

Geometrijsko modelovanje proksimalne komponente tumorske modularne endoproteze zgloba kuka

Aleksandar Đorđević
IO HB Banjica, Beograd, Srbija

Jovan Grujić
DOO „Grujić i Grujić“
Novi Sad, Republika Srbija

Slobodan Tabaković,
Milan Zeljković,
Departman za proizvodno
mašinstvo
Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet
tehničkih nauka
Novi Sad, Republika Srbija
tabak@uns.ac.rs; milanz@uns.ac.rs;

Zoran Vučinić, Nikica Mandić,
Nenad Lujčić
IO HB Banjica, Beograd, Srbija

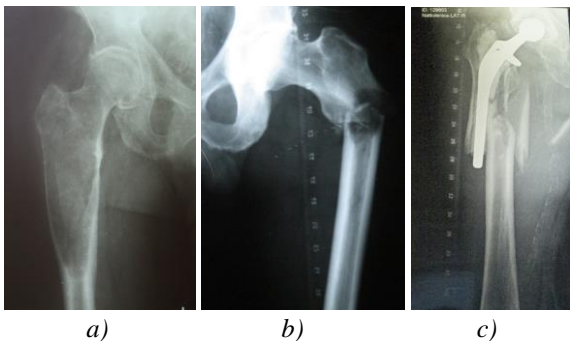
Sažetak: Proksimalna (gornja) komponenta tumorske modularne endoproteze zgloba kuka zamenjuje gornji deo butne kosti koji je oštećen kao posledica komplikacija nakon ugrađene endoproteze zgloba kuka ili se mora odstraniti usled pojave koštanog tumora. Njen oblik i dimenzije treba da obezbede ponovo uspostavljanje funkcije zgloba kuka i povrate pokretljivost donjih ekstremiteta pacijenta.

Za potrebe formiranja parametarskog modela ovog segmenta endoproteze izvršena je analiza oblika i dimenzija proksimalnog segmenta tumorskih monolitnih endoproteza zgloba kuka „custom made“ proizvedenih u DOO „Grujić i Grujić“ Novi Sad, a ugrađenih na IOHB „Banjica“ Beograd u periodu od 2005 do 2015 godine. Kao najvažniji parametri, analizirani su: rastojanje od centra rotacije glave endoproteze do nivoa resekcije i odgovarajući uglovi, a zatim je formiran prostorni model baziran na najvažnijim geometrijskim parametrima. Za potrebe verifikacije uticaja geometrijskih parametara na endoprotezu izvršena je analiza napona i deformacija primenom metode konačnih elemenata a zatim i izrađeno više fizičkih prototipova proksimalne komponente endoproteze.

Gljučne riječi: geometrijsko modelovanje, endoproteza zgloba kuka, modularna endoproteza

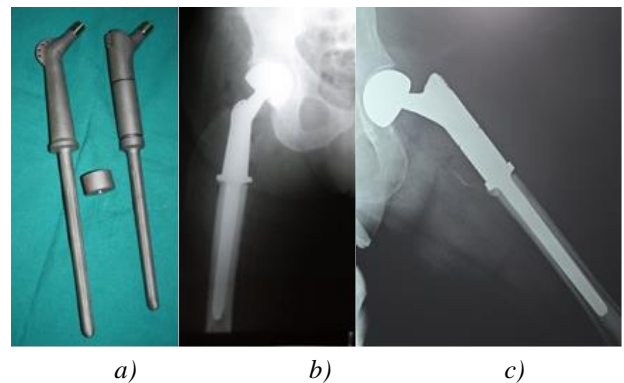
I. UVOD

Na gornjem delu butne kosti, nakon ugrađnje endoproteze zgloba kuka, mogu se pojaviti različiti tipovi komplikacija u koje spadaju koštani tumor, patološki prelom ili gubitak koštane mase. (Slika 1.), koji ugrožavaju funkciju donjih ekstremiteta.



Slika 1. Gornji deo butne kosti zahvaćen a) koštanim tumorom, b) sa patološkim prelomom, c) kasna komplikacija nakon aloaltroplastike

Saniranje ove komplikacije i povratak funkcije ekstremiteta moguće je realizovati hirurškim odstranjivanjem obolelog ili oštećenog gornjeg dela butne kosti a zatim i ugradnjom tumorske endoproteze izrađene prema meri pacijenta („custom made“) ili prilagođene pacijentu („reade made“) (Slika 2.) [1-3].



Slika 2 Tumorska endoproteza zgloba kuka a) monolitna „custom made“ i modularna „reade made“, b) ugrađena monolitna, c) ugrađena modularna

Ovakav pristup otklanjanju komplikacija kod pacijenata sa ugrađenom endoprotezom zgloba kuka zahteva [4]:

- Kompleksan postupak definisanja geometrijskih parametara endoproteze
- Potreban vremenski period za projektovanje i računarsku verifikaciju endoproteze
- Kompleksan proces izrade, zbog neophodnosti definisanja i izvođenja tehnološkog procesa u pojedinačnoj proizvodnji
- Visoku cenu

U želji da se postupak prilagođavanja endoproteze maksimalno ubrza razvijene su endoproteze koje čini niz modularno projektovanih elemenata. Njihovim kombinovanjem pri izboru endoproteze se postiže maksimalno približavanje realnim morfološkim parametrima kostiju čime se

ispunjavaju preduslovi da se posle ugradnje endoproteze obezbedi autonomnost kretanja što je moguće sličnija kretanju pre hirurškog zahvata (Slika 3.).



Slika 3 Tumorska modularna endoproteze zgloba kuka

Modularne endoproteze zgloba kuka zbog svoje prilagodljivosti mogu biti korišćenje kao zamena za više različitih tipova monolitnih endoproteza, pre svega primarnih monolitnih, revizionih, tumorskih i sl., što im obezbeđuje široku primenu u kliničkoj praksi [5].

Struktura i broj komponenti modularnih endoproteza može biti promenljiv. U osnovi, endoprotezu čine [6]:

- Gornja komponenta
- Središnja komponenta
- Donja komponenta, telo endoproteze
- Elementi za povezivanje

Gornja komponenta endoproteze ima zadatak da obezbedi vezu između donje komponente i glave endoproteze i obezbedi očuvanje rastojanja između centra rotacije zgloba kuka i uzdužne ose butne kosti kao i rastojanja između centra rotacije i nivoa resekcije butne kosti. Na taj način se stvaraju uslovi za očuvanje prirodnih pokreta posle zamene zgloba kuka i omogućiti kretanje.

Gornja komponenta (Slika 4.) se sastoji iz dva segmenta: telo i vrata [7].



Slika 4 Gornja komponenta modularne endoproteze

Telo gornje komponente endoproteze je u opštem slučaju cilindričnog oblika i sadrži elemente koji omogućuju nesmetano i pouzdano povezivanje delova endoproteze u jednu celinu. To se ostvaruje centralnim vijkom. Samokočeći konusi potpomognuti navojnom vezom omogućuju međusobnu rotaciju između gornje, središnje i donje komponente [8].

Vrat gornje komponente se završava konusnim elementom čiji je zadatak da prihvati i pozicionira glavu, i na taj način obezbedi zglobnu vezu između tela endoproteze i kape koja je postavljena u karlici. Postoji konstruktivno rešenje sa izmenljivim vratom tela endoproteze čime se prema potrebi mogu regulisati njegova dužina i ugao u odnosu na osu butne kosti [9].

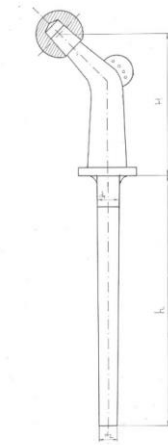
Istraživanje koje se prezentuje u radu je obuhvatilo analizu morfoloških karakteristika veće grupe pacijenata u cilju formiranja opšteg računarskog modela gornje komponente endoproteze.

II. MATERIJAL I METODE

Početa faza razvoja gornjih komponenti modularne endoproteze zgloba kuka je realizovana na osnovu analize morfoloških karakteristika pacijenata za koje su u periodu od 2005. do 2015 godine u kompaniji „Grujić i Grujić“ d.o.o Novi Sad projektovane i izrađene monolitne tumorske endoproteze prema zahtevima IOHB „Banjica“ Beograd. U tabeli 1 je prikazana učestanost ovih implantata prema godinama u pomenutom period. Kao najvažniji, posmatrani su sledeći geometrijski parametri: rastojanje od centra rotacije glave endoproteze do nivoa resekcije (prikazani na slici 5 i navedeni u tabeli 2) [4].

TABELA 1. BROJ UGRAĐENIH TUMORSKIH ENDOPROTEZA ZGLOBA KUKA NA IOHB "BANJICA" PO GODINAMA ZA PERIOD 2005-2015 GOD.

Godina	Br.kom.
2005	6
2006	6
2007	16
2008	20
2009	18
2010	13
2011	13
2012	23
2013	36
2014	23
2015	27
Σ kom.	201



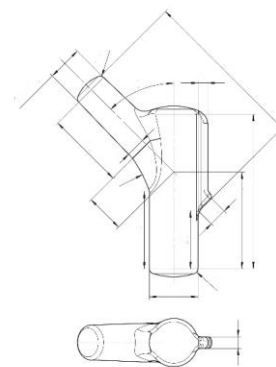
Slika 5 Tumorska monolitna endoproteza zgloba kuka

TABELA 2. UČESTALOST POJAVE VISINE RESEKCIONOG DELA TUMORSKE ENDOPROTEZE „H“

H(mm) GOD	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	Σ
2005				1	3		2											6
2006		1		1	1		3											6
2007		1	1	1	2	1		1	1	1	4			2			1	16
2008			1	2	2		4			5	4		2					20
2009					8	1	2	3		1	2		1					18
2010					6		3	1				2	2					13
2011	1	2			3			1		1	1				1	1	2	13
2012		2			5	2	2	2	2	4	1	1			1		1	23
2013	1	1	3		7	1	11	2	2	2	3		1	1			1	36
2014			5		2		7	1	4		1				2		1	23
2015		7	2		2	5	2	4	1	1	1	1			1			27
Σ	2	14	12	5	41	10	36	15	10	15	17	4	5	3	5	1	6	201
%	1	6,96	5,97	2,49	20,4	4,97	17,91	7,46	4,97	7,46	8,46	1,99	2,49	1,49	2,49	0,5	2,99	

Analizom geometrijskih parametara zaključeno je da visina od centra rotacije do nivoa resekcije za izrađene i ugrađene endoproteze monolitnog tipa varira u opsegu od 60 do 260 [mm]. Takođe, na osnovu učestanosti pojavljivanja pojedinih dimenzija došlo se do zaključka koje dimenzije visine gornje komponente modularne endoproteze treba da budu formirane u tri vrednosti (50, 60, 80), a središnja komponenta u četiri (40, 60, 80, 100) [mm], da bi se njihovom kombinacijom ostvarile sve potrebne veličine posmatrane promenljive, visine od centra rotacije do nivoa resekcije uz primenu odgovarajuće dužine zavrtnja M8 koji obezbeđuje sigurnu i pouzdanu vezu između gornje, središnje i donje komponente. Korak promene visine je usklađen sa opšteprihvaćenom praksom u izradi tumorskih endoproteza.

Na osnovu dobijenih rezultata formiran je parametarski prostorni geometrijski model gornje komponente endoproteze (Slika 6.)



Slika 6 Računarski 3D model gornje komponente endoproteze

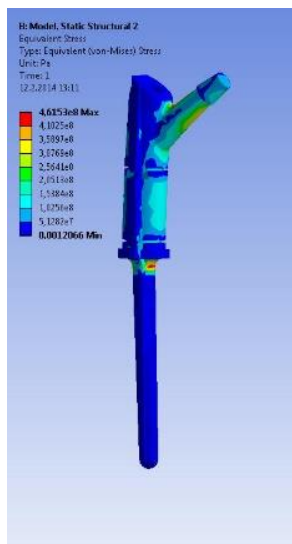
III. REZULTATI

Prostorni računarski model gornje komponente endoproteze sa dopunskim parametrima bitnim za eksploataciju i proizvodnju (karakteristike materijala, eksploataciona ograničenja, tolerancije i sl.) predstavlja virtualnu interpretaciju proizvoda (Slika 7.) pogodnu za dalje faze razvoja proizvoda.



Slika 7. Prostorni računarski model gornje komponente endoproteze

Na osnovu računarskog modela u daljem istraživanju je izvršena analiza deformacija i napona koji nastaju u eksploataciji endoproteze (Slika 8.), a na osnovu nje i optimizacija oblika pojedinih geometrijskih elemenata [10]. Analiza je realizovana za opterećenja koja odgovaraju maksimalnoj vrednosti sile koja se javlja na glavi zgloba butne kosti pri kretanju za pacijenta velike mase i iznosila je 5000N.



Slika 8. Rezultati analize Von-Misesovih napona

Kao što se na slici 8 može uočiti povišene vrednosti Von-Misesovih napona su prisutne na mestu oslanjanja endoproteze na butnu kost pacijenta, kao i na pojedinim zonama vrata endoproteze. Optimizacija je obuhvatila promenu dimenzionih parametara pomenutih segmenata endoproteze, čime su maksimalni naponi smanjeni do prihvatljivog nivoa.

U daljim fazama razvoja gornje komponente endoproteze izvršeno je projektovanje kalupa za toplo kovanje. Na slici 9 se vide realizacija toplog kovanja endoproteze i otkovak.



a)

b)

Slika 9. Toplo kovanje endoproteze a) polufabrikat u vidu otkovka

Finalni korak u razvoju proksimalne komponente endoproteze predstavlja projektovanje tehnološkog procesa mašinske obrade primenom numerički upravljanih mašina alatki, koja predstavlja završnu obradu otkovka. Na slici 10 su prikazana tri primera gornje komponente endoproteze, dobijene iz jednog polufabrikata, nakon završne obrade [11].



Slika 10. Finalni izgled gornje komponente endoproteze

IV. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Primena tehnologije modelovanja proizvoda kao i primene njegove prostorne geometrijske interpretacije u svim fazama razvoja omogućava jednostavnu modifikaciju geometrijskih parametara: dužine, dužine vrata, rastojanje između femoralne ose i centra zgloba kuka („off set“) i materijala [12]. Određivanje stanja napona i deformacija primenom metode konačnih elemenata, omogućuje geometrijsku optimizaciju dodavanjem ili oduzimanjem mase na kritičnim mestima čime se unapređuju izgled, funkcionalnost i iskorišćenje biokompatibilnih materijala, čija cena značajno utiče i na cenu same endoproteze. Primena računarskog modelovanja omogućuje i brzu izradu fizičkog prototipa na 3D štampaču što omogućuje vizuelnu kontrolu priprema i gotovog proizvoda. Kao konačnu fazu razvoja proizvoda prostorni model se koristi kao osnova za primenu CAM tehnologije u pripremi proizvodnje kroz brzu i pouzdanu izradu alata za kovanje i precizno livenje, a takođe i definisanje tehnologije završne mašinske obrade rezanjem kao i simulaciju procesa ugradnje.

Na osnovu pravilno izabranih geometrijskih parametara, izrada računarskog 3D modela obezbeđuje konforan put do realizacije proizvodnje.

ZAHVALNICA

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.

LITERATURA

- [1] Bae, Ji-Y., Farooque, U., Won Lee, K., Kim, Gyu-H., Jeon, I., Yoon, Taek-R.: Development of hip joint prostheses with modular stems, *Computer-Aided Design* 43, 2011, pp 1173–1180, doi:10.1016/j.cad.2011.05.004
- [2] Chao, E., Ivins, J.: *Tumor prostheses for bon and joint reconstruction the design and applaction*, Thieme straton Inc New York 1983
- [3] Chandrasekar, C., Grimer, R., Carter, S., Tilman, R., Abud, A., Bickeley, L.: Modular endoprosthetic replacement for metastatic tumours of the proximal femur, *The Journal of orthopaedic surgery and Research*, 2008
- [4] Grujić, J.: *Tumorska modularna endoproteza zgloba kuka*, Doktorska disertacije, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2018.
- [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*, Zbornik radova na CD ROM-u, INFOTEH - JAHORINA, Vol. 8, ref. c -8, Jahorina, 2009, str. 281-286, ISBN 99938-624-2-8
- [7] Grujić, J., Zeljković, M., Tabaković, S., Gatalo, R., Sekulić, J.: *Implementation CAD/CAE/CAM program system in the process designing and producing revision hip joint prosthesis*, Proceedings of the 10th International Scientific Conference on Flexible technologies - MMA 2009, 2009, str 202-205, ISBN 978-86-7892223-7
- [8] Grujić, J., Živković, A., Zeljković, M., Gatalo, R.: *Računarsko modeliranje i eksperimentalno ispitivanje tela endoproteze zgloba kuka*, XXXII savetovanje proizvodnog mašinstva sa međunarodnim učešćem - SPMS 2008, Novi Sad, 2008
- [9] Pawlikowski, M., Skalski, K., Haraburda, M.: *Process of hip prosthesis design including bone remodeling phenomenon*, *Computers@stuctures* 81/2003
- [10] Tabaković, S., Grujić, J., Zeljković, M., Blagojević, Z., Radojević, B., Popović, Z., Stanojević, V.: *Computer and experimental analysis of the stress state of the cement hip joint endoprosthesis body*, *Vojnosanitetski pregled*, 2014, Vol. 71, No 11, pp.1034-1039, ISSN 0042-8450

- [11] Tabaković, S., Živković, A., Grujić, J., Zeljković, M.: *Design process of modular, revision total hip endoprosthesis*, Proceedings of the 5th International Conference on Manufacturing Science and Education MSE 2011, University of Sibiu, Romania, June 2-5, 2011. god., pp. 395-398., ISSN 1843-2522
- [12] 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*, Vol. 9, No. 2, "Politehnica" University of Timisoara, 2011, pp. 97-102, ISSN 1583-7904

ABSTRACT

Proximal (upper) component of tumor prosthesis of hip joint replaces upper part of femur bone which is damaged as consequence of complications after implementation of hip joint prosthesis or due to bone tumor. Shape and dimensions of prosthesis should ensure the function of the hip joint and the mobility of the lower extremities of the patient.

For purpose of creating of parametric model of this segment of the prosthesis has been done the analysis of the shape and dimensions of the proximal segment of the "custom made" tumor monolithic prostheses produced in company "Grujic and Grujic" Novi Sad, and implemented in IOHB „Banjica” Belgrade between 2005 and 2015. The most important parameters were analyzed: the distance from the center of the rotation of the head of the prosthesis to the level of resection and the corresponding angles and then a geometrical model was formed based on these parameters. For the purpose of verification of the influence of geometric parameters on the shape of prosthesis, the analysis of the stress and deformation by the finite element method was performed and then several physical prototypes of the proximal component of the prosthesis were made.

GEOMETRICAL MODELING OF THE PROXIMAL COMPONENT OF THE MODULAR TUMOR PROSTHESIS OF THE HIP JOINT

Aleksandar Đorđević
Jovan Grujić
Slobodan Tabaković,
Milan Zeljković,
Zoran Vučinić,
Nikica Mandić