskog materijala. Zbog prisutnosti takvih sitnih stranih čestica aseptičku nestabilnost endoproteze nazivamo "bolest sitnih stranih čestica".

Komplikacije u smislu aseptičkog razlabavljenja i nestabilnosti najčešće dovode do potrebe za revizijom, uz ukupnu stopu od 15% tijekom 10 godina.^{3,4,6} Iako loš izbor pacijenta i dizajn proteze mogu utjecati, pogreške u kirurškoj tehnici najčešći su razlog neuspjeha prilikom ugradnje TPK.⁷ Uzroci neuspjeha: neusklađenost proteze i osovine uda, loše pozicioniranje implantata, disbalans mekih česti, izbor neodgovarajućega tipa (s više ili manje stabilnosti između femoralne i tibijalne komponente) ili, pak, veličine proteze.⁷

Da bi TPK dobro i dugotrajno funkcionirala, implantat mora biti korektno pozicioniran u frontalnoj, sagitalnoj i horizontalnoj ravnini.⁷

Brojne studije ukazale su na ključnu vezu između dugoročnosti preživljavanja TPK i uspješnosti u pokušaju operatera da se ugradnjom proteze restauriraju anatomske i mehaničke osovine donjeg ekstremiteta.⁵

No, kao i u svakoj brzorazvijajućoj grani medicine postavljaju se novi problemi i zahtjevi koje moderna endoprotetika želi riješiti, optimalan mehanički dizajn, razvoj novih, dugotrajnijih materijala, tehnike fiksacije, te razvoj instrumenatrija.

Principi računalne navigacije

Računalno potpomognuta ortopedska kirurgija (Computer aided orthopedic surgery – CAOS) spada u brzo rastuće tehnologije i sve je više ustanova u Europi i svijetu koje koriste navigacijsku kirurgiju u svom radu. Principi i instrumenti računalno potpomognute ortopedske kirurgije u stalnom su razvoju. Suština je u virtualnom povezivanju anatomske struktura, prvenstveno koštane anatomije pacijenta, s računalnom slikom istoga, koristeći podatke slikovnih pretraga ili anatomske intraoperativne podatke. Tijekom operativnog zahvata, svaka je naša kirurška akcija prikazana na ekranu u realnom vremenu na računalno oblikovanom modelu.^{8,9} CAOS se u svojoj kliničkoj implikaciji sastoji od tri komponente:

1. Kirurški objekt (KO) je definiran kao anatomska lokalizacija kirurške akcije. U ortopediji je KO kost ili strukture izravno vezane na kost.⁸
2. Virtualni objekt (VO) je definiran kao tro-dimenzionalna virtualna prezentacija kirurškog objekta. On kirurgu omogućava planiranje kirurške akcije virtualno, te da tako izabranu akciju, čak i bez izravne vizualne kontrole primijeni na samom KO.⁸
3. Navigacijski sustav (NS) je uređaj koji, postavljajući trodimenzionalni koordinatni sustav, povezuje prostorne točke VO u usporedbi s prostornim točkama KO. Pravilno formiranje simulacije KO vrši se uz pomoć instrumenata NS, poput sonde, pipaljke ili ticala (engl. probe). Pipaljka nam služi kako bi na KO odredili potrebne orijentacijske točke ili orijentacijske površine.⁸

Kako bi kirurški objekt, vizualni objekt, te navigacijski sustav postavili u prostornu ravnotežu, potrebna je kalibracija ili baždarenje sustava.

Kalibracija je proces usklađivanja geometrije i oblika VO prema KO u koordinatnom sustavu NS. Kada se NS koristi optičkim sustavom, instrument pipaljka na sebi ima tri ili više optičkih markera. Cilj je postići odgovarajući prikaz KO na monitoru u obliku VO u omjeru jedan naprema jedan. Ovdje je vrijedno napomenuti da je i sama pipaljka ili bilo koje drugo pomagalo, kalibrirano od strane proizvođača i prisutno u računalnom programu navigacijskog sustava kao virtualno pomagalo. Sva pomagala (pile, dlijeta, pipaljka) kojima se koristimo tijekom operativnog zahvata, na sebi imaju optičke markere, kako bi njihov položaj bio uvijek „vidljiv“ infracrvenoj kameri navigacijskog sustava.^{8,9}

Određivanje referentnih točaka je još jedan od ključnih koraka u radu NS. Kako bi NS imao cijelo vrijeme trajanja operacije realnu sliku o pacijentu, unatoč pomacima pacijenta, moramo postaviti tzv. dinamične referentne točke (DRT). Važno je da DRT budu fiksno vezane uz KO. Najčešće su fiksirane izravno na kost pomoću pinova (mono- ili bi-kortikalno). Na DRT su postavljeni svjetlosni markeri, kako bi bili u stalnoj vezi s optičkim sustavom NS. Na samom početku svake operacije mora se uspostaviti lokalni koordinatni sustav kirurškog objekta pomoću DRT-a.⁹

Operater komunicira s računalnim sustavom pomoću posebno prilagođenog sučelja poput "touch screen"-a, sterilnog miša, sustava za prepoznavanje glasa ili virtualne tipkovnice.

Povijest i indikacije računalne navigacije u kirurgiji koljena

Moderne računalno asistirane tehnike u vidu robotike i navigacije datiraju iz 80-ih godina s nekoliko neurokirurških aplikacija. Tehnologija je transferirana u ortopedsku kirurgiju, najprije kroz spinalnu kirurgiju, zatim kuk, a konačno i kirurgiju koljena. Prvi "image-free" navigacijski sustav u kirurgiji koljena koji je bio komercijalno dostupan bio je "The OrthoPilot". Upotrijebljen je prvi put u Grenobleu, u Francuskoj (Sargaglia i Picard) 1997. godine.¹⁰

Računalna navigacija u ortopedskoj kirurgiji koljena koristi se kod rekonstrukcije prednjeg križnog ligamenta, korektivnih osteotomija, te ugradnje endoproteza. Najčešće se koristi kod ugradnje totalne endoproteze koljena.¹¹

Endoprotetika koljena i računalna navigacija

Ugradnja totalne endoproteze koljena uz pomoć računalne navigacije, prema dostupnim podacima iz literature, dokazuje se kao velik napredak u smislu boljeg pozicioniranja komponenti endoproteze, te balansiranja ligamenata. Poznato je da loše pozicioniranje komponenti endoproteze dovodi do ranijeg razlabavljenja proteze.¹²

Osnovni princip na kojem se bazira računalna navigacija koljena je virtualna trodimenzionalna reprodukcija koljena, tj. zglobnih struktura uz pomoć računala, te određivanje referentnih točaka pomoću navigacijskog sustava, po kojima će se resecurirati zglobne površine i postaviti proteza. Navigacijski sustav sastoji se od instrumenata koji na sebi imaju optičke markere, kako bi njihov položaj mogla registrirati infracrvena kamera, te mogla slati podatke

u računalo, a koji se zatim obrađuju odgovarajućim programom.¹³ Tijekom zahvata svaka je radnja prikazana na ekranu u realnom vremenu. Operater putem instrumenata određuje referentne točke na koljenu koje se potom obilježavaju pinovima fiksiranima za kost, a koji su optičkim sustavom povezani s računalom, što omogućuje da operater cijelo vrijeme ima realnu sliku koljena, te da u realnom vremenu detektira kretanje istoga.¹¹

Po određivanju referentnih točaka dolazi do procesa usklađivanja geometrije i oblika virtualnog modela koljena prema koljenu pacijenta, što rezultira kreiranjem trodimenzionalne slike istoga. Za optimalno postavljanje endoproteze koljena potrebno je odrediti mehaničku osovinu donjeg ekstremiteta tako što se odredi centar rotacije kuka i gležnja. Isti se određuju pomoću kinematičkog gibanja donjega ekstremiteta, a dobivene podatke računalo obrađuje po strogo definiranom algoritmu. Zahvaljujući dobivenim podacima o anatomiji koljena i mehaničkoj osovini istoga, računalo obradom istih određuje stupanj deformiteta, te veličinu i položaj ploha za resekciju. Računalna navigacija omogućuje nam i precizniji balans mekih česti koljena, što je preduvjet za dobar rezultat operacije. Prilikom manipuliranja koljenom od strane operatera u valgus-varus položaj, navigacijski sustav bilježi veličinu valgus/varus kuta između tibije i femura, te pomoću algoritma određuje stupanj opuštanja mekih tkiva.¹¹⁻¹³

Računalna navigacija je u zadnjih 10-ak godina doživjela veliki napredak, te danas ima sve širu upotrebu zahvaljujući poboljšanju preciznosti u postavljanju endoproteza koljena.

Temeljem nedavno objavljenih radova na preko 1000 pacijenata, računalna navigacija omogućava bolje postoperativno radiološko poravnanje, odnosno precizniju poziciju ugrađenih komponenti endoproteze, što se kontrolira postoperativnom rentgenskom slikom. TPK je optimalno implantirana, te je preživljenje endoproteze najdulje ukoliko se nalazi u fiziološkom valgusu do 7 stupnjeva. TPK ugrađena u varus poziciji ili nefiziološkoj valgus poziciji (većoj od 7 stupnjeva) smanjuje preživljenje endoproteze i uzrokuje brži razvoj aseptičkih komplikacija. Računalna navigacija pomaže i u određivanju preciznijeg rotacijskog poravnanja komponenti endoproteza. Dobro poravnanje dijelova endoproteze omogućava brži oporavak, agresivniju fizioterapiju, a i sam vijek endoproteze je produljen.¹⁴⁻¹⁹ Računalnom navigacijom smanjuje se i potrošnja krvi, a time i potreba za naručivanjem iste. Na oko 60 pacijenata, koliko ih je bilo obuhvaćeno studijom, pokazalo se znatno smanjenje količine izgubljene krvi i manje smanjenje vrijednosti hemoglobina.²⁰ Unatoč svim do sada

opisanim prednostima računalne navigacije, Bauwens i suradnici su svojom meta-analizom pokazali da, unatoč statističkoj heterogenosti podataka, ne postoje razlike u pozicioniranju komponenti endoproteza koljena konvencionalnom i računalno asistiranom tehnikom.²¹ Taj podatak osobito se odnosi na iskusne operatere koji svojom dobrom orijentacijom ugrađuju TPK gotovo idealno u sve tri dimenzije i bez primjene navigacijskog uređaja. Nužno je naglasiti da računalno asistirana tehnika ugradnje TPK osobito pomaže neiskusnim operaterima i omogućava precizniju ugradnju endoproteze.²² Krivulja učenja je jedan od bitnih čimbenika u uvođenju računalne navigacije u kirurgiji koljena, jer je potrebno određeno vrijeme da operater usvoji nove instrumente, kako bi mu oni predstavljaju pomoć, a ne otežavajuće pomagalo. Prema podacima iz recentne literature, potrebno je 30 operativnih zahvata, kako bi se usvojio instrumentarij, odnosno kako bi se skratilo vrijeme operativnoga zahvata na razinu centara koji se dulje vrijeme bave računalno asistiranom ugradnjom TPK.²³

U loše strane ugradnje endoproteze uz pomoć računala ubrajaju se cijena samoga uređaja, te dulje vrijeme trajanja samoga zahvata. Prosječno se zahvat produljuje za 15-20 minuta, odnosno u prosjeku traje 23% dulje od konvencionalnog zahvata. Dulje vrijeme trajanja zahvata donosi veći rizik od komplikacija, osobito od infekcije.¹⁶ Prema dostupnim podacima iz Njemačke, prosječna cijena računalno asistiranih zahvata je 442 eura više od klasične metode, te zdravstveni sustav ne prepoznaje te troškove, pa je stoga cjelokupni financijski teret na bolnicama: Stoga je potrebna dugogodišnja analiza o ekonomskoj opravdanosti računalne navigacije pri ugradnji TPK.²⁴

Računalno asistirana ugradnja TPK zahtijeva i povećani broj instrumenata u operacijskoj dvorani i na stolovima, što zahtijeva dodatnu educiranost instrumentara, a može dovesti i do tehničkih pogrešaka.

Tehničke greške pri radu s računalnom navigacijom glavni su uzrok neuspjeha samog postupka. U navedeno se ubraja loše postavljanje odašiljača (eng. array) uz pomoć kojih se računalno stvara virtualna slika distalnog femura i proksimalne tibije. Zaklanjanje navedenih odašiljača od strane članova operativnoga tima također može rezultirati u registriranju neadekvatnih podataka od strane računala, te će svi tako dobiveni podaci biti također neadekvatni.

Ukoliko je cijeli postupak proveden korektno, te je postignut cilj – položaj komponenti unutar zadanih limita, preostaje ugradnja konačnih komponenti. Sama tehnički nekorektna ugradnja komponenti koja nije kontrolirana od strane računalne navigacije može

biti uzrokom nezadovoljavajućih rezultata vidljivih tek na postoperativnoj RTG snimci.

Zaključak

Temeljem nedavno objavljenih radova s uzorkom od 1000 pacijenata, računalna navigacija omogućava bolje postoperativno radiološko poravnanje, odnosno precizniju ugradnju femoralne i tibijalne komponente endoproteze. Dobro poravnanje dijelova endoproteze, odnosno ugradnja endoproteze u fiziološkom valgusu do 7 stupnjeva i optimalnoj rotaciji komponenti endoproteze, omogućava brži oporavak, agresivniju fizioterapiju, a i sam vijek endoproteze je produljen. Zaključno, dobro pozicioniranje komponenti endoproteze, uz pomoć računalne navigacije moguće je ukoliko se poštuju sve upute o tehnici same procedure, te o ugradnji definitivnih komponenti proteze.

No, na kraju je potrebno naglasiti da ne postoje studije dugoročnog (long-term) preživljenja TPK ugrađenih uz pomoć računalne navigacije, te se stoga još uvijek ne može dobiti realna slika o vrijednosti računalne navigacije u kirurgiji koljena.

Literatura

1. Canale T. Campbell's Operative Orthopaedics. 10th ed. Philadelphia: Mosby; 2003.
2. Scott NW. Insall, Scott Surgery of the Knee; 4th ed. New York: Elsevier Science Health; 2005.
3. Robertsson O, Dunbar M, Pehrsson T, Knutson K, Lidgren L. Patient satisfaction after knee arthroplasty: a report on 27,372 knees operated on between 1981. and 1995. in Sweden. Acta Orthop Scand. 2000;71: 262-7
4. Robertsson O, Knutson K, Lewold S, Lidgren L. The Swedish Knee Arthroplasty Register 1975-1997: an update with special emphasis on 41,223 knees operated on in 1988-1997 Acta Orthop Scand 2001;72:503-13
5. Weinstein SL, Buckwalter JA. Turek's orthopaedics, principles and their application, 6th ed. New York: Lippincott, Williams & Wilkins; 2005.
6. Rodriguez JA, Bhende H, Ranawat CS. Total condylar knee replacement: a 20-year follow up study. Clin. Orthop. 2001;388:10-17
7. Lotke PA, Lonner JH. Master techniques in orthopaedic surgery; Knee arthroplasty, 2nd ed. New York. Lippincott, Williams & Wilkins; 2003.
8. Nolte LP, Beutler T. Basic principles of CAOS. Injury. 2004;35 suppl.1:S-A6-16.
9. Hinsche AF, Smith RM. Image-guided surgery. Current Orthopaedics. 2001;15:296-303.
10. Friedrich N, Verdonk R The use of computer-assisted orthopedic surgery for total knee replacement in daily practice: a survey among ESSKA/SGO-SSO members;

- 2008 KSSTA. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2008;16:536-43
11. Siston RA, Giori NJ, Goodman SB, Delp SL. Surgical navigation for total knee arthroplasty: a perspective. *J Biomech.* 2007;40:728-35.
 12. Brin YS, Nikolaou VS, Joseph L, Zukor DJ, Antoniou J. Imageless computer assisted versus conventional total knee replacement. A Bayesian meta-analysis of 23 comparative studies. *Int Orthop.* 2010. doi: 10.1007/s00264-010-1008-6
 13. Bauwens K, Matthes G, Wich M, et al. Navigated total knee replacement. A meta-analysis. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89:261-9.
 14. Dutton AQ, Yeo SJ, Yang KY, Lo NN, Chia KU, Chong HC: Computer-assisted minimally invasive total knee arthroplasty compared with standard total knee arthroplasty. a prospective, randomized study. *J Bone Joint Surg Am.* 2008;90:2-9
 15. Tingart M, Lüiring C, Bähis H, Beckmann J, Grifka J, Perlick L. Computer-assisted total knee arthroplasty versus the conventional technique: how precise is navigation in clinical routine? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2008;16:44-50.
 16. Bertsch C, Holz U, Konrad G, Vakili A, Oberst M: Early clinical outcome after navigated total knee arthroplasty. Comparison with conventional implantation in TKA: a controlled and prospective analysis, *Orthopade.* 2007;36:739-45.
 17. Spencer JM, Chauhan SK, Sloan K, Taylor A, Beaver RJ: Computer navigation versus conventional total knee replacement: no difference in functional results at two years. *J Bone Joint Surg Br.* 2007;89:477-80.
 18. Chin PL, Yang KY, Yeo SJ, Lo NN: Randomized control trial comparing radiographic total knee arthroplasty implant placement using computer navigation versus conventional technique *JArthroplasty.* 2005;20:618-26.
 19. Oberst M, Bertsch C, Würstlin S, Holz U: CT analysis of leg alignment after conventional vs. navigated knee prosthesis implantation. Initial results of a controlled, prospective and randomized study, *Unfallchirurg.* 2003;106:941-8.
 20. 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.
 21. Bauwens K, Matthes G, Wich M, et al. Navigated total knee replacement. A meta-analysis. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89:261-9.
 22. Schnurr C, Eysel P, König DP. Do Residents Perform TKAs Using Computer Navigation as Accurately as Consultants? *Orthopedics.* 2011;34:174 DOI: 10.3928/01477447-20110124-05.
 23. Jenny JY, Miehle RK, Giurea A. Learning curve in navigated total knee replacement. A multi-centre study comparing experienced and beginner centres. *Knee.* 2008;15:80-4
 24. Schnurr C, Münnich U, Eysel P, König DP. Computer-assisted joint replacement surgery. *Versicherungsmedizin.* 2010;62:16-9.