

Računarsko modelovanje tumorske endoproteze zgloba lakta

Jovan Sekulić
Zdravstveni centar
Zrenjanin, Republika Srbija

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

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

Sažetak— Lakat je zglob gornjih ekstremiteta. Omogućuje funkciju fleksije i ekstenzije tj. zajedno sa zglobom ramena pozicioniranje položaja šake u prostoru i prenosi opterećenje sa nadlaktice na podlakticu i obratno. Pojavu koštanog tumora na distalnom delu nadlaktice moguće je sanirati, hirurškom metodom odstraniti i ugraditi transplantat ili implantat. Ugradnja implantata, tumorske endoproteze zgloba lakta, predstavlja „zlatni standard“ jer obezbeđuje eliminaciju bola, funkcionalnost i estetiku ekstremiteta, dobru prognozu i konformnost bolesnika u postoperativnom periodu.

Jedan od ciljeva rada je da se odrede geometrijski parametri kostiju, neophodni za računarsko modelovanje koštane mase i tumorske endoproteze zgloba lakta. Na bazi snimaka medicinske dijagnostike Rtg, Ct, MRI određeni su geometrijski parametri kostiju, nivo resekcije distalnog humerusa od centra rotacije u zglobu lakta koji je zahvaćen koštanim tumorom kao i dimenzije medularnog kanala ulne i proksimalnog dela nadlaktice u koji se ugrađuje stem endoproteze zgloba lakta. Na bazi prethodnog razvijen je računarski model tumorske endoproteze zgloba lakta. Metodima konačnih elemenata za definisanje biomehaničke uslove opterećenja, pravac i intenzitet sile i granične uslove uklještenja, određeno je stanje deformacija i napona.

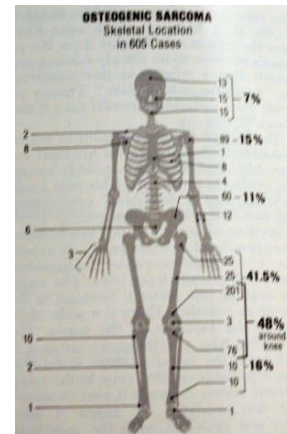
Primena programskih sistema za računarsko modelovanje omogućuje simuliranje ugradnje endoproteze, biomehaničkih uslova opterećenja i graničnih uslova uklještenja, optimizaciju konstrukcionog rešenja i izbor materijala. Na ovaj način se obezbeđuju preduslovi za brzu i tačnu izradu tumorske endoproteze zgloba lakta po meri pacijenta „CUSTOM MADE“.

Ključne riječi: Tumorska endoproteza zgloba lakta, rekonstruktivna hirurgija, računarsko modelovanje

I. UVOD

Koštano zglobni sistem čoveka omogućava kretanje, a kretati se znači živeti, i svih funkcija neophodnih za konformnost života i rada. Lakat je zglob gornjih ekstremiteta, povezuje i prenosi opterećenje sa nadlaktice (humerus) na podlakticu i obrnuto. Funkcijom fleksije i ekstenzije zgloba lakta obezbeđuje se željeni položaj šake u prostoru.

Koštano zglobni sistem može biti zahvaćen povredama i degenerativnim ili malignim promenama. Udeo učestalosti pojave koštanih tumora u leziji zgloba lakta u odnosu na pojavu koštanih tumora na celukupnom koštanom sistemu iznosi oko 2% [1] Sl. 1.



Slika 1. Raspodela pojave koštanih tumora

Pojavu koštanih tumora na distalnom delu nadlaktice, moguće je sanirati. Hirurškom metodom odstraniti koštano tkivo zahvaćeno koštanim tumorom i ugraditi transplantat ili implantat. Snimak oboljenja - koštani tumor distalnog humerusa je prikazan na slici 2.



Slika 2. Koštani tumor distalnog humerusa

Ugradnja implantata, tumorske endoproteze zgloba lakta, predstavlja uobičajnu proceduru u rekonstruktivnoj hirurgiji i predstavlja „zlatni standard“ [2] jer obezbeđuje eliminaciju bola, funkcionalnost i estetiku ekstremiteta, dobru prognozu i konformnost bolesniku u postoperativnom periodu.

Operativno lečenje ovakvih oboljenja je moguće samo ukoliko je ispunjen niz uslova u koje spadaju:

- Zadovoljavajuće opšte psiho fizičko stanje bolesnika;
- Isppravno dijagnostikovani tip (vrsta) i stepen napredovanja tumora;
- Formirana onkološka prognoza;
- Definisani patohistološki tip i mogućnost adjuventne (dopunske) terapije;
- Utvrđene biomehantičke karakteristike metastazne lezije.

Za analizu oboljenja i definisanje uslova lečenja je neophodno postojanje funkcionalnog tima (konzilijuma) stručnjaka sastavljenog od radiologa, patologa, onkologa, hirurga i ukoliko se kao vid lečenja odabere ugradnja implantata, inženjera čiji je zadatak projektovanje i izrada tumorske endoproteze po meri (tzv. „custom made“).

Tumorske endoproteze spadaju u grupu specijalnih endoproteza „custom made“, koje su izrađuju po meri u zavisnosti od stanja koštanog-zglobnog sistema i onkološke prognoze [3-5].

Osnovni cilj rada je da se odrede geometrijski parametri kostiju, neophodni za računarsko modelovanje koštane mase i tumorske endoproteze zgloba lakta.

II. MATERIJAL I METODE

Za korektno dimenzionisanje tumorske endoproteze zgloba lakta „custom made“, pored kliničkog pregleda neophodni su uređaji za medicinsku dijagnostiku Rtg, Ct, MRI. Na osnovu snimaka kostiju moguće je odrediti geometrijske parametre neophodne za računarsko modelovanje koštane mase, a samim tim i računarsko modelovanje tumorske endoproteze zgloba lakta [6].

Rtg aparat obezbeđuje Rtg snimak koštane mase Sl. 3 koja se snima i predstavlja analogni signal. Parametri snimanja moraju biti precizirani, rastojanje od Rtg glave do Rtg ploče kao i rastojanje Rtg glave do kosti koja se snima. Kontrolna merna letva se mora postaviti u nivo kosti koja se snima. Definisan parametri snimanja obezbeđuju mogućnost dobijanja korektnih geometrijskih parametara koštane mase koja se snima kako spoljašnje mere tako i mere medularnog kanala u koji se ugrađuje stem endoproteze.



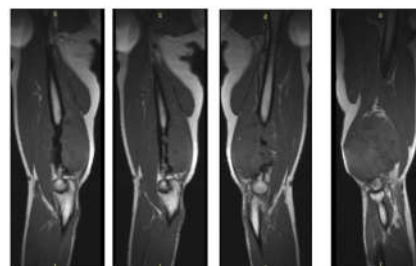
Slika 3. Rtg snimak lezije zgloba lakta

Uređaji za kompjuterizovanu tomografiju (skener i magnetna rezonanca Sl. 4 omoguđuju snimanje po nivoima u

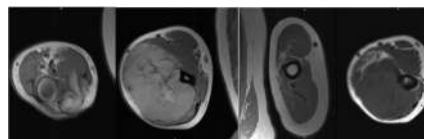
tri karakteristične ravni Sl.5 a, Sl.5 b. Tako se dobija niz digitalizovanih slika koje predstavljaju poprečne preseke kosti koja se snima. Obradom tomografskih snimaka uz primenu prepoznavanja oblika, izdvajanja spoljne i unutrašnje konture koštanog tkiva i formiranjem zapreminskih geometrijskih elemenata dobija se prostorni geometrijski model obolele kosti sa spoljašnjom i unutrašnjom geometrijom Sl. 6 što omoguđuje projektovanje endoproteze prema morfološkim karakteristikama kostiju pacijenta [7, 8, 10].



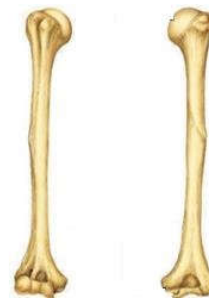
Slika 4. Aparat za MRI



Slika 5a.. Digitalizovane slike MRI lezije zgloba lakta



Slika 5b. Digitalizovane slike MRI lezije zgloba lakta



Slika 6. Računarski model humerusa

Na osnovu biomehantičke analize uslova opterećenja tumorske endoproteze zgloba lakta ugrađene u distalni deo nadlaktice, može se zaključiti da je nadlaktica, a samim tim i telo endoproteze zgloba lakta, izloženo najnepovoljnijem opterećenju pri ručnoj manipulaciji teretom. Analiza pokazuje da je nadlaktica, a samim tim i endoproteza zgloba lakta izložena opterećenju na savijanje, a koje potiče od mase predmeta sa kojim se rukuje.

Intenzitet momenta koji deluje na endoprotezu zgloba lakta je definisan prema NIOSH i JAGGER pristupu na osnovu

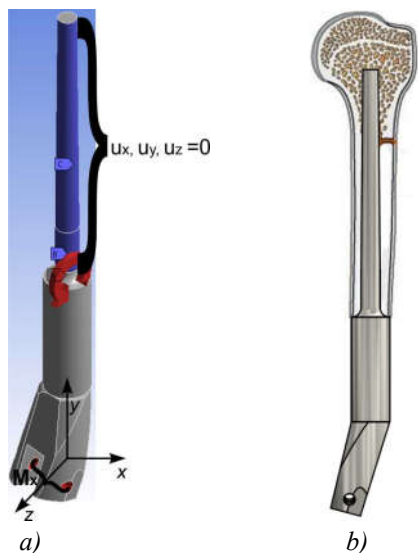
granične mase predmeta, maksimalne sile koja deluje na kičmeni stup za određene starosne granice muške populacije. Dužina ruke kao i dužina do lakta i ramena su definisane na osnovu standarda SRPS EN 547-3 (Mere ljudskog tela, Deo 3 – Antropometrijski podaci). Granične mase predmeta i intenzitet momenta opterećenja za razmatrane starosne granice muške populacije su prikazane u Tabeli I.

Analiza ponašanja tumorske endoproteze zgloba lakta je izvršena metodom konačnih elemenata. Za diskretizaciju statičkog modela endoproteze zgloba lakta korišćen je izoparametarski heksaedar SOLID 186. Model se sastoji od 1185 konačnih elemenata i 2317 čvorova. Na slici 7a je prikazan računarski model endoproteze zgloba lakta sa definisanim uslovima opterećenja i ograničenjima. Rezultati analize za razmatrane slučajeve opterećenja prema Tabeli I su prikazani na slici 8. Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da se maksimalni naponi pojavljuju na mestu prelaza između distalnog dela i konusnog elementa endoproteze koji se fiksira u medularni kanal. Maksimalna vrednost napona iznosi 727 [MPa] za mušku populaciju koja od 30 do 40 god., dok su za starosnu granicu od 40 do 50 god. maksimalni naponi 537 [MPa], odnosno 349 [MPa] za mušku populaciju sa više od 60 godina.

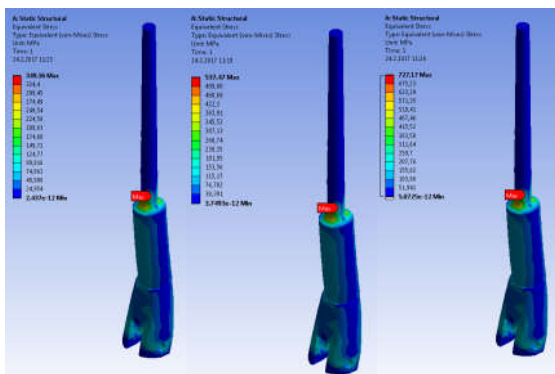
TABELA I. MAKSIMALNI EKVIVALENTNI NAPONI ZA RAZMATRANE SLUČAJEVE OPTEREĆENJA

Red br.	Starosna granica muške populacije [god.]	Masa [kg]	Moment [Nm]	Maksimalni ekvivalentni naponi [MPa]
1.	>60	6,5	110,5	349
2.	40-50	10	170	537
3.	30-40	13,5	229,5	727

Računarski model tumorske endoproteze lakta je pogodan i za simuliranje ugradnje Sl. 7b, brzu izradu prototipa na 3D štampaču, simuliranje biomehaničkih uslova opterećenja i graničnih uslova ukleštenje i određivanje stanja deformacija, odnosno naponskog stanja metodom konačnih elemenata, optimizaciju konstrukcionog rešenja tela endoproteze kao i izbor materijala u cilju smanjenja maksimalnih VonMissvih napona i umanjenja mogućnost pojave mehaničke komplikacije razlabavljenja i loma usled zamora materijala. Primena programskih sistema CAD/CAE/CAM omogućuju definisanje optimalnog računarskog modela na osnovu kog se korišćenjem CNC tehnologije u relativno kratkom roku izrađuje tumorska endoproteze zgloba lakta pripremljena za ugradnju Sl. 10.



Slika7. Računarski model tumorske endoproteze zgloba lakta a) i simulacija ugradnje u nadlakticu b)



Slika 8. Raspored napona za razmatrane slučajeve opterećenja



Slika 10. Tumorska endoproteza zgloba lakta

III. DISKUSIJA

Endoproteza zgloba lakta se primenjuje kod bolesnika koji imaju komplikacije u zoni lakta: reumatski artritis, posttraumacki artritis, pojava koštanih tumora na distalnom humerusu Sl. 2, Sl. 3. U slučaju da je veliki deo humerusa zahvaćen koštanim tumorom ili proksimalni i distalni humerus primenjuje se mega proteza total humerus koja obezbeđuje funkcionisanje zgloba lakta i zgloba ramena Sl. 11 [9].



Slika 11. Mega tumorska endoproteza „Total humerus“ zgloba ramena i lakta

Komplikacije koje mogu nastupiti nakon uradnje endoproteze zgloba lakta mogu biti rane, infekcija i kasne, razlabavljenje, lom stema usled zamora materijala i mehanička komplikacija šamirne veze između distalne i proksimalne komponente enoproteze lakta.

IV. ZAKLJUČAK

Savremene metode razvoja tumorskih endoproteza "CUSTOM MADE", u koje spada i tumorska endoproteza zgloba lakta podrazumevaju primenu savremenih 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. Primena CAD/CAM tehnologija omogućava brzu i tačnu izradu endoproteze po meri pacijenta ("CUSTOM MADE") prilagođene za ugradnju.

LITERATURA

- [1.] Andrew, G. H.: Bone tumors Diagnosis treatment and prognosis, W.B. Saunders company, Philadelphia London Toronto, 1979.
- [2.] Baraktarević, R., Popović Z., Radojičić, D.: Megaendoprosthesis in the treatment of bone tumors in the knee and hip region Vojnosanitetski pregled, Beograd 2011. Volimen 68/1
- [3.] Chao, E., Ivins, J.: Tumor prostheses for bon and joint reconstruction the design and aolaction, Thieme station Inc New York 1983.
- [4.] Diklić, I. :Hirurgija ramena, Naučna KMD, Beograd 2009. ISBN: 978-86-6021-016-8
- [5.] Grujić, J.: Računarsko modeliranje i eksperimentalno ispitivanje zgloba kuka, Magistarska teza, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2009.
- [6.] Grujić, J., Živković, A., Zeljković, M., Gatalo, R.: Računarsko modeliranje i izrada tumorske proteze zgloba kuka, Zbornik radova - CD ROM, 8. simpzijum Infoteh, Vol. 8, ref. c -8, Elektrotehniči fakultet, Istočno Sarajevo, Jahorina, 2009, str. 281-286, ISBN 99938-624-2-8
- [7.] Grujić, J., Zeljković, M., Tataković, 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, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2009, pp. 202-205, ISBN 978-86-7892223-7
- [8.] Grujić, J., Tabaković, S., Zeljković, M., Živković, A., Bojanić, M., Sekulić, J.: Računarsko modelovanje nadlaktice, Zbornik radova - CD ROM, 14. međunarodni

naučno-stručni simpozijum Infoteh, Proizvodni sistemi, Elektrotehniči fakultet, Istočno Sarajevo, Jahorina, 18.-20. mart 2015, str. 419-422, ISBN: 978-99955-763-6-3.

- [9.] Prasad, N., Ali A., Stanley, D.: Total elbow arthroplasty for non-rheumatoid patients with a fracture of the distal humerus, JBJS, Vol., 98-B, No. 3, March 2016.
- [10.] Tabaković, S., Grujić, J., Bojanić, M., Zeljković, M., Sekulić, J.: Modeliranje medularnog kanala femura na osnovu digitalnog signala sa CT ili MRI u cilju dimenzionisanja stema tumorske endoproteze zgloba kuka, Zbornik radova - CD ROM, 11. simpozijum Infoteh, Proizvodni sistemi, Elektrotehniči fakultet, Istočno Sarajevo, 21-23 mart 2012, Jahorina, str. 509-512, ISBN: 978-99938-624-8-2

ABSTRACT

Elbow is a joint of an upper extremity. It enables flexion and extension. Together with the shoulder joint enables positioning of the hand in space as well as transferring load between upper arm and forearm. The bone neoplasm on distal part of the upper arm is possible to treat, surgically removing it and implementing a transplant or implant. Implementation of the implant, tumor endoprosthesis of the elbow joint, presents gold standard because it provides pain elimination, functionality and esthetics of the extremity, good prognosis and comfort of the patient in postoperative period.

One of the goals of this study is to determinate geometric parameters of a bone, which are necessary for computer modeling of a bone matter and tumor endoprosthesis of the elbow joint. Based on the medical work up, such as X-ray, CT and MRI, were determined geometric parameters of the bone, level of the resection of distal humerus from the rotational center in the elbow joint which is affected by bone neoplasm as well as measures of medullar canal of ulna and proximal part of upper arm in which will be implemented stem endoprosthesis of the elbow joint. All these information were used for making computer model of tumor endoproshtesis of the elbow joint. By final elements method for defying biomechanical load conditions, direction and magnitude of the force and limitary conditions of anchoring, conditions of deformity and load were determined.

Programs for computer modeling enable simulation of an implantation of endoprosthesis, biomechanical conditions of load and limitary conditions for anchoring, optimization of structural solution and material choice. This way are ensured preconditions for fast and precise custom production of tumor endoprosthesis of the elbow joint.

COMPUTER MODELING OF TUMOR ENDOPROTHESIS OF THE ELBOW JOINT

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