

# Računarsko modeliranje specijalne endoproteze „Spacer”

Jovan Grujić,  
DOO Grujić & Грујић  
Novi Sad, Srbija

Slobodan Tabaković,  
Milan Zeljković,  
Aleksandar Živković,  
Fakultet tehničkih nauka  
Novi Sad, Srbija  
[tabak@uns.ac.rs](mailto:tabak@uns.ac.rs),  
[milanz@uns.ac.rs](mailto:milanz@uns.ac.rs),  
[acoz@uns.ac.rs](mailto:acoz@uns.ac.rs)

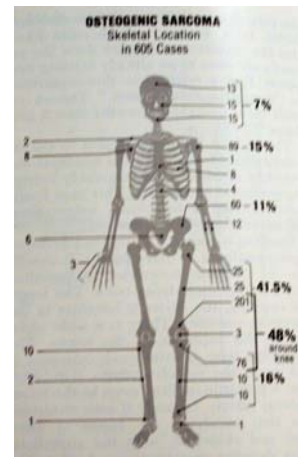
Jovan Sekulić  
Zdravstveni centar  
Zrenjanin, Srbija

*Sadržaj*—Maligna oboljenja medijalnog dela butne kosti (Femura), nadlaktice (Humerus), ili golenjače (Tibije), se leče hirurškim odstranjenjem dela obolelog koštanog tkiva i ugradnjom specijalne endoproteze „Spacer”. Ovaj tip endoproteze se izrađuje iz dva dela (proksimalna i distalna komponenta) koji se povezuju vijčanom vezom. Konstrukcijom endoproteze se obezbeđuje antirotaciono svojstvo veze i omogućuje prenošenje opterećenja sa proksimalnog dela koštanog tkiva na distalni a da pri tome sami vijci koji obezbeđuju vezu nisu izloženi opterećenju. Za pravilno dimenzionisanje i implementaciju specijalne endoproteze neophodno je odrediti parametre koštane mase i oboljenja, a zatim i izraditi računarski model same endoproteze. Projektovanje specijalne endoproteze „Spacera” predstavlja kompleksnu proceduru baziranu na obradi dijagnostičkih snimaka (RTG, CT ili MR) pri čemu se primenom specijalizovanog softvera digitalizovani elementi slike pikseli prevode u voksele. Na taj način se dobija geometrijski model koji sadrži oblik spoljašnje (korteks), i unutrašnje geometrije kosti (medularni kanal). Na osnovu ovako izrađenog računarskog modela moguće je tačno odrediti i deo kosti koji je zbog promena neophodno odstraniti kao i dimenzije medularnog kanala, prostora u koji se ugrađuje proksimalna odnosno distalna komponente specijalne endoproteze „Spacer”.

*Ključne riječi:* Tumorska endoproteza „Spacer”, dijagnostički snimci, rekonstrukcija geometrije

## I. UVOD

Jedno od potencijalno najtraumatičnijih oboljenja koštano-zglobnog sistema čoveka čine maligna oboljenja. Učestalost njihove pojave kao bilo primarnih ili sekundarnih, metastaza, kod dugih kostiju iznosi: 15% kod nadlaktica, 16% kod potkolenica, a kod butnih kostiju 42% od svih koštanih tumora (slika 1) [3].



Slika 1. Učestalost pojave malignih promena na koštanom sistemu

Butna kost u okviru koštanog sistema je najčešće izložena pojavi kako primarnih koštanih tumora, tako i metastazama drugih tumora. Pojava koštanih tumora u medijalnom delu butne kosti iznosi 25% svih koštanih tumora.

Primena endoproteza u procesu saniranja primarnih tumora ili metastaza je opšteprihvaćena metoda sa onkološkog aspekta sa dobrom postoperativnom prognozom, čime se omogućava očuvanje funkcionalnosti ekstremiteta.

Ova operativna metoda podrazumeva hirurško odstranjivanje medijalnog dela butne kosti koji je zahvaćen malignim promenama i ugradnju specijalne tumorske endoproteze „Spacer” (slika 2) [2]. Time se omogućava eliminisanje bola, sprečava napredovanje bolesti i pojava patoloških preloma na mestu destrukcije koštanog tkiva.



Slika 2. Endoproteza „Spacer” ugrađena u butnu kost

Specijalna endoproteza „Spacer“ je po strukturi dvodelna, sastavljena iz distalnog i proksimalnog dela koji se implementiraju u odgovarajuće delove femura [9]. Nakon ugradnje, proksimalna i distalna komponenta se povezuju vijčanom vezom, pri čemu je konstruktivno obezbeđena antirotaciona sposobnost veze, i omogućeno da endoproteza prenese opterećenje sa proksimalnog dela koštanog tkiva na distalni deo, a da pri tome vijci koji obezbeđuju vezu nisu izloženi opterećenju (slika 3).



Slika 3: Endoproteza „Spacer“

U radu je opisan postupak određivanja parametara za dimenzionisanje kako koštane mase koja je zahvaćena malignim promenama i koju treba odstraniti, tako i veličine medularnog kanala u proksimalnom i distalnom delu butne kosti u koji je moguće ugraditi endoprotezu „Spacer“.

## II. MATERIJALI I METODE

### A. Definisane uslova opterećenja

Na osnovu biomehaničke analize uslova opterećenja specijalne endoproteze „Spacer“ ugrađene u medijalni deo butne kosti može se zaključiti da je butna kost (femur) izložena najvećim opterećenjima pri promeni položaja od stajanja ka sedenju i obratno [1]. Analize ukazuju da je butna kost, a samim tim i endoproteza izložena naizmenično-promenljivoj sili na savijanje, koja potiče od mase trupa (slika 4).



Slika 4. Najnepovoljniji položaj femura sa ugrađenom endoprotezom „Spacer“

Kao posledica naizmenično-promenljivog savijanja, može nastupiti razlabavljenje endoproteze ili prelom endoproteze usled zamora materijala [2].

### B. Dimenzionisanje endoproteze „Spacer“

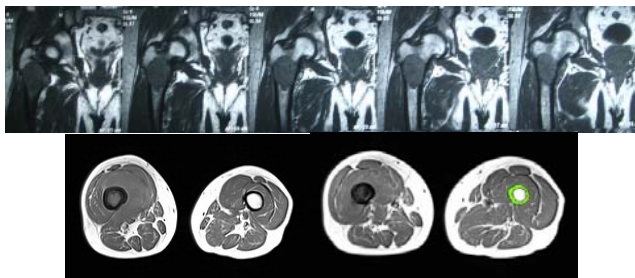
Za pravilno dimenzionisanje endoproteze, neophodno je odrediti položaj i tačne dimenzije koštanog tkiva koje je zahvaćeno malignim promenama, kao i dimenzije biološkog prostora u koje je moguće ugraditi endoprotezu.

Uređaj za medicinsku dijagnostiku, Rtg aparat, daje analogni signal i uz poznate parametre snimanja, i korišćenje kontrolne letve, mogu se dovoljno tačno odrediti parametri potrebni za konstrukciju, a samim tim i izradu endoproteze.

Sa druge strane, uređaji za kompjuterizovanu tomografiju, skener i magnetna rezonanca (slika 5), omogućuju formiranje digitalnih snimaka u tri karakteristične ravni: koronalnoj, sagitalnoj i anteposteriornjoj, i to po nivoima [4]. Ovako dobijeni snimci čine niz digitalizovanih slika, koje predstavljaju poprečne preseke objekta koje se snima (slika 6).



Slika 5. Uređaj za magnetnu rezonancu

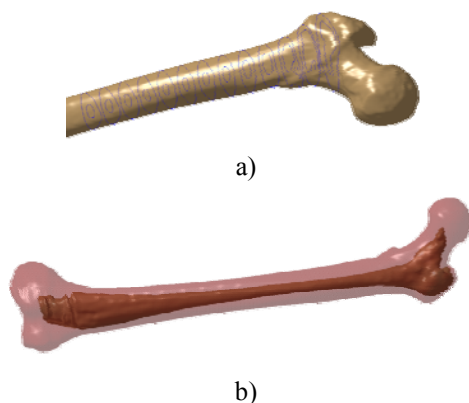


Slika 6: Snimci magnetne rezonance po nivoima

Uz priemnu odgovarajućih programskih sistema, digitalizovane elemente slike, piksele, je moguće prevesti u prostorne elemente, voksele, čime se dobija rekonstruisani objekat snimanja uz poznatu tačnost (zavisnu od kvaliteta uređaja). Ovako dobijen skup tačaka predstavlja oblak tačaka u prostoru, od kojih jedan podskup predstavlja spoljašnji, a drugi unutrašnji oblik kosti koja se snima.

### C. Računarsko modeliranje

Proces računarskog modeliranja endproteze „Spacer” se zasniva na rekonstrukciji geometrije femura pacijenta, u cilju izdvajanja dve grupe parametara. To su diskretni parametri koji opisuju dimenzije obolelog dela femura koji se operativnim postupkom uklanja i unutrašnju geometriju femura, tj. medularni kanal (slika 7a i b).



Slika 7. Računarski model butne kosti

Na osnovu ovih parametara se definišu proksimalni i distalni segment endproteze (slika 8).



Slika 8: Endproteza „Spacer”, ugrađena

Drugu fazu razvoja endproteze predstavlja optimizacija računarskog modela na osnovu analize računarskog modela metodom konačnih elemenata. Optimizacija se vrši korekcijom dimenzija u cilju smanjenja napona u kritičnim presecima.

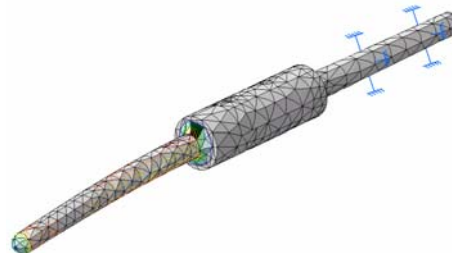
### D. Analiza ponašanja endproteze metodom konačnih elemenata

Jedan od važnih koraka u procesu razvoja endproteza prema merama pacijenta predstavlja analiza njenog ponašanja u eksploatacionim uslovima, tj. posle ugradnje. Na taj način se omogućava optimizovanje geometrije u cilju smanjenja napona koji se javljaju u eksploataciji. Biomehanička analiza sila koje se javljaju na elementima skeleta ukazuju na činjenicu da se na proksimalnom delu femura pri maksimalnom opterećenju kod pacijenta mase 100 [kg], javljaju sile intenziteta 500[N]. Obzirom da se pri dinamičkim opterećenjima koji se javljaju u hodu ili fizičkim aktivnostima javljaju znatno veća opterećenja procenjuje se da je intenzitet sile u tom slučaju oko 1000 [N]. Pri tome se najnepovoljnijim smatra slučaj kada je distalni segment endproteze fiksiran a na vrh proksimalnog segmenta deluju redukovana sila koja deluje na karlicu u kombinaciji sa momentom od 100[Nm], za konkretan slučaj.

U cilju analize endproteze „Spacer” izvršena je diskretizacija modela heksaedarnim, izoparametarskim, konačnim elementima. Na diskretizovani model sastavljen od 10150 konačnih elemenata su postavljena ograničenja i opterećenja u skladu sa biomehaničkim analizama, a zatim izvršena analiza Gausovom metodom primenom programskog sistema Catia V5r21.

## III. REZULTATI

Analiza sprovedena metodom konačnih elemenata ukazuje da se maksimalni naponi javljaju na proksimalnom segmentu na sastavu elementa za vezu sa femurom i elementa koji zamenjuje odstranjeni deo obolelog femura (slika 9).



Slika 9. Raspored ekvivalentnih Von Misesovih napona na endprotezi „Spacer”

Dobijani rezultati pokazuju da maksimalna vrednost Von Misesovog napona u kritičnom preseku endproteze „Spacer” iznosi 320 [MPa], što je značajno manje od zatezne čvrstoće titanijumskih legura koje se koriste u medicinske svrhe (480-900 [MPa]).

#### IV. DISKUSIJA

U ortopedskoj hirurgiji nakon ugradnje endoproteza „Spacer“ mogu nastati dva tipa komplikacija, koje se dele na rane i kasne komplikacije. U rane komplikacije spadaju infekcije a u kasne: razlabavljenja i prelom endoproteze usled dinamičkih opterećenja (slika 10) [7].



Slika 10. Prelom „Spacer“ endoproteze butne kosti

Kao što se na slici 10 i vidi ovi prelomi u praksi najčešće nastaju u zonama u kojima je analizom metodom konačnih elemenata utvrđeno da se javljaju maksimalni naponi. Budući da je postupak revizije ovakve operacije veoma kompleksan, u savremenim uslovima se smatra da je u fazama razvoja endoproteza, neophodna numerička analiza primenom metode konačnih elemenata.

#### V. ZAKLJUČAK

Savremene metode razvoja i izrade endoproteza prema merama pacijenta, u koje spadaju i endoproteze tipa „Spacer“ podrazumevaju primenu računarskih sistema koji omogućuju rekonstrukciju obolele kosti na osnovu digitalnih snimaka dobijenih od uređaja za medicinsku dijagnostiku, uz primenu CAD/CAE/CAM programskih sistema za brzu izradu endoproteze „Spacer“, pogodne za ugradnju. Osim toga značajna poboljšanja se postižu direktnom saradnjom lekar-inženjer što omogućuje dobijanje endoproteza pogodnih za jednostavnu ugradnju uz minimalnu invazivnost zahvata. Tako se može znatno skratiti vreme izrade endoproteze „Spacer“, što je značajno za saniranje malignih promena na kostima.

#### VI. LITERATURA

- [1] Bombelli, R.: Osteoarthritis of the hip, Springer verlag, New York, 1983
- [2] Bennett D, Goswami T. Finite element analysis of hip stem designs. *Materials & Design*. 2008; 29: 45-60
- [3] Callaghan J, Rosenberg A, Rubash H. *The adult hip*. Lippincott Williams & Wilkins, 2007.
- [4] Chandrasekar, C. R., Grimer, R.J., Carter, S. R., Tillman, R. M., Abudu, A., Buckley, L.: Modular endoprosthetic replacement for tumours of the proximal femur, *The Journal of Bone and Joint Surgery*, London, January 2009.

- [5] Grujić, J.: Računarsko modeliranje i eksperimentalno ispitivanje proteze zgloba kuka, magistarska teza, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2008.
- [6] Grujić, J., Živković, A., Zeljković, M., Gatalo, R.: Računarsko modeliranje i izrada tumorske proteze zgloba kuka, Infoteh, Jahorina, 2009.
- [7] Ruzzkowski, I.: Osnove primijenjene biomehanike zgloba kuka, Zagreb, 1989.
- [8] 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
- [9] Zlatić, M., Radojević, B.: Degenerativna oboljenja kuka i hirurško lečenje, Beograd, 1989.

#### NAPOMENA

*Rad predstavlja deo istraživanja na projektu "Savremeni prilazi u razvoju specijalnih uležištenja u mašinstvu i medicinskoj protetici", TR 35025, podržanom od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, Republike Srbije.*

#### ABSTRACT:

Tumor disease of the medial part of the thigh bone (femur), the upper arm (humerus), or tibia (tibia), are treated with surgical removal of the diseased part of the bone and endoprosthesis implantation special "Spacer". This type of prosthesis is made of two parts (proximal and distal component) that connect screw connection. Construction of endoprosthesis allows the transfer of load from the proximal to the distal bone and they themselves provide connection screws are not exposed to stress. For proper dimensioning and implementation of special endoprosthesis is necessary to determine the parameters of bone mass and disease and then develop a computer model and the endoprosthesis. Designing a special endoprosthesis "Spacer" is a complex procedure based on the processing of diagnostic images (X-ray, CT or MRI) with the use of specialized software digitized picture elements pixels translate into voxels. In this way a geometric model that contains a form of external (cortex), and the internal geometry of the bone (medullary canal). On the basis of such a developed computer models can accurately determine the portion of bone that is removed because of the changes required and the dimensions of medullary canal space that is built into the proximal and distal components of special endoproteze spacer.

Keywords-tumor endoprosthesis spacer, diagnostic images, geometry reconstruction

#### COMPUTER MODELING OF SPECIAL ENDOPROSTHESIS "SPACER"

Grujić, J., Tabaković, S., Zeljković, M., Živković, A., Sekulić, J.