

Računarsko modeliranje endoproteze zgloba kolena

Jovan Grujić
DOO "Grujić i Grujić"
Novi Sad, Republika Srbija

Slobodan Tabaković, Milan Zeljković,
Aleksandar Živković,
Department za proizvodno mašinstvo
Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet
tehničkih nauka
Novi Sad, Republika Srbija
tabak@uns.ac.rs; milanaz@uns.ac.rs;
aco@uns.ac.rs;

Jovan Sekulić
Zdravstveni centar
Zrenjanin, Republika Srbija

Sadržaj – Maligno oboljenje distalnog dela butne kosti, femura, ili proksimalnog dela podkolenice, tibija, a ponekad obe kosti istovremeno, može se sanirati, lečiti, hirurškom metodom odstranjivanja dela obolelog koštanog i okolnog mekog tkiva i ugradnjom tumorske endoproteze zgloba kolena "HINGE". Ovaj tip endoproteze je izrađen od dve komponente, proksimalne koja se ugrađuje u butnu kost i distalne koja se ugrađuje u podkolenicu. Konstruktivno su međusobno povezane osovinicom čime se ostavlja šarnirna veza. Tumorska endoproteza zgloba kolena omogućuje fleksiju u kolenu, ima antirotacioni karakter i sposobnost da preuzme i prenese puno opterećenje sa proksimalne, femuralne, komponente i distalne, tibijalne, komponente. Projektovanje tumorske endoproteze zgloba kolena "HINGE" predstavlja kompleksnu proceduru baziranu na obradi dijagnostičkih snimaka, Rtg, CT, MRI. Uredaji za medicinsku dijagnostiku, kompjuterizovanu tomografiju, CT, MRI obezbeđuju niz digitalizovanih slika koje predstavljaju poprečne preseke kosti koja se snima. Primenom odgovarajućeg softvera digitalizovani elementi slike, pikseli, se prevode u prostorne, voksele. Tako se dobija računarski model koštanog tkiva. Na osnovu ovako izrađenog računarskog modela koštane mase moguće je odrediti sve potreban geometriske parametre kako za deo kosti koji je zahvaćen promenama i koji je neophodno hirurški odstraniti, tako i dimenzije medularnog kanala u koji se ugrađuje telo femuralne i tibijalne komponente.

Ključne reči: Tumorska endoproteza zgloba kolena "HINGE"
Rekonstruktivna koštana hirurgija

I. UVOD

Pojava benignih i malignih tumora i njihovih recidiva predstavlja surovu realnost. Kako za sada nisu razvijene pouzdane mere prevencije za sprečavanje pojave najčešćih tipova tumora to se nameće pojava za definisanje protokola, skup aktivnosti nakon dijagnoze postojanja tumora na koštanom zglobnom sistemu.

Primena tumorske resekcione endoproteze izrađene po meri "Custom Made" ili modularne "Readi Made" u rekonstruktivnoj hirurgiji nakon odstranjenja (extrakcije) koštanog tumora danas predstavlja sigurnu proceduru i "zlatni standard". Ugradnja tumorske endoproteze u zoni zgloba kuka, zgloba kolena, zgloba ramena, zgloba lakta i medijalnog dela dugih kostiju, nadlaktica (humerus), butna kost (femur), podkolenica (tibija) (sl.1), pa i zamena kompletne butne kosti,

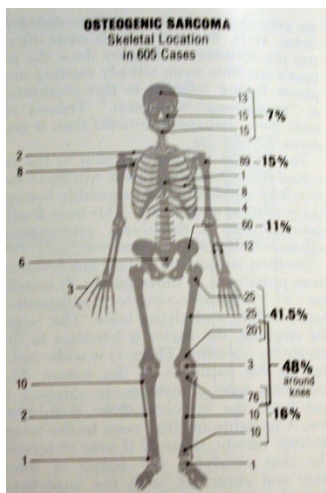
a da se obezbedi funkcionisanje zgloba kuka i zgloba kolena "total femur" ili da se zameni kompletna nadlaktica, a da se obezbedi funkcionisanje zgloba ramena ili zgloba lakta "total humerus", danas predstavlja rutinsku hiruršku metodu sa dobrom postoperativnom prognozom.



Slika 1. Položaji endoproteza u ljudskom telu

Tumorska endoproteza zgloba kolena "HINGE" se koristi kod pojave malignih ili benignih koštanih tumora u predelu zgloba kolena, distalni deo butne kosti, femura ili proksimalnog dela podkolenice, tibije ili usled komplikacija posle ugradnje cementne ili bezcementne proteze zgloba kolena, infekcije, prelomi, razlabavljenje.

Učestalost pojave malignih promena u predelu, leziji, zgloba kolena iznosi oko 46% (sl. 2).



Slika2. Učestanost pojave malignih oboljenja u koštanom sistemu

II. CILJ RADA

Cilj istraživanja sprovedenog u radu je definisanje računarskog modela koštane mase butne kosti i podkolenice. Na bazi prethodnog je razvijen računarski model endoproteze zgloba kolena "HINGE". Time je stvorena osnova za planiranje hirurškog zahvata, simuliranje ugradnje endoproteze, simuliranje biomehaničkih uslova opterećenja i početnih uslova uklještenja, i primenom MKE određivanje stanja deformacija i stanje napona, mesto maksimalnih Von Misseovih napona tj. mesto kritičnog preseka (sl. 3).



Slika 3. Računarski model butne kosti sa implementiranom protezom

III. MATERIJAL I METODE

Za pravilno dimenzionisanje tumorske endoproteze kolena "HINGE" neophodno je odrediti geometrijske karakteristike koštane mase i podkolenice. Osim toga neophodno je pravilno određivanje položaja i veličine koštane mase koja je zahvaćena malignim promenama, kao i geometrijske parametre zdravog dela koštanog tkiva u koji se može ugraditi telo endoproteze zgloba kuka. To je u praksi realizuje primenom uređaja za medicinsku dijagnostiku, Rtg, CT, MRI, koji u savremenim rešenjima daju dovoljno podataka za korektno određivanje neophodnih geometrijski parametara koštane mase koja se snima.

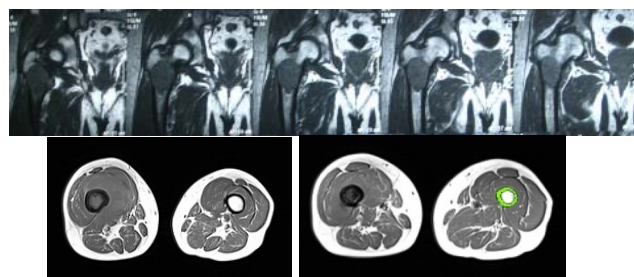
Rtg aparat daje analogni signal, ali uz poznate parametre snimanja i korišćenjem kontrolne letve koja se postavlja u nivo sredine kosti, mogu se dovoljno tačno odrediti geometrijski parametri neophodni za konstrukciju (sl. 4), a samim tim i izradu tumorske endoproteze zgloba kolena „HINGE“.



Slika 4. Slika koštanog tkiva zahvaćenog promenama

Dijagnostički medicinski uređaji za kompjuterizovanu tomografiju CT i MRI omogućuju formiranje digitalizovanih snimaka u 3 karakteristične ravni:

- AP (anteposteriorna)
- Sagitalna
- Koronarna



Slika 5. Dijagnostički medicinski uređaji i snimci obolelih ekstremiteta

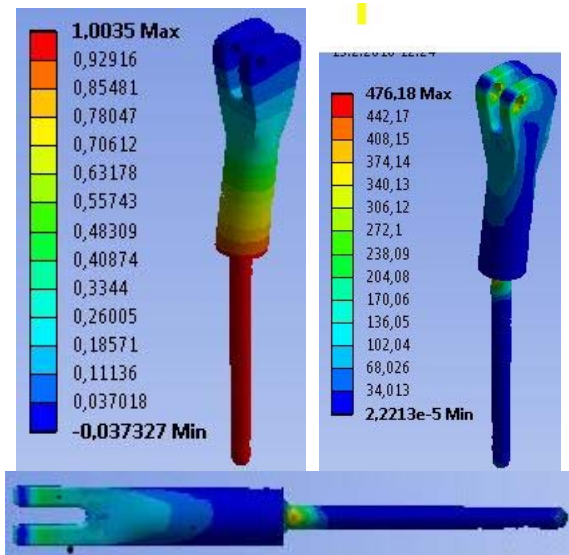
Digitalizovani snimci se prikazuju po nivoima, pri čemu se rastojanje između nivoa može menjati. Na taj način se dobija niz digitalizovanih slika koje predstavljaju poprečne preseke kosti. Primenom specijalizovanog programskog softvera digitalizovani elementi slike, pikseli prevode se u prostorne elemente voksele i tako se dobija oblak, ili skup tačaka u prostoru, od kojih jedan podskup čine spoljašnju konturu, a drugi podskup unutrašnju konturu kosti. To predstavlja računarski model koštane mase na osnovu koga se mogu tačno odrediti elementi dela kosti koji je zahvaćen promenama i koji treba hirurški odstraniti i zameniti endoprotezom kao i geometriske parametre zdravog dela kosti, medularni kanal, u koji se može postaviti telo endoproteze kako za femuralnu tako i za tubijalnu komponentu. Na osnovu ovog računarskog

modela koštanog tkiva može se formirati računarski model endoproteze.

Računarski model endoproteze zgloba kolena pogodan za simuliranje ugradnje, brzu izradu prototipa na 3D štampaču, primenom CAD/CAM tehnologije izradu fizičkog modela pogodnog za ugradnju, simuliranje biomehaničkih uslova opterećenja i graničnih uslova uklještenja, moguće je metodom MKE odrediti stanje deformacije kao i naponsko stanje i mesto maksimalnih Von Misesovih napona tj. mesto kritičnog preseka gde postoji opasnost od loma usled zamora materijala. Za konkretan slučaj na bazi Rtg snimka projektovana je endoproteza zgloba kolena. Izvršeno je simuliranje ponašanje navedene proteze primenom metode konačnih elemenata. Rezultati navedene simulacije prikazani su na slici 6.

Na osnovu biomehaničke analize uslova opterećenja tumorske endoproteze zgloba kolena ugrađena u distalni deo butne kosti, femuralna komponenta, može se zaključiti da je butna kost, a samim tim i telo endoproteze zgloba kolena koja je ugrađena u butnu kost, izloženo najnepovoljnijem opterećenju u trenutku promene položaja od stajanja ka sedanju i obrnuto. Analiza pokazuje da je butna kost, a samim tim i endoproteza zgloba kolena izložena naizmenično promenljivom opterećenju na savijanje, a koje potiče od mase trupa, mase gornjih ekstremiteta i mase gornje dela donjih ekstremiteta, kao i dejstva unutrašnjim mišićnih sila.

Ako intenzitet rezultantne sile zgloba kuka za monopodalni oslonac u određenoj fazi koraka iznosi 4500 N to se može uzeti da je intenzitet opterećenja 2200-2500N koji deluje u zglobu kuka vertikalno dok je butna kost horizontalno opterećena i uklještena u zglobu kolena. Analiza ponašanja endoproteze zgloba kolena je izvršena metodom konačnih elemenata. Endoproteza zgloba kolena je diskretizovana sa 4470 konačnih elemenata tipa SOLID 186. Na slici 6 je prikazan diskretizovani model, kao i rezultati simulacije ponašanja endoproteze zgloba kolena. Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da u maksimalna pomeranja vrlo mala (oko 40 μm), dok se maksimalni naponi pojavljuju na mestu prelaza između vrha zgloba kolena i konusnog elementa koji se fiksira u medularni kanal. Maksimalna vrednost napona iznosi 476 [MPa]. Dobijeni maksimalni naponi se poklapaju i sa dosadašnjim istraživanjima realizovanim u ovoj oblasti [3].



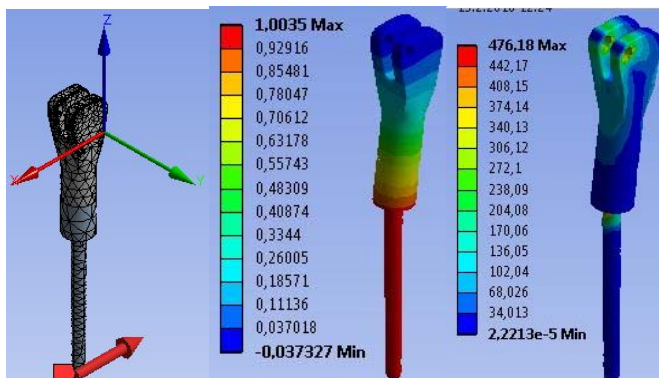
Slika 6. Naponi i deformacije dela endoproteze zgloba kolena ugrađenog u distalni deo butne kosti

Na osnovu dobijenih rezultata simulacije ponašanja ugrađene endoproteze zgloba kolena ista je izrađena i to u dve verzija. U prvom slučaju su elementi endoproteze izrađeni od biomedicinski kompatibilnog čelika, a u drugom je vrh endoproteze zgloba kolena izrađen od biomedicinski kompatibilnog čelika a drugi deo od titanijuma (sl. 7). Rezultati simulacije su pokazali da primena različitih materijala nema veliki uticaj na veličinu pomeranja u maksimalnih Von-Misesovih napona. Primena različitih materijala je posledica tehnoloških zahteva.



Slika 7. Izgled tumorske endoproteze zgloba kolena

Nakon izvršenih hirušskog zahvata izvršeno je snimanje ugrađene endoproteze zgloba kolena (sl.8).

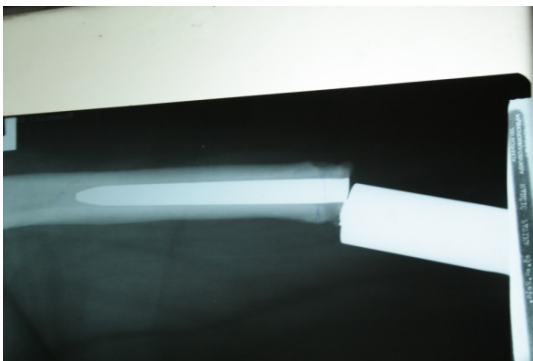




Slika 8. Snimak ugrađene endoproteze zgloba kolena

Komplikacije koje mogu nastupiti nakon ugradnje endoproteze zgloba kolena mogu biti:

- Rane, infekcija
- Kasne, razabavljenje lom tela endoproteze usled zamora materijala (sl. 9).



Slika 9. Lom tela endoproteze zgloba kuka

IV. DISKUSIJA

Primena CAE metoda u procesu analize modela endoproteze ukazuje na mesto, položaj i vrednost maksimalnih Von Misesovih napona, kao i deformacije endoproteze pri kretanju pacijenta i u kritičnim fazama eksploatacije kao što su ustajanje i sl. Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da su maksimalni naponi, u najopterećenijem stanju više od dva puta manji od maksimalnih dozvoljenih napona za titanijum koji prelaze 1000 [MPa].

V. ZAKLJUČAK

Kao što se iz predhodnog vidi komplikacije koje nastaju ugradnjom endoproteza u telo pacijenta mogu biti uzrok značajnih trauma koje kao posledicu zahtevaju kompleksniji i rizičniji zahvat revizije endoproteze. Zbog toga projektovanje

i izrada endoproteza prema merama pacijenta zahteva pažljivo planiranje i analizu u svim segmentima eksploatacije.

Zbog toga se kod tumorskih endoproteza u koje spada i tumorska endoproteza zgloba kolena „HINGE” podrazumevaja primenu savremenih inženjerskih alata u vidu programskih sistema za modelovanje, proračun i definisanje upravljačkih programa za izradu na NUMA.

Simuliranje biomehaničkih uslova opterećenja i graničnih uslova uklještenja omogućuje definisanje položaja i veličine maksimalnih napona što olakšava pravilan izbor konstruktivnog rešenja i izbor materijala. Kao što je u radu prikazano na taj način se stvaraju preduslovi i za brzu i tačnu izradu endoproteze po meri pacijenta („CUSTOM MADE”) pogodne za ugradnju.

LITERATURA

- [1] Ahn, J. M., Suh, J. T.: Detection of Locking Bolt Loosening in the Stem-Condyle Junction of a Modular Femoral Stem in Revision Total Knee Arthroplasty, The Journal of Arthroplasty Vol. 25 No. 4 2010, doi:10.1016/j.arth.2009.06.014
- [2] Grujić, J., Živković, A., Zeljković, M., Gatalo, R.: Računarsko modeliranje i izrada tumorske proteze zgloba kuka, Infotech, Jahorina, 2009
- [3] Grujić, J., Tabaković, S., Zeljković, M., Živković, A., Vučinić, Z., Djordjević, A., Mandić, N., Lujić, , Sekulić, J.: Projektovanje specijalne endoproteze "Spacer", Acta chirurgica Iugoslavica, 2013, Vol 60, Issue 2, pp. 109-113, DOI 10.2298/ACI1302109G
- [4] Grujić, J., Tabaković, S., Zeljković, M., Živković, A., Bojanić, M., Sekulić, J.: Računarsko modeliranje nadlaktice, Infotech, Jahorina, 2015
- [5] Lim L, Trousdale RT, Berry DJ, et al. Failure of the stemcondyle junction of a modular femoral stem in revision total knee arthroplasty. J Arthroplasty 2001;16:128.
- [6] Isaack PS, Cottrell JM, Delgado S, et al. Failure at the taper lock of a modular stemmed femoral implant in revision knee arthroplasty. A report of two cases and a retrieval analysis. J Bone Joint Surg Am 2007;2271:89.
- [7] Tabaković S, Živković A, Grujić J, Zeljković M. Using CAD/CAE software systems in the design process of modular, revision total hip endoprosthesis. Academic Journal of Manufacturing Engineering – AJME. 2011; 9 (2): 97-6

ABSTRACT

Malignant disease of the distal femur, femoral or proximal part of the lower leg, tibia, and sometimes both at the same time the bones can be repaired, treated by surgical method of removing the diseased part of the bone and the surrounding soft tissue and installation of tumor endoprosthesis knee joint "HINGE". This type of prosthesis is made up of two components, which incorporates the proximal to the distal femur and which are built in the lower leg. Parts are interconnected by shaft thus achieving hinge connection. Tumor endoprosthesis of a knee joint allows flexion at the knee, has Anti-rotation character and ability to assume the full load is transferred to the proximal, femoral, and distal components, tibial components. Design of tumor endoprosthesis of the knee joint "HINGE" is a complex

procedure based on the processing of diagnostic images, Rtg, CT, MRI. Devices for medical diagnostics, computed tomography, CT, MRI provides a set of digitized images that represent cross-sections of bone that is being recorded. By applying the appropriate software digitized picture elements, pixels, are translated into spatial, voxels. This gives the computer model of the bone tissue. On the basis of such a developed computerized model of bone mass it is possible to specify all the required geometric parameters both for the part of bone that is affected by the changes, and which is necessary

to be surgically removed, as well as the dimensions of the medullary canal, which is installed in the body of the femoral and tibial components.

**COMPUTER MODELING OF ENDOPROSTHESIS OF
JOINT OF A NECK**

Grujić Jovan, Tabaković Slobodan, Zeljković Milan, Živković
Aleksandar, Sekulić Jovan