

Primjena tehnologije brze izrade u rekonstrukciji koštanih defekata orofacijalne regije

Application of rapid prototyping technology in orofacial defects reconstruction

Sven Maričić^{1*}, Daniela Kovačević Pavičić², Mladen Perinić¹

¹Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci

²Katedra za stomatološku protetiku, Medicinski fakultet Sveučilišta u Rijeci

Primljeno: 19. 12. 2008.

Prihvaćeno: 12. 3. 2009.

Adresa za dopisivanje:

*Sven Maričić, dipl. ing.

Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci,

Vukovarska 58, 51000 Rijeka

e-mail: sven.maricic@riteh.hr

<http://hrcak.srce.hr/medicina>

SAŽETAK. Današnji trendovi u biotehnoškoj proizvodnji sve više se baziraju na multidisciplinarnom pristupu. Zahvaljujući snažnom razvoju računala omogućeno je planiranje i projektiranje biomedicinskih implantata kroz 3D prikaz modela koštanih defekata orofacijalne regije. U tom smislu posebno je važna njihova detaljna analiza i kasnija proizvodnja na nekom od 3D printera nove generacije koja omogućuje izradu stvarnog modela lubanje. Pri tome za izradu biomedicinskih implantata na raspolaganju stoji čitav niz biokompatibilnih materijala od polimetil-metakrilata do titanskih slitina.

Ključne riječi: kompjutorizirana tomografija, koštani defekti, tehnologija brze izrade

ABSTRACT. Present trends in biotechnological manufacturing are mostly based on multidisciplinary approach. The fast development of computers enabled the planning and designing of biomedical implants through the 3D view model of bone defects in orofacial region. Regarding this fact, the detailed model analysis is of special importance since it will enable the creation of realistic skull models in the future through a new generation of 3D printers. A wide range of new biocompatible materials, including polymethyl methacrylate and titanium alloys are available for the creation of biomedical implants.

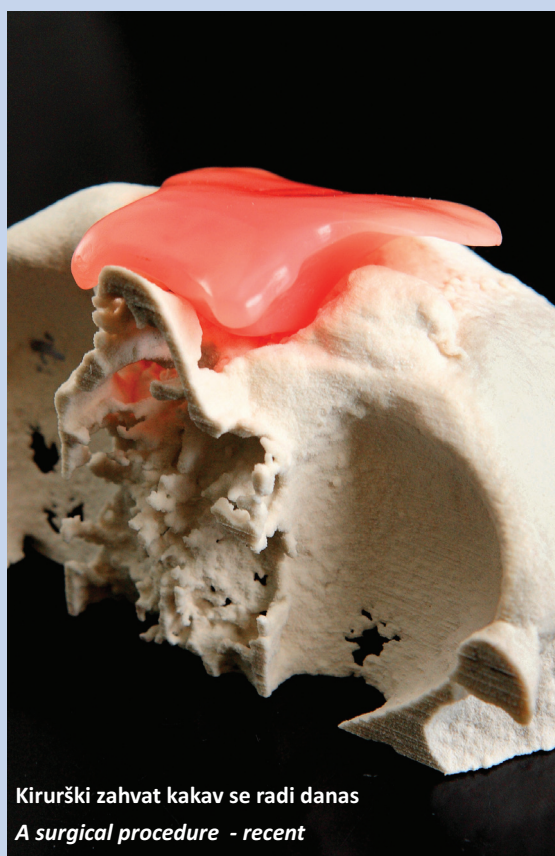
Key words: bone defects, computer tomography, rapid prototyping

UVOD

Suvremeni načini rekonstrukcije koštanih defekata orofacijalne regije zahtijevaju interdisciplinarnu suradnju specijalista maksilofacijalne kirurgije, otorinolaringologije, stomatološke protetike te inženjera strojarstva i elektrotehnike¹⁻⁵. U novije vrijeme nametnula se nova tehnološka metoda rekonstrukcije neuro i viscerocraniuma, a to je tehnologija brze izrade modela⁶⁻¹⁰ (engl. *Rapid prototyping – RP*). Ovaj pojam označava napredne, najčešće automatizirane grupe metoda koje omogućavaju izradu 3D fizičkog modela ili gotovih proizvoda iz računalnog zapisa. Uporabom ove metode moguće je zadovoljiti funkcijsku i estetsku komponentu¹¹⁻¹⁸. Njena prednost u odnosu na klasične metode dobivanja implantata pomoću otiska ili intraoperativnim adaptiranjem prefabriciranih implantata je individualizacija, preciznost, jednostavnost i brzina izrade. Na slici 1 vidimo prikaz usporedbi preciznosti implantata dobivenih klasičnom metodom otiska preko kože

i implantata dobivenog na osnovi modela napravljenog pomoću tehnologije brze izrade modela. Ova tehnologija omogućava izradu koštanog modela lubanje za svakog pojedinog bolesnika na osnovi digitalnog zapisa dobivenog pomoću CT ili MR uređaja¹⁹. Na osnovi tog modela (slika 2) može se brzo, precizno i jednostavno izraditi implantat od nekog biokompatibilnog materijala (npr. polimetil-metakrilat, titan). Brzu izradu prototipova možemo definirati kao grupnu tehnolo-

Zahvaljujući snažnom napretku računalne tehnologije omogućena je uska interdisciplinarna suradnja specijalista različitih struka. Osnovno polazište je osiguranje izrade čim točnije geometrije. Korištenjem novih tehnologija značajno se može poboljšati funkcijska i estetska komponenta prilikom rekonstrukcije koštanih defekata. Tehnologija brze izrade omogućava izradu 3D fizičkog modela iz zapisa dobivenog pomoću CT ili MR uređaja.

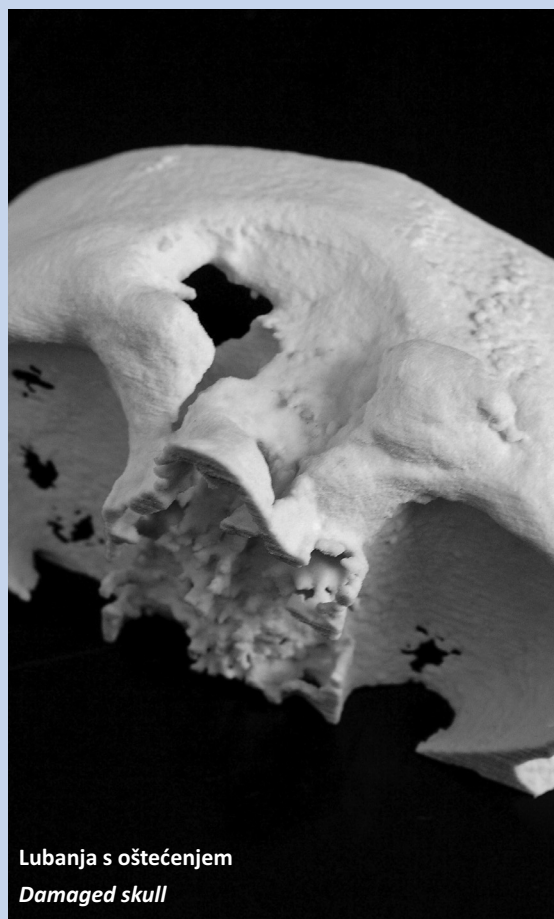


Kirurški zahvat kakav se radi danas
A surgical procedure - recent



Rješenje zahvata koje je još u fazi istraživanja
A surgical procedure - in future

Slika 1. Usporedba preciznosti implantata
Figure 1. Comparison of implant precision



Lubanja s oštećenjem
Damaged skull

Slika 2. Prikaz dobivene lubanje tehnikom brze izrade modela

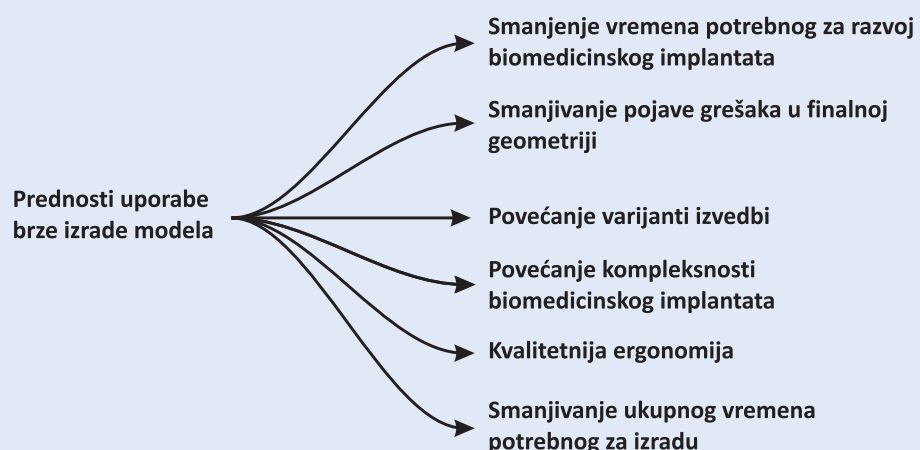
Figure 2. Skull bone model manufactured by Rapid prototyping technology

giju korištenu za brzu proizvodnju modela implantata uz pomoć trodimenzionalnih računalnih podataka dobivenih konverzijom CT zapisa²⁰. Neke od prednosti uporabe ove tehnologije prikazane su na slici 3.

IZRADA BIOMEDICINSKIH IMPLANTATA

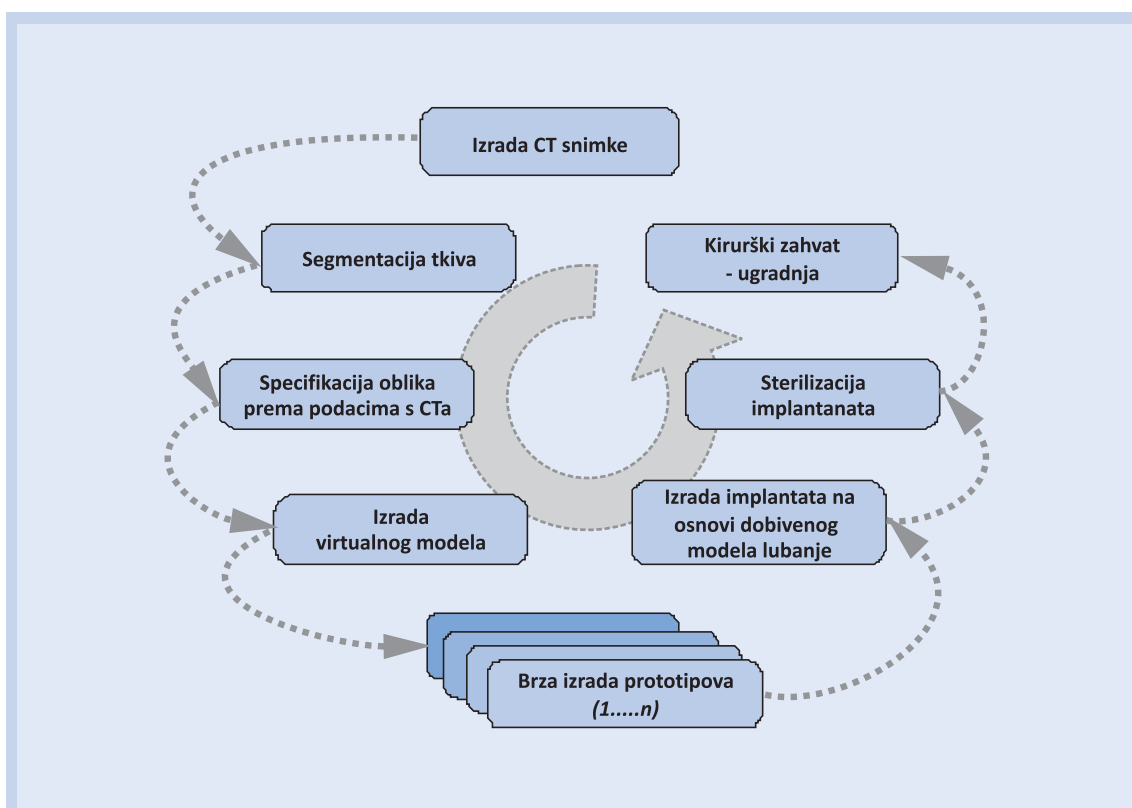
Postupak izrade pozitiva lubanje možemo podijeliti na nekoliko faza (slika 4). U prvoj fazi vrši se CT snimanje bolesnika i pohrana podataka u neki od standardiziranih medicinskih formata. U općem slučaju podaci su snimljeni u DCM zapisu. Nakon toga slijedi faza segmentacije u kojoj se računalnim putem definiraju granice i područja između mekih i tvrdih tkiva. Ovo se vrši tako da računalni program na osnovi unaprijed definiranih vrijednosti sive skale "raspoznaje" definirana područja²¹. U trećoj fazi vrši se zapis definirane geometrije prema podacima dobivenim postupkom segmentacije, tj. na osnovi CT i kompjuterske obrade podataka dobivamo točne koštane strukture koje možemo otisnuti, tj. izraditi na nekom od strojeva za brzu izradu modela. Zatim slijedi izrada implantata na osnovi dobivenog modela lubanje. Završne faze obuhvaćaju sterilizaciju i ugradnju putem kirurškog zahvata.

Iz nekolicine vrsta strojeva i načina izrade prototipova izdvaja se tzv. *stereolitografski* postupak. Ovaj način izrade prva je komercijalizirana tehni-



Slika 3. Prednost uporabe tehnologije brze izrade modela

Figure 3. Advantages of using Rapid prototyping technology

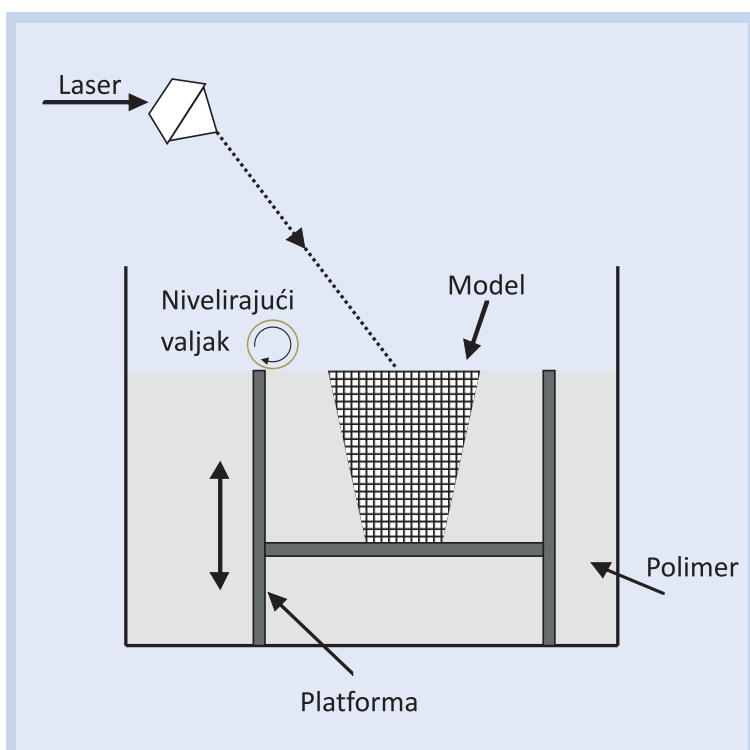


Slika 4. Shematski prikaz postupka izrade
Figure 4. Schematic overview of production

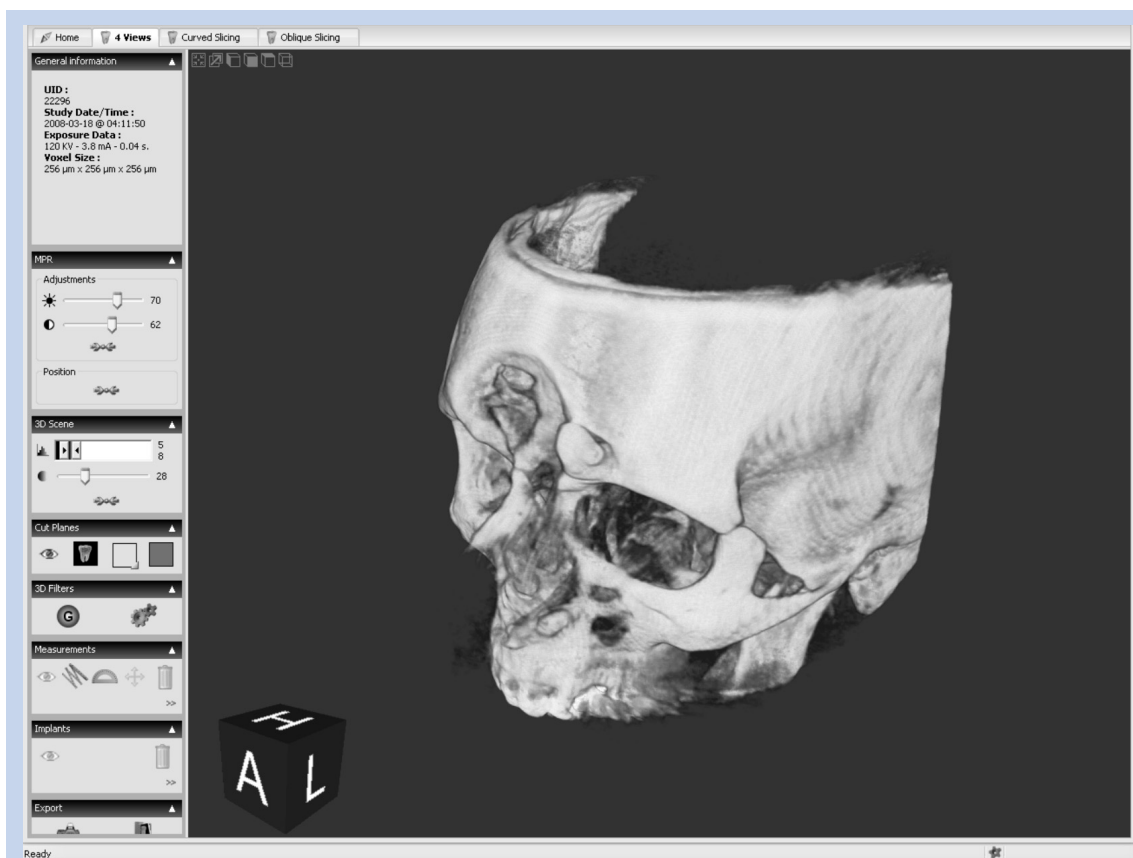
ka brze izrade modela razvijena sredinom 1980-ih. Princip funkcioniranja u osnovi je sljedeći: pod utjecajem laserske zrake formira se skrućeni sloj fotopolimera koji se nalazi u tekućem stanju. Na tako kreiran sloj nanosi se drugi, sve dok se ne postigne željena geometrija. Pri svakom nanošenju novog sloja materijala platforma se spušta za određeni korak. Ovako opisani stereolitografski način izrade primjenjuje se za izradu funkcionalnih prototipova (u kombinaciji s različitim završnim obradama moguće je značajno povećati čvrstoću i otpornost oblika proizvoda), izradu uzoraka za daljnju obradu i sl. Prednost uporabe ovoga načina izrade leži u postizanju dovoljno visokih točnosti i visoke rezolucije, te mogućnosti ispisa u boji. Shematski prikaz rada stereolitografskog uređaja vidimo na slici 5.

TRODIMENZIONALNI PRIKAZ LUBANJE

Tijekom snimanja glave pomoću CT uređaja dobiveni su presjeci slojeva debljine 0,8 mm. Nakon završenog snimanja sve dobivene informacije



Slika 5. Shematski prikaz rada stereolitografskog stroja
Figure 5. Stereolithographic machine, schematic view



Slika 6. Rekonstrukcija 3D prikaza lubanje
Figure 6. 3D reconstruction frontal bone

spremaju se u datoteke. One su obično strukturirane prema DCM zapisu. Ova vrsta zapisa predstavlja standard kod pohrane digitalnih medicinskih podataka. Pri tome se pohranjene informacije

Svake se godine širi paleta dostupnih biokompatibilnih materijala s trendom smanjenja tržišne cijene. Daljnjim razvojem ove tehnologije očekuje se značajno povećanje preciznosti i efikasnosti kod rekonstrukcijskih zahvata, što će omogućiti jednostavnije planiranje ali i izvedbu kirurških operacija. Snažan računalni razvoj omogućit će veću interaktivnost između specijalista različitih struka povezanih u rješavanju koštanih defekata.

moгу podijeliti na *opće* i *slikovne 2D informacije* (engl. *image information*). Pod opće informacije spadaju: *šifra snimanja, bolesnikovi osobni podaci, datum i vrijeme snimanja, tehnički parametri snimanja – vrijednosti napona i snaga struje te*

vrijeme izloženosti. Slikovne informacije sadrže slikovne 2D podatke određenog presjeka prikazane u sivoj skali. Na osnovi tih dvodimenzionalnih slikovnih podataka vrši se 3D rekonstrukcija kakva je prikazana na slici 6.

Kako bi se prethodno navedeni podaci mogli kvalitetno rekonstruirati upotrebljavaju se neki od CAD/CAM programa²². Ove kratice označavaju skup programa zaduženih za projektiranje podržano računalom (engl. *Computer Aided Design – CAD*) i računalom podržanu proizvodnju (engl. *Computer Aided Manufacturing – CAM*). U dijelu CAD programa vrši se rekonstrukcija slikovnih zapisa, projektiranje biomedicinskih implantata i njihova kasnija analiza. Kod planiranja proizvodnje na nekom od strojeva za brzu izradu modela koristimo programe iz CAM domene. U CAM području važno je unaprijed definirati materijale s kojima radimo kako bi odabir vrste stroja kao i vrste postupka bio olakšan.

ZAKLJUČAK

Zahvaljujući brzom tehnološkom razvoju računalne medicinske opreme omogućeno je planiranje i projektiranje biomedicinskih implantata. Današnji dijagnostički uređaji poput CT-a ili MR-a omogućavaju dobivanje preciznih detalja vrlo važnih za predoperativno planiranje/postupak. Rekonstrukcijom njihovog zapisa u nekom od programa za računalno projektiranje dobivamo trodimenzionalni prikaz snimljenog područja. Idući korak je dobivanje fizičkog modela na osnovi računalnih podataka pomoću nekog od programa za računalom podržanu proizvodnju. Pri tome se koristi tehnologija brze izrade modela kao što je to opisano u članku. Daljnjim razvojem očekuje se postizanje veće točnosti prilikom izrade modela, kao i uvođenje novih materijala u proces izrade.

ZAHVALA

Zahvaljujemo se autoru fotografija Davoru Žuniću na ustupljenim fotografijama.

LITERATURA

- Chiarini L, Figurelli S, Pollastri G, Torcia E, Ferrari F, Albanese M et al. Cranioplastic Using Acrylic Material: A new technical procedure. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery* 2004;32:5-9.
- Liou FW. *Rapid Prototyping and Engineering Applications*. 1st Edition. New York: CRC Press Taylor and Francis Group, 2008.
- Ciocca L, De Crescenzo F, Fantini M, Scotti R. CAD/CAM and Rapid Prototyped Scaffold Construction for Bone Regenerative Medicine and Surgical Transfer of Virtual Planning: A Pilot Study. *Computerized Medical Imaging and Graphics* 2009;33:58-62.
- Quadrani P, Pasini A, Mattioli-Belmonte M, Zannoni C, Tampieri A, Landi E et al. High-resolution 3D scaffold model for engineered tissue fabrication using a rapid prototyping technique. *Med Biol Eng Comput* 2005;43:196-9.
- Singare S, Liu Y, Li D, Lu B, Wang J, He S. Individually Prefabricated Prosthesis for Maxilla Reconstruction. *Journal Prosthodont* 2008;2:135-40.
- Peltola SM, Melchels FP, Grijpma DW, Kellomäki M. A review of rapid prototyping techniques for tissue engineering purposes. *Ann Med* 2008;4:268-80.
- Caban JJ, Joshi A, Nagy P. Rapid Development of Medical Imaging Tools with Open-Source Libraries. *Journal of Digital Imaging* 2007;20:83-93.
- Schön R, Metzger MC, Zizelmann C, Weyer N, Schmelzeisen R. Individually preformed titanium mesh implants for a true-to-original repair of orbital fractures. *International Journal of Oral & Maxillofacial Surgery* 2006;35:990-5.
- Kozakiewicz M, Elgalal M, Loba P, Komuński P, Arkuszewski P, Broniarczyk-Loba A et al. Clinical Application of 3D pre-bent titanium implants for orbital floor fractures. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery* 2009; In press.
- Liu J, Ma W, Liu F, Hu Y, Yang J, Xu X. Study and Application of Medical Image Visualization Technology. *First International Conference on Digital Human Modeling, ICDHM 2007*. Beijing, 2007;668-77.
- Geetha M, Singh AK, Asokamani R, Gogia AK. Ti based biomaterials, the ultimate choice for orthopaedic implants. *Progress in Materials Science* 2009;54:297-425.
- Nagasao M, Nagasao T, Imanishi Y, Tomita T, Tamaki T, Ogawa K. Experimental evaluation of relapse-risks in operated zygoma fractures. *Auris Nasus Larynx* 2009;36:168-75.
- Ihan Hren N, Pogačar V. Three-dimensional analysis of the facial soft tissues. *The 2nd International Conference on Additive Technologies, Ptuj, 2008*.
- Ružarovský R, Matúšova M, Zvolenský R. Machining simulation design by software Catia. *The 2nd International Conference on Additive Technologies, Ptuj, 2008*.
- Bagci E. Reverse engineering applications for recovery of broken or worn parts and re-manufacturing. *Advances in Engineering Software* 2009;40:407-18.
- Várady T, Martin R, Cox J. Reverse engineering of geometric models – an introduction. *Computer – Aided Design* 1997;29:255-68.
- Silva A. Bayesian mixture models of variable dimension for image segmentation. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 2009;94:1-14.
- Bromiley PA, Thacker NA, Scott MLJ, Pokrić M, Lacey AJ, Coates TF. Bayesian and non-Bayesian probabilistic models for medical image analysis. *Image and Vision Computing* 2003;21:851-64.
- Ashburner J, Friston KJ. Voxel-Based Morphometry The Methods. *Neuro Image* 2000;11:805 – 21.
- Kamrani AK, Nasr AE. *Rapid prototyping*, New York: Springer, 2006.
- Grosland MN, Shivanna HK, Magnotty VA, Kallemeyn NA, DeVries NA, Tadealli CS et al. IA-FEMesh: An open source, interactive, multiblock approach to anatomic finite element model development. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 2009;94:96-107.
- Subašić M, Lončarić S, Birchnauer J. Expert system segmentation of face images. *Expert Systems with Applications* 2009;36:4497-507.