

# Razvoj mega endoproteze nadlaktice „TOTAL HUMERUS“

Jovan Grujić  
DOO Grujić & Грyјић  
Novi Sad, Srbija,  
grujicigrujicns@gmail.com

Slobodan Tabaković,  
Milan Zeljković,  
Departman za proizvodno mašinstvo  
Fakultet tehničkih nauka  
NoviSad, Srbija  
tabak@uns.ac.rs,  
milanz@uns.ac.rs,

Zoran Vučinić,  
Stanislav Rajković,  
Nikola Bogosavljević  
IOHB Banjica  
Beograd, Srbija

**Sažetak** — Pojava malignih ili benignih promena na distantnom i proksimalnom delu ili destrukcija koštane mase nadlaktice se u savremenoj medicini sanira hirurškim odstranjivanjem oštećenog koštanog tkiva i implantacijom mega endoproteze: „total humerus“. Metoda obezbeđuje eliminaciju bola i očuvanje obolelog ekstremiteta funkcionalno i estetski. Zbog prirode oboljenja i cilja zahvata ovaj tip endoproteze se razvija i izrađuje prema morfološkim karakteristikama konkretnog pacijenta. Proces razvoja endoproteze obuhvata koncipiranje na osnovu dijagnostičkih snimaka, projektovanje primenom CAD programskih sistema i pripremu za izradu. Zbog prirode proizvoda i postupka proizvodnje „custom made“ endoproteze se projektuju uz verifikaciju primenom CAE programskih sistema. U radu se opisuje postupak razvoja mega endoproteze „total humerus“ primenom CAD/CAE programskih sistema za razvoj proizvoda.

**Ključne riječi:** endoproteze prema merama pacijenta, total humerus, CAD, CAE

## I. UVOD

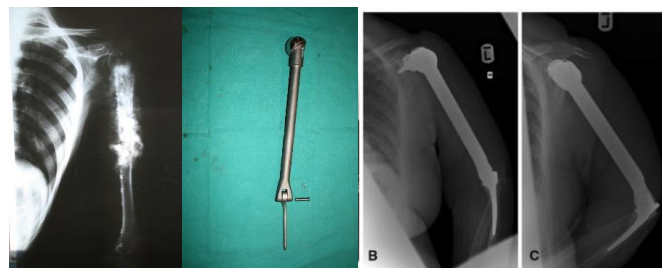
Problemi u funkcionisanju koštano zglobnog sistema čoveka mogu biti posledica traume, pojave degenerativnih promena, artroza, nekroza ili koštanih tumora, koji mogu biti maligni, benigni, primarni, sekundarni, metastaze. Učestalost pojave koštanih tumora kod dugih kostiju iznosi: 15% nadlaktica, 16% podkolenica, 42% butna kost.

Lečenje ovakvih oboljenja i uklanjanje njegovih posledica na funkcionisanje koštano zglobnog sistema u cilju očuvanja funkcije pokretljivosti predstavlja interdisciplinarni izazov.

Ukoliko je onkološki opravdano za saniranje koštanih tumora primenjuje se hirurška metoda odstranjivanja obolelog dela kosti i ugradnja endoproteze. Primenom endoproteza za saniranje koštanih tumora je sa onkološkog aspekta opšte prihvaćena metoda, ima dobru postoperativnu prognozu i pretstavlja „zlatni standard“, i koristi se kao standardna procedura lečenja tumora kostiju [1]. Time se ostvaruje

eliminacija bola, sprečavanje napredovanja bolesti i očuvanje ekstremiteta estetski i funkcionalno. Potpuna zamena nadlaktice je pouzdana opcija lečenja u obnavljanju mehaničke stabilnosti sa niskom mehaničkih stopom komplikacija.

Ukoliko je promenama zahvaćena cela duga kost nadlaktice, a u cilju očuvanja funkcije zgloba ramena i lakta potrebna je eliminacija cele nadlaktice i ugradnja mega endoproteze „total humerus“. Konstruktivno, tumorska endoproteza ramena i lakta su povezane i obezbeđuju funkcionalnost oba zgloba. Mega endoproteza „total humerus“ može da preuzme i prenese puno opterećenje sa zgloba ramena na zglob lakta i obrnuto (Slika 1.).

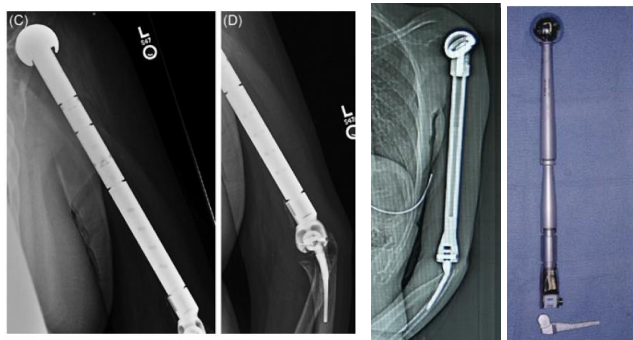


Slika 1. Mega endoproteze „total humerus“

Megaprotetska rekonstrukcija korišćenjem savremene, modularne endoproteze ili tumorske proteze postala je opšte prihvaćen, standardni pristup za rekonstrukciju osteoartikularnih defekata gornjeg ekstremiteta [1].

Prema autoru Kotwal i saradnicima [2] [3] u periodu od 1990. do 2011. godine izvršena je totalna zamena nadlaktice samo kod 20 pacijenata (10 muškog i 10 ženskog pola), prosečne starosti 40,9 godina (raspon 4 - 70 godina). U najvećem broju slučajeva ugrađene su modularne endoproteze (Slika 2.), čije vek eksploatacije bez revizije duži od 5 godina je iznosio 87,1% , a duži od 10 godina kod 65,3% pacijenata.

Srednji rezultat funkcionalnog ishoda Musculoskeletal Tumor Society (MSTS) za svih 20 pacijenata u vreme njihovih dostupnih praćenja bio je 71,5%. Svi pacijenti su imali pretežno pasivne, a ne aktivne pokrete ramena i nijedan nije mogao aktivno da podigne ruku do nivoa lica u fleksiji ili abdukciji. Pacijenti su u laktu povratili zadovoljavajući opseg pokreta sa srednjom fleksijom od 103,5 ° (opseg, 0–130°) . Većina pacijenata je imala punu funkciju šake i laktakta.



Slika 2. Modularna mega endoproteza nadlaktice [2] [3]

Slični rezultati se sreću i kod Schneider-a i saradnika [4] koji su u dužem vremenskom periodu (od avgusta 1999. do decembra 2018. godine) analizirali pojavu koštanih tumora. U navedenom periodu od 666 pacijenata obolelih od koštanih tumora, kod 23% (154) je primarni tumor lociran u nadlaktici, a kod 5% (33 pacijenta) urađena je totalna zamena nadlaktice primenom modularne mega endoproteze. Vek implantata bez revizije u period od 5 godina iznosio je 74%. Za 9 od 13 pacijenata dostupnih za funkcionalno testiranje, srednji MSTS skor je iznosio 87%. Za ASES rezultat, postignuti su odlični rezultati za bol, dok su prijavljeni deficiti u vezi sa aktivnostima iznad glave, kao što je podizanje tereta od oklo 5kg iznad nivoa ramena, bacanje lopte preko ruke, i dostizanje visoke police. Jedan od opštih zaključaka autora je da ako proteza preživi prvu godinu, dalji rizik od revizije je mali.

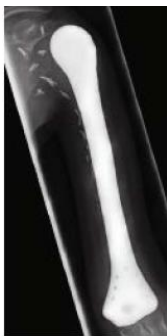
U periodu od 1970. do 2013. godine od urađenih 2495 endoprotetskih zamena, totalne nadoknade nadlaktice je obuhvatila 2% ovih zahvata [3]. U radu [3] su prikazani rezultati 34 pacijenta (10 muškog i 24 ženskog pola), prosečne starosti 26 godina (raspona 7-86 godina). Pri čemu se kod 71% pacijenata kristila endoproteza po meri (Slika 3), a kod ostalih tzv. "THER endoproteza". Vek endoproteza bez revizije iznosio je 90% i za period od 5 i 10 godina. Uprkos lošem kretanju u ramenu, pacijenti su imali odličnu manuelnu spretnost i funkcionalnu upotrebu ruku sa dobrim do odličnim funkcionalnim rezultatima MSTS, srednja vrednost, 83%.



Slika 3. Mega endoproteza po meri [7]

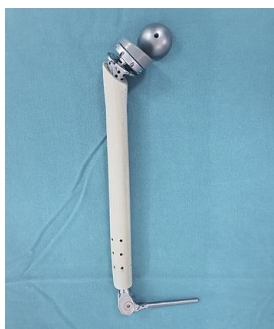
Iako je humerus među najčešćim lokacijama primarnog tumora kosti, tumori koji zahtevaju lečenje totalnom zamenom humerusa su retki [5], što se može konstatovati na osnovu praćenja, u period od 1980 do 2019. godine, 769 pacijenata. Kod 18 pacijenata (10 muškog i 8 ženskog pola), prosečne starosti 31 godina, ugrađena je totalna endoproteza nadlaktice. Kod najvećeg broja pacijenata ugrađena je modularna endoproteza. Posmatran je vek eksploatacije ovih proteza bez revizije 5, 10, 15 godina, i iznosio je 100%, 86% i 86%, respektivno. Kao što se i očekivalo, funkcionalni ishodi su bili najbolji na laktu i šaci, sa prosečnim ukupnim MSTS rezultatom od 77%.

Kod dugih kostiju ekstremiteta, nastali defekti se najčešće rekonstruišu modularnom endoprotezom [6]. U ovom radu je prikazana inovativna metoda totalne zamene nadlaktice kod devojčice od 5 i muškarca od 53 godine. Inovativna metoda predstavlja rekonstrukciju sa 3D endoprotezama po meri izrađenim primenom aditivnih tehnologija (Slika 4). Visoki troškovi i dugo vreme proizvodnje su nedostaci ovog postupka. Međutim, troškovi proizvodnje se nadoknađuju očuvanjem funkcionalnosti ekstremiteta. S druge strane, prikazani postupak nudi i određene prednosti. Virtuelni 3D model, koji se generiše tokom izrade endoproteze, omogućava hirurgu da proceni sve aspekte implantata pre operacije i proceni moguća mesta fiksacije. Ovo planiranje može da smanji vreme operacije jer čini planiranje hirurške procedure preciznijim. Štaviše, pacijentima je moguće pre operacije na 3D modelu prezentovati oboljenje i proceduru, što poboljšava njihovo razumevanje i eventualno prihvatanje postupka. Tri godine nakon operacije, oba pacijenta su živa i bez bolova. Uprkos postoperativnoj spuštenoj šaci koju ima sada 56-godišnji muškarac, on je u stanju da obavlja svakodnevne aktivnosti kao što su pranje zuba, pisanje i jelo. Sada osmogodišnja devojčica takođe može da se bavi normalnim aktivnostima levom rukom, kao što su jelo i nošenje lakih predmeta.



Slika 4. Rekonstrukcija koštanog defekta totalnim humerusom izrađenim aditivnom tehnologijom

Rekonstrukcija humerusa primenom modularne proteze od teških biokompatibilnih legura za tinejdžere otežava njihov oporavak tokom rane faze rehabilitacije. Smanjenje težine proteze je značajna inovacija i podržava fazu rehabilitacije [7]. U radu [7] je opisan slučaj totalne zamene nadlaktice kod pacijenata sa karcinomom kostiju primenom kombinacije proteze od legure titanijuma i polietereketona (PEEK). Konstrukciono rešenje je uključivalo reverznu artroplastiku ramena i artroplastiku lakta sa polustegnutom zglobnom protezom koje su povezane protetskim humeralnim stablom napravljenim od PEEK materijala koji je dizajniran isto kao i originalna humeralna kost. Te proteze su povezane koštanim cementom u jednu celinu (Slika 5.). Šest meseci nakon operacije, pacijent je imao relativni opseg pokreta sa abduciranim ramenom do  $75^\circ$  i savijenim do  $45^\circ$ . Ova modifikovana proteza predstavlja „novu modularnu endoprotezu gornjih udova“ i mnogo je lakša od metalne modularne endoproteze koja se veoma često koristi. U ovom slučaju, je najveći problem vezan za dugotrajnost endoproteze jer su 4 materijala sastavljena u jedan modul tokom procesa implantacije, pa je potrebno dugotrajno praćenje da bi se procenio vek kada se koriste takve kombinacije materijala.



Slika 5. Zglob ramena i lakta povezani humeralnim stablom od PEEK materijala

Poseban izazov predstavlja i razmatranje da li vrsta aktivnosti, posebno kada su u pitanju sportske aktivnosti, ima uticaja na vek eksploatacije mega endoproteza humerusa. U radu [1] (Austrija) su razmatrana sledeća istraživačka pitanja:

- koji je nivo sportske aktivnosti kod pacijenata sa modularnom endoprotetskom rekonstrukcijom nadlaktice?

- da li se bave sportom koji uključuje zahvaćeni gornji ekstremitet?
- šta je funkcionalni ishod i
- da li je bavljenje sportom povezano sa povećanim rizikom od komplikacija?

Uključeno je ukupno 18 pacijenata (10 žena, 8 muškaraca) prosečne starosti od 19,9 godina, (raspon 7–37 godina) u vreme operacije. Prosečan rezultat UCLA aktivnosti smanjio se sa 8,0 pre operacije na 4,2 tokom jednogodišnjeg praćenja. Posle 3 godine porastao je na 5,1 i dalje na 7 na poslednjem praćenju. Pacijenti sa modularnom endoprotetskom rekonstrukcijom humerusa nakon primarnog sarkoma kosti nastavljaju da se redovno bave sportom. Primećena je promena na sportske aktivnosti sa manjim uticajem koje uključuju donje ekstremitete. Neki pacijenti se bave sportovima visokog nivoa, kao što su spust, brdski biciklizam ili fudbal.

Na osnovu prethodnog definisan je cilj rada da se prikaže razvoj mega endoproteza „total humerus“ u domaćim uslovima. Ugradnja modularnih endoproteza nadlaktice može da se realizuje samo u velikim kliničkim centrima, jer je potreba za njima vrlo retka. To je jedan od razloga što se u domaćim uslovima nije pristupilo razvoju modularnih endoproteza kao kod proteza kuka [8] već na razvoj endoproteza po meri. Primenjena metodologija razvoja (projektovanja, konstrukcije i izrade) omogućava relativno kratak period od trenutka donošenja odluke o potrebi za hiruškom intervencijom do same ugradnje mega endoproteze nadlaktice.

## II. MATERIJAL I METODE

### A. Postupak razvoja endoproteze

Razvoj endoproteza prema meri pacijenata se sastoji iz nekoliko koraka:

- Definisane konceptnog rešenja endoproteze oštećenog ekstremiteta
- Projektovanje elemenata endoproteze
- Verifikacija primenom numeričke analize
- Definisane konačnog rešenja primenom procesa optimizacije

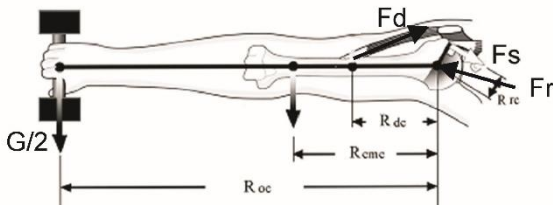
U slučaju implantata kao što je mega endoproteza nadlaktice primenjuje se isti postupak uz složeniji postupak verifikacije budući da ova proteza obuhvata dva zgloba različitog tipa (sferni i zglob sa jednim stepenom slobode).

### B. Definisane konceptnog rešenja endoproteze

Definisane konceptnog rešenja mega endoproteze humerusa predstavlja multidisciplinarni problem koji se formira u saradnji lekara i inženjera u cilju zadovoljenja zahteva opterećenja, funkcionalnosti i primenjene hiruške intervencije. Polazeći od uslova eksploatacije i mogućnosti pojave habanja, tehnologije proizvodnje za izradu zgloba ramena korišćena je biokompatibilna legura 361LVM, za rotirajući deo zgloba lakta takođe je korišćena ista legura, a preostali segmenti endoproteze su izrađeni od legure Ti6Al4V.

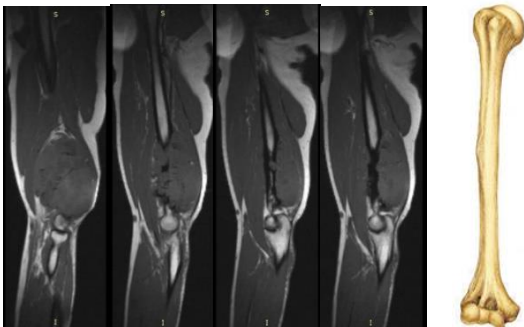
Kombinacija više materijala predstavlja poseban izazov i pri analizi metodom konačnih elemenata i pri spajanju delova endoproteze u jedinstvenu celinu. Primena novih materijala nije razmatrana zbog nepostojanja dovoljno podataka iz kliničke prakse o veku eksploatacije endoproteza izrađenih od tih materijala.

Mega endoproteza nadlaktice predstavlja složni implantat koji u organizmu funkcioniše kao mehanički sklop elemenata koji omogućuju složena rotaciona kretanja cele ruke. Endoproteza omogućuje tri stepena slobode rotacije u zglobu ramena i jedan u zglobu lakta. Pri tome treba da omogućuje prenošenje opterećenja neophodnih za funkcionisanje gornjih ekstremiteta (sile zatezanja i savijanja i momenti uvijanja), slika 6.



Slika 6. Opterećenja na humerusu

U fazi definisanja koncepcionog rešenja endoproteze po merama pacijenta prvu fazu predstavlja rekonstrukcija tomografskog snimka obolelog ekstremiteta, formiranje 3d modela obolele kosti i merenje karakterističnih geometrijskih veličina neophodnih za dimenzionisanje implantata (Slika 7)



Slika 7. CT snimak obolele kosti i 3d model humerusa

Rezultat ove faze projektovanja predstavlja prostorna skica sa najvažnijim morfološkim parametrima koje sklop endoproteza treba da ispuni

#### C. Projektovanje elemenata endoproteze

Proces projektovanja mega endoproteze nadlaktice obuhvata formiranje tri dela koji čine sklop: endoproteza ramena (veštački zglob ramena), endoproteza lakta (zglob lakta sa vezom sa lakatnom kosti – „Ulnom“) i segment koji spaja ove endoproteze.

Zbog specifičnosti problema projektovanja endoproteze kako sa medicinskog i inženjerskog stanovišta se realizuje integralno, primenom metode „od sklopa ka delovima“ pri čemu polaznu osnovu za model sklopa predstavlja skica dobijena prethodnom fazom razvoja endoproteze (Slika 8) [9].



Slika 8. Početna faza projektovanja endoproteze

Globalni parametri geometrije zglobova i kostiju ruke se na rekonstruisanom geometrijskom modelu ekstremiteta koriste za formiranje prostorne skice oko koje se formira sklop endoproteze. Kao rezultat toga se dobija parametarski model pogodan za verifikaciju i po potrebi optimizaciju (Slika 9).

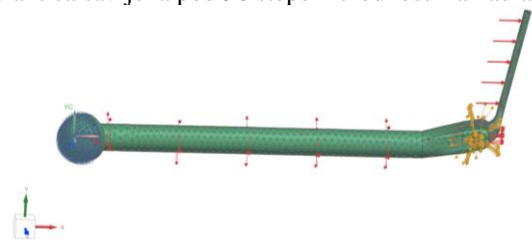


Slika 9. Parametarski model sklopa endoproteze

#### D. Verifikacija projektovanog rešenja

Endoproteze kao i ostali implantati treba da zadovolje veliki broj kriterijuma da bi bili primenjivi u organizmu pacijenta. Tu spadaju kriterijumi: biokompatibilnosti, mehaničkih karakteristika, pogodnosti za ugradnju, i sl.

Kod implantata rađenih prema merama pacijenta ograničavajući faktor za proces projektovanja i izrade predstavlja vreme zbog potrebe brze ugradnje kao i nemogućnosti eksperimentalnih ispitivanja budući da se izrađuju u pojedinačnoj proizvodnji. Zbog toga primena numeričkih analiza mehaničkih karakteristika ima veoma važnu ulogu. U slučaju mega endoproteze nadlaktice „Total humerus“ realizovan je niz mehaničkih analiza projektovanog rešenja kako pojedinačnih elemenata tako i sklopa. Osim toga, u cilju razvoja endoproteze izvršene su analize rešenja kod kojih je međuzglobni prostor (veza između lakta i ramena) izrađen od dva tipa biokompatibilnih materijala Titanijuma Ti6Al4V i legure čelika 361LVM. Na slici 10 je prikazana postavka opterećenja prema [10] i [11] koja obuhvata prisustvo dve sile i momenta uvijanja proksimalnog dela endoproteze. Ovaj položaj odgovara podizanju tereta pri čemu je podlaktica savijena pod 90 stepeni u odnosu na nadlakticu

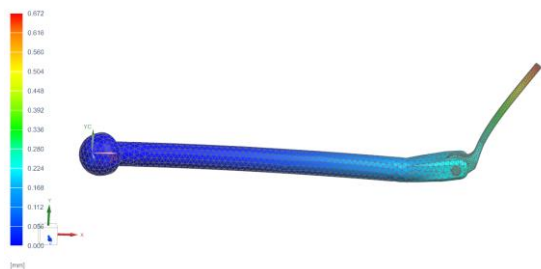


Slika 10. Diskretizovani model sklopa endoproteze sa definisanim opterećenjima

Na slici 11 je prikazan rezultat analize za model kod kog su međuzglobni prostor i oba zgloba (ramena i lakta) endoproteze izrađeni od legure čelika 361LVM. Analiza je realizovana primenom metode konačnih elemenata za statička

opterećenja u domenu elastičnosti materijala. Primenjen je programski sistem Siemens NX SimCenter 3D primenom NX Nastran solvera

HyperMesh 12.0.0 (HyperMesh) - Model: Humerus\_12\_002 - Deform: CDM1 Result  
 Analysis - Results - Static - Stage 1  
 Displacement - Nodal - Magnitude  
 Min: 0.000, Max: 0.672, Units: mm  
 Determination: Displacement - Nodal Magnitude



Slika 11. Rezultati analize

#### E. Optimizacija projektnog rešenja rešenja

Predhodna analiza totalne endoproteze nadlaktice je pokazala da proteze ramena i spojni segment ispunjavaju sve tražene kriterijume. Analiza endoproteze lakta je ukazala na potrebu modifikacije debljine segmenta koji ulazi u lakatnu kost da bi vrednosti napona i deformacija pri podizanju većih tereta odgovarali očekivanim. Time se omogućuje primena legure Ti6Al4V u izradi sklopa uz smanjenje ukupne mase implantata.

Na osnovu snimka obolelog ekstremiteta definisana je maksimalna debljina distalnog dela endoproteze i modifikovano projektno rešenje. Na slici 12 je prikazan dobijeni rezultat.



Slika 12. Distalni deo mega endoproteze humerusa

### III. REZULTAT

Procesom automatizovanog projektovanja proizvoda primenom CAD programskog sistema Siemens NX uz primenu metode projektovanja od sklopa ka delu u optimalnom vremenskom periodu dobijeno je rešenje endoproteze zadovoljavajućih mehaničkih karakteristika. Slika 13 prikazuje vizuelizovan model dobijenog rešenja.



Slika 13. Vizuelizovan model dobijenog rešenja

Dobijeno rešenje je projektovano uzimajući u obzir pored eksploatacionih i proizvodne kriterijume tako da su pojedini element (kuglasti deo zgloba ramena, zglob lakta i telo endoproteze) izrađeni u skladu sa kriterijumima pogodnosti za izradu u pojedinačnoj proizvodnji i ugradnji

Na slici 14 je prikazan deo procesa ugradnje.



Slika 14. Proces ugradnje endoproteze humerusa

Na slici 15 je prikazana pacijentkinja u procesu oporavka od operativnog zahvata



Slika 15. Pacijentkinja u procesu oporavka

### IV. DISKUSIJA

Primena programskih sistema za automatizaciju procesa projektovanja proizvoda uz odgovarajuće pomoćne aplikacije za rekonstrukciju oblika kosti omogućuju realizaciju kompletnog procesa projektovanja od definisanja koncepcionog rešenja preko simuliranja biomehaničkih uslova opterećenja i ograničenja do simuliranja ugradnje.

Primenom ovih metoda se omogućava eliminisanje komplikacija koje nastaju nakon ugradnje endoproteze, među kojima su najvažnije:

- Rane komplikacije usled infekcija i/ili
- Kasne komplikacije koje rezultiraju razlabavljenjem ili lomom implantata usled zamora materijala

Pored toga primena savremenih tehnologija razvoja endoproteza obezbeđuje se jednostavniji proces ugradnje uz niže troškove izrade i kraće vreme oporavka pacijenta.

## V. ZAKLJUČAK

Prikazana istraživanja ukazuju na pogodnost primene savremenih tehnologija u procesu razvoja proizvoda. To se posebno odnosi na proizvode u pojedinačnoj proizvodnji prilagođene korisniku kod kojih se izrada fizičkog prototipa i njegova eksperimentalna verifikacija praktično ne može realizovati, već se isto vrši na virtuelnim (računarskim) modelima.

Pravilan odabir postupaka za dijagnostičko snimanje, procedure formiranja snimka, programskog sistema za razvoj proizvoda kao i odgovarajuća saradnja između lekara i inženjera omogućavaju da se najkomplikovaniji implantati projektuju i izrade u vremenskom okviru koji odgovara pripremama za operaciju čime se obezbeđuje efikasna ugradnja i brz oporavak pacijenta uz smanjenje ukupnih troškova lečenja.

## NAPOMENA

Istraživanje prezentovano u radu je podržano od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije kroz projekat broj 451-03-47/2023-01/200156 "Inovativna naučna i umetnička istraživanja iz domena delatnosti FTN-a".

## LITERATURA

- [1] C. Theil, J. Schwarze, G. Gosheger, B. Moellenbeck, K. N. Schneider, N. Deventer, *et al.*, "Implant Survival, Clinical Outcome and Complications of Megaprosthesis Reconstructions Following Sarcoma Resection," *Cancers (Basel)*, vol. 14, Jan 11 2022.
- [2] S. Kotwal, B. Moon, P. Lin, R. Satcher, Jr., and V. Lewis, "Total Humeral Endoprosthetic Replacement following Excision of Malignant Bone Tumors," *Sarcoma*, vol. 2016, p. 6318060, 2016.
- [3] H. Wafa, K. Reddy, R. Grimer, A. Abudu, L. Jeys, S. Carter, *et al.*, "Does total humeral endoprosthetic replacement provide reliable reconstruction with preservation of a useful extremity?," *Clin Orthop Relat Res*, vol. 473, pp. 917-25, Mar 2015.
- [4] K. N. Schneider, J. N. Bröking, G. Gosheger, T. Lübben, J. Hardes, D. Schorn, *et al.*, "What Is the Implant Survivorship and Functional Outcome After Total Humeral Replacement in Patients with Primary Bone Tumors?," *Clin Orthop Relat Res*, vol. 479, pp. 1754-1764, Aug 1 2021.
- [5] N. M. Bernthal, A. Upfill-Brown, Z. D. C. Burke, D. Greig, R. Hwang, B. Crawford, *et al.*, "Long term outcomes of total humeral replacement for oncological reconstructions: A single institution experience," *J Surg Oncol*, Jun 29 2020.
- [6] T. Ackmann, S. Klingebiel, G. Gosheger, A. Rachbauer, C. Theil, and D. Andreou, "Reconstruction of Total Bone Defects following Resection of Malignant Tumors of the Upper Extremity with 3D

Printed Prostheses: Presentation of Two Patients with a Follow-Up of Three Years," *Case Rep Orthop*, vol. 2020, p. 8822466, 2020.

- [7] D. T. Tran, T. D. Tran, S. B. Nguyen, S. Q. T. Nguyen, Q. M. Dang, and C. V. Tran, "Combination of Reverse Shoulder Prosthesis, Elbow Prosthesis, and Polyetheretherketone: A Modified Total Humeral Replacement for Osteosarcoma Humerus Treatment," *Case Rep Oncol*, vol. 15, pp. 12-20, Jan-Apr 2022.
- [8] J. Grujić, "Tumorska modularna endoproteza zgloba kuka," Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, 2018.
- [9] J. Grujić, S. Tabaković, M. Zeljković, A. Zivkovic, and J. Sekulić, *Računarsko modeliranje specijalne endoproteze "Spacer"*, 2013.
- [10] S. Armah, "Stress Analysis of an Artificial Human Elbow Joint: Application of Finite Element Analysis," *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 11, pp. 1-18, 01/01 2018.
- [11] B. Keddar, B. Aour, S. Zahaf, C. Boualem, F. Bouchakour, and Z. N. Vafa, "Static Study and Finite Element Analysis of a New Method of Fixation of a Medial Humerus Fracture by an Intramedullary Nailing System Analyzed by the ANSYS Workbench 16.2 Calculus Code," *Nano Biomedicine & Engineering*, vol. 11, pp. 272-289, 2019.

## ABSTRACT

The appearance of malignant or benign changes in the distal and proximal part or destruction of the bone mass of the upper arm is repaired in modern medicine by surgical removal of damaged bone tissue and implantation of an endoprosthesis: "total humerus". The method ensures the elimination of pain and preservation of the diseased extremity functionally and aesthetically. Due to the nature of the disease and the goal of the intervention, this type of endoprosthesis is developed and made according to the morphological characteristics of the specific patient. The endoprosthesis development process includes conceptualization based on diagnostic images, design using CAD software systems, and preparation for manufacturing. Due to the nature of the product and the manufacturing process, endoprostheses are designed according to the patient's measurements with verification using CAE software systems.

The paper describes the procedure of developing "total humerus" endoprostheses for a specific patient with the application of the most modern software systems for product development.

**DEVELOPMENT OF THE "TOTAL HUMERUS" MEGA ENDOPROSTHESIS OF THE UPPER ARM**  
Grujić, J., Tabaković, S., Zeljković, M., Vučinić, Z., Rajković, S., Bogosavljević, N.