

Postupak ocjene doktorskog rada

DOKTORAND/ICA:	Alan Divjak, mag. ing. techn. graph.
----------------	--------------------------------------

NASLOV RADA na hrv. jeziku:	Proceduralno modeliranje prostorno nehomogenih mrežastih objekata za aditivnu proizvodnju
NASLOV RADA na engl. jeziku:	Procedural modeling of spatially inhomogeneous mesh objects for additive production

SAŽETAK:
Upotreba replika ljudskih kosti u istraživanjima česta je u brojnim područjima medicine, ali riječ je o pojednostavljenim modelima čija mehanička svojstva ne odgovaraju stvarnim kostima. Motiv izrade ove disertacije definiranje je procesa izrade replika ljudskih kosti realnog raspona mehaničkih svojstava. Replike su napravljene od funkcionalno gradiranog materijala temeljenog na gradijentu poroznosti koji su realizirani putem prostorno nehomogenih mrežastih struktura. Oralna implantologija jedno od područja medicine gdje je potreba za takvim replikama iznimno izražena, stoga je istraživanje procesa izrade usmjereno na ljudsku čeljust. Proces izrade koristi proceduralno 3D modeliranje i aditivnu proizvodnju, stoga je provedeno istraživanje koje utvrđuje optimalne parametre upotrebe navedenih tehnologija. Provedena je mehanička karakterizacija korištenog materijala za 3D tisak. Utvrđena je optimalna konfiguracija proceduralno generiranih mrežastih struktura za postizanje najvećeg mogućeg raspona mehaničkih svojstava. Napravljena je analiza računalne zahtjevnosti izrade modela replika i izvedivosti njihove pripreme za 3D tisak. Istražene su tehničke mogućnosti izrade mrežastih struktura na korištenom 3D printeru. Provedena je virtualna mehanička karakterizacija uzoraka mrežastih struktura pomoću metode konačnih elemenata. Na kraju su rezultati istraživanja ujedinjeni kako bi se izradila konačna replika dijela ljudske čeljusti. Rezultati istraživanja potvrđuju definirane hipoteze disertacije i valjanost predloženog procesa izrade replika. Korišteni računalni programi za modeliranje i pripremu modela predstavljaju jedine problematične komponente u procesu izrade. Demonstrirali su značajna ograničenja koja rezultiraju izradom modela dijela kosti najvećeg volumena od 1 cm³, što predstavlja neupotrebljivo malen uzorak. Stoga je napravljen vlastiti računalni program koji ujedno generira mrežaste strukture i radi pripremu za 3D tisak. Testiranje mogućnosti programa pokazuje kako je sposoban proceduralno modelirati i pripremiti za 3D tisak replike bilo koje kosti u ljudskom tijelu. Zaključak je kako predloženi proces izrade omogućava izradu replika ljudskih kosti realnog raspona mehaničkih svojstava. Replike kosti mogu se izraditi brzo i jednostavno korištenjem potrošačkih LCD stereolitografskih 3D printera niske cijene, što njihovu upotrebu u medicinskim istraživanjima čini iznimno pogodnom. Ključne riječi: oralna implantologija, proceduralno modeliranje, aditivna proizvodnja, stereolitografija, metoda konačnih elemenata

ABSTRACT:
The use of replicas of human bones in research is common in many fields of medicine, but these are simplified models whose mechanical properties do not correspond to real bones. The motive for making this dissertation is to define the process of creating replicas of human bones with a realistic range of mechanical properties. Replicas are made of functionally graded material based on a porosity gradient that is realized through spatially inhomogeneous mesh structures. Oral implantology is one of the areas of medicine where the need for such replicas is extremely pronounced, so the research of the manufacturing process is focused on the human mandible. The manufacturing process uses procedural 3D modeling and additive manufacturing, so a study was conducted that determines the optimal parameters for the use of these technologies. Mechanical characterization of the material used for 3D printing was performed. The optimal configuration of procedurally generated mesh structures to achieve the widest possible range of mechanical properties was determined. An analysis of the computational complexity of making replica models and the feasibility of their preparation for 3D printing was made. The technical possibilities of making mesh structures on a used 3D printer were investigated. A virtual mechanical characterization of the samples of mesh structures was performed using the finite element method. Finally, the results of the research were combined to produce a final replica of a part of the human mandible. The research results confirm the defined hypotheses of the dissertation and the validity of the proposed replica making process. The software used for modeling and model

preparation are the only problematic components in the development process. They demonstrated significant limitations that result in the modeling of a part of the bone with a maximum volume of 1 cm³, which is an unusably small sample. Therefore, a custom program was created that both generates mesh structures and prepares them for 3D printing. Testing the capabilities of the program demonstrates that it is capable of procedurally modeling and preparing for 3D printing a replica of any bone in the human body. The conclusion is that the proposed manufacturing process allows the production of replicas of human bones of a realistic range of mechanical properties. Bone replicas can be made quickly and easily using low-cost consumer LCD stereolithographic 3D printers, making their use in medical research extremely convenient.

Key words: oral implantology, procedural modeling, additive manufacturing, stereolithography, finite element method

Zagreb, 21.07.2021.