



Simonović A., Živković R., Obradović A., Trivković S.¹

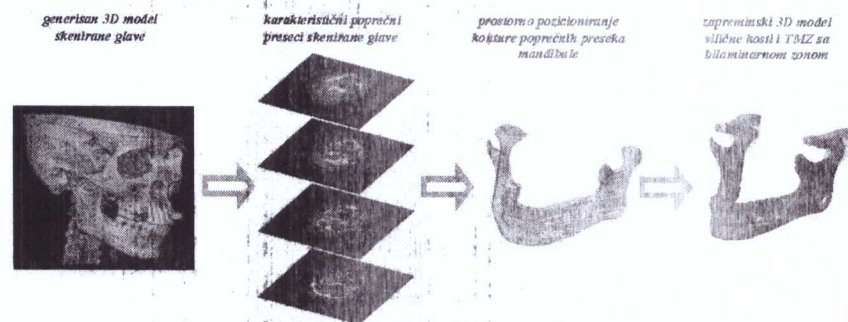
ANALIZA NAPONSKO-DEFORMACIONIH STANJA ARTIKULACIONOG DISKA TEMPORO-MANDIBULARNOG ZGLOBA

Rezime

U radu je opisan postupak analize naponsko-deformacionih stanja artikulacionog diska temporo-mandibularnog zgloba. Sprovedena numerička simulacija omogućava identifikaciju pomeranja i naponskog stanja prilikom karakterističnih i patoloških pokreta mandibule. Nelinearnom konačnolemenom analizom, identifikovane su zone najvećeg opterećenja artikulacionog diska u toku razmatranih kretanja vilične kosti.

UVOD

Temporo-mandibularni zglob (TMZ) je jedini pokretni parni zglob glave koji povezuje mandibulu sa kranijumom i predstavlja izuzetno složenu strukturu sa mnogo međusobno povezanih tkiva-komponenti. Specifičnost para temporo-mandibularnih zglobova je u tome da se oba zgloba pokreću u toku nekog pokreta donje vilice. Ti pokreti zgloba mogu biti istovremni-simetrični ili su kretnje asimetrične-različite. Pri mandibularnim pokretima, uopšteno, javljaju se različita opterećenja u zglobovima. Razlikujemo pokrete donje vilice i pokrete u zglobu. Osnovni pokreti u temporo-mandibularnom zglobu su rotacija i translacija (klizanje). Rotacija se može odvijati oko horizontalne, vertikalne i sagitalne ose. Naponsko-deformaciono stanje pri mandibularnim pokretima, artikulacionog diska je od velike važnosti za razvoj i rast kranio-facijalnog skeleta, kao i za njegovo fiziološko funkcionisanje.



Slika 1. Proces dobijanja 3D modela vilice kosti

¹ dr Aleksandar Simonović, dipl. inž., Mašinski fakultet Beograd, email: asimonovic@mas.bg.ac.rs
mr sci dr Rade Živković, Stomatološki fakultet Beograd, email: radeziv@gmail.com
prof. dr Aleksandar Obradović, Mašinski fakultet Beograd, email: aobradovic@mas.bg.ac.rs
Sitan Trivković, dipl. inž., Mašinski fakultet Beograd, email: stivkovic@mas.bg.ac.rs

U radu je prikazan postupak analize naponsko-deformacionih stanja temporo-mandibularnih zglobova koja se javljaju prilikom otvaranja mandibule i okluzije tj. kontaktnog odnosa zuba gornje i donje vilice koje se odvija pod kontrolom centralnog nervnog sistema. Strukturalnom analizom artikulacionog diska obrađena su dva osnovna oblika okluzije i uslovi za njihovo izvođenje: fiziološka i patološka. Skladna funkcija osnovnih komponenta stomatognatog sistema, temporo-mandibularnog zgloba, orofacijalnih mišića i okluzalnog kompleksa sa potpunim strukturama zuba se nalaze u osnovi fiziološki optimalne okluzije. Stabilnu fiziološku okluziju karakteriše apsolutna ravnoteža sila koje deluju na zube i njihove potpome strukture i zgloba u toku ispoljavanja funkcija orofacijalnog sistema. Patološka okluzija je stanje orofacijalnog sistema u kome nije prisutna anatomska i fiziološka harmonija.

Rezultati dobijeni numeričkom simulacijom, upotrebom savremenih informacionih tehnologija, u cilju indentifikacija pomeranja i naponskog stanja predstavljaju značajan doprinos malobrojnim i nepotpunim eksperimentalnim podacima. Usled složenosti geometrije vilice, izrada modela i obrada poprečnih preseka, kao osnove za strukturalnu analizu artikulacionog diska izvršene su u AutoCad-u. Dobijene 2D krive exportovane su u programski paket CATIA V5 radi izrade 3D modela i generisanja konačnoelementnog modela.

ANALIZA

U ovom radu analiza napona i deformacija izazvana definisanim opterećenjima i pomeranjima elemenata 3D modela temporo-mandibularnog zgloba je izvršena u četiri faze koje podrazumevaju i primenu Metode konačnih elemenata:

I faza:

Generisanje geometrije 3D modela temporo-mandibularnog zgloba;

II faza:

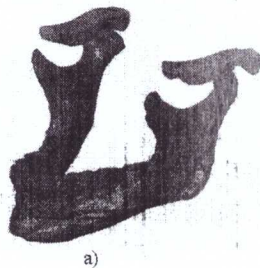
Formiranje mreže konačnih elemenata i definisanje karakteristika materijala konačnoelementnog modela temporo-mandibularnog zgloba;

III faza:

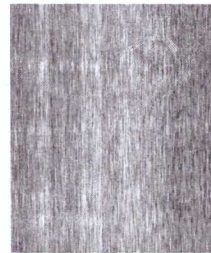
Definisanje pokretanja 3D modela temporo-mandibularnog zgloba, tokom otvaranja usta, protruzije i laterotruzije donje vilice;

IV faza:

Određivanje veličine, pravca, smera i načina unošenja opterećenja u 3D model temporo-mandibularnog zgloba, rešavanje matematičkog modela i interpretacija rezultata.



a)



b)

Slika 2. a) Diskretizovan 3D model vilične kosti i TMZ. b) Kontinuan presjek vilične kosti i TMZ u sagitalnoj ravni

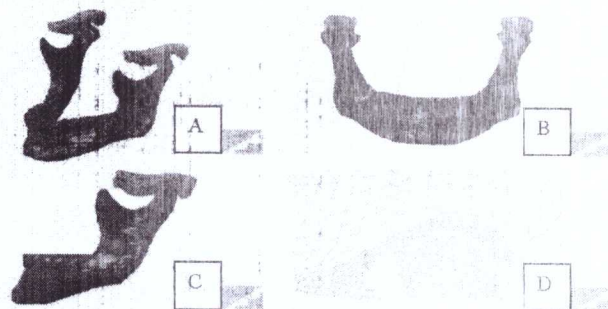
Primenom metode konačnih elemenata obavljani su proračuni na priručno fiziološkim i patološkim uslovima na izrađenim modelima:

1) model na kome je praćeno opterećenje u interkuspalnom položaju donje vilice; Na ovom modelu je analizirano opterećenje artikulacionog diska u interkuspalnom položaju donje vilice. Rezultati proraćuna su obavljani pri delovanju sile od 100N, 300N, 700N.

2) model sa anteriornom dislokacijom artikulacionog diska; Na ovom modelu je analizirano opterećenje na disku u interkuspalnom položaju donje vilice, kod anteriorne dislokacije artikulacionog diska. Rezultati proraćuna su obavljani pri delovanju sile od 300N.

3) model na kome je praćeno otvaranje usta; Na ovom modelu je analizirano opterećenje artikulacionog diska u toku pokreta otvaranja usta, pri fiziološkom odnosu elemenata TMZ. Rezultati proraćuna su obavljani pri pokretu rotacije i translacije kondila bez primene sile.

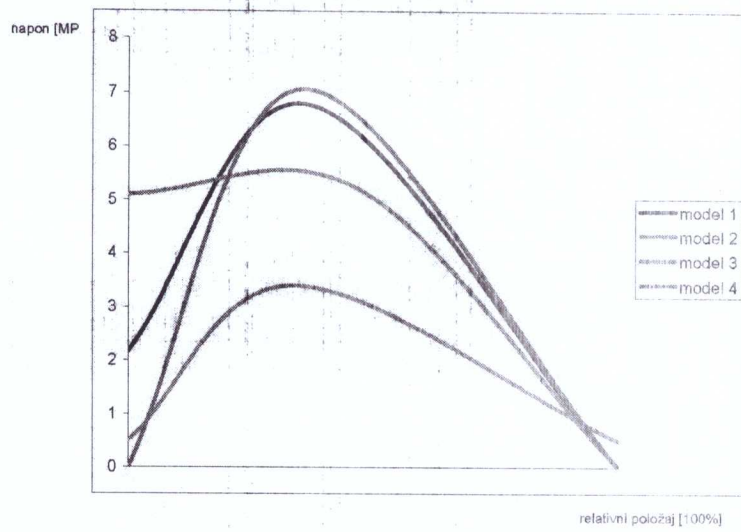
4) model na kome je simulirana protruzijska okluzalna smetnja; Na ovom modelu je analizirano opterećenje artikulacionog diska protruzionom položaju donje vilice pri pojavi protruzijske smetnje. Rezultati proraćuna su obavljani pri delovanju sile od 100N i 300N.



Slika 3. 3D Model donje vilice u interkuspalnom položaju. A- lateralni aspekt, B- frontalni aspekt, C- medijalni aspekt, D- diskretizovan artikulacioni disk sa artikulacionom površinama

Nakon obavljelog proraćuna dobijane su vrednosti maksimalnih napona na nivou celog artikulacionog diska.

Analiza proraćuna ukazuje na znaćajan gradijent promene napona na artikulacionom disku u poređenju sa ostalim tkivima temporo-mandibularnog zgloba pri osnovnim fiziološkim pokretima donje vilice. U toku pokreta otvaranja usta tokom rotacije donje vilice opterećenje u artikulacionom disku je manje nego tokom kretanja kondila, a u toku same translacije najveća opterećenje se registruje pri maksimalno otvorenim ustima. U toku maksimalnog okluzalnog stiskanja zuba pri fiziološkom odnosu elemenata temporo-mandibularnog zgloba, opterećenje se povećava sa povećanjem okluzalne sile, ali je distribucija napona ista. Kod patološkog odnosa elemenata temporo-mandibularnog zgloba, tj. anteriorne dislokacije artikulacionog diska najveće opterećenje se javlja na posteriornom delu intermedijalne zone i posteriornom amnusu diska. Pri protruziji donje vilice distribucija opterećenja na artikulacionom disku je slična kao i pri otvaranju usta. Dobijeni rezultati za najopterećeniji deo artikulacioni disk prikazani su na slici 4 i to tako da je po jednoj osi zadata vrednost napona po drugoj relativni položaj duž artikulacionog diska.



Slika 4. Maksimalne vrednosti napona duž artikulacionog diska (modeli 1-4)

3. CATIA V5 User's Documentation, Dassault Systemes, 2005.
4. Zachowa S., Lamecker H., Elsholtz B., Stiller M., Reconstruction of mandibular dysplasia using a statistical 3D shape model, Elsevier Science, 2005.
5. Tanaka E., R del Pozo, Tanaka M., Asai D., Three dimensional finite element analysis of human temporomandibular joint with and without disc displacement during jaw opening, *Medical Engineering & Physics* 26,2004, 503-511
6. Beek M., Koolstra J.H., L.J. van Ruijven, and T.M.G.J van Eijden, Three dimensional Finite Element Analysis of the Cartilaginous Structures in the Human Temporomandibular Joint, *Journal of Dental Research*, 2001, 80,10
7. Airolidi R.L., Gallo L.M., Palla S., Precision of the jaw tracking system JAWS-3D. *J Orofacial Pain* 8155, 1994.
8. Arnett G.W., Milam S.B., Gottesman L., Progressive mandibular retrusion idiopathic condylar resorption. Part II. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* Volume 110, Issue 5, November 1996, Pages 117.
9. Ateshian G.A., A theoretical formulation for boundary friction in articular cartilage, *J Biomech Eng* 1997;119:81-6.
10. Baltali E., Zhao D.K., Koff F.M., Keller E.E., Kai-Nan An., Accuracy and precision of a method to study kinematics of the temporomandibular joint: Combination of motion data and CT imaging, *Journal of Biomechanics* 41 (2008) 2581-2584.

Abstract

STRESS-STRAIN ANALYSIS OF ARTICULAR DISK OF THE TEMPOROMANDIBULAR JOINT

This paper presents stress-strain analysis of articular disk of the temporomandibular joint. Conducted numerical simulation allows identification of displacements and stress state during characteristic and pathological mandibular movement. Nonlinear finite-element analysis, identified zones of maximum stress concentration on articular disc during jaw bone movement.