

APLICAȚII ALE METODEI ELEMENTULUI FINIT ÎN STUDIUL SOLICITĂRILOR MECANICE ÎN MEDICINA DENTARĂ

Applications of finite element method in mechanical solicitations study in dental medicine

Șef Lucr. Dr. Anca Frățilă¹, Șef Lucr. Dr. Cornel Boitor¹,
Șef Lucr. Dr. Mona Ionaș¹, Șef Lucr. Dr. Liana Stanciu³,
Conf. Dr. Valentin Oleksik², Șef Lucr. Dr. Adrian Pascu², Dr. Bogdan Pârvu²

¹Facultatea de Medicină „Victor Papilian“ ULB, Sibiu

²Facultatea de Inginerie „Herman Oberth“ ULB, Sibiu

³Facultatea de Medicină Dentară, Universitatea „Titu Maiorescu“, București

REZUMAT

Studiul solicitărilor mecanice prin analiza elementului finit este o metodă numerică de calcul aproximativ, valabilă pentru analiza geometriilor complexe. Analiza prin metoda elementului finit permite obținerea unor date necesare în determinarea formei optime a preparațiilor dentare prin cunoașterea corelației formă-solicitare, cu stabilirea modalităților de creștere a eficienței terapeutice și profilactice a protezelor fixe dentare.

Studiile interdisciplinare de cercetare din diferite domenii ca ingineria mecanică cu medicina dentară constituie un impuls pentru dezvoltarea și evoluția tehnicilor clinice și de laborator din medicina dentară modernă.

Cuvinte cheie: metoda elementului finit, geometria preparațiilor dentare, tensiune echivalentă, factor de siguranță

ABSTRACT

The study of mechanical solicitations through the finite element method analysis is a numerical method of approximate calculus, valid for the complex geometrical analysis. The analysis through the finite element method permits the obtaining of the necessary data in determining the optimal form of the dental preparations, through the known correlation form-solicitation, with the establishment of the modalities to grow the therapeutically efficiency and prophylaxis of the fixed dental prosthesis.

The interdisciplinary studies of research from different domains as mechanical engineering with dental medicine is an impulse for the development and the evolution of clinical and laboratory techniques from modern dental science.

Key words: finite element method, geometry of dental preparations, equivalent tension, security factor

IPOTEZA DE LUCRU

Calitatea tratamentelor restaurative orale (odontale, protetice) asigură succesul refacerii și menținerii stării de sănătate a țesuturilor sistemului stomatognat. În acest context, o importanță deosebită o prezintă armonizarea următorilor factori: alegerea materialului de restaurare dentară, geometria preparațiilor dentare pentru a minimaliza concentrarea solicitărilor și designul restaurărilor dentare (1).

Fotoelasticitatea este o metodă optică experimentală, bazată pe fenomenul birefringenței accidentale care indică direcțiile principale ale tensiunilor apărute, sub acțiunea unor solicitări, în modele experimentale cu caracteristici bine definite, examinate în lumină polarizată (2). Prin metode optice experimentale de fotoelasticitate, privind analiza calitativă a tensiunilor care iau naștere în modelele experimentale din plăci de Araldit (CIBA-Elveția) ce au reprodus la scara de 1:1 reconstituiri

Adresă de corespondență:

Șef Lucr. Dr. Anca Frățilă, Facultatea de Medicină „Victor Papilian“, Str. Lucian Blaga Nr. 2A, Sibiu

protetice conjuncte și suportul lor dento-parodontal, am obținut în studii anterioare rezultate ale cercetării utile elaborării planului terapeutic în ceea ce privește alegerea numărului, așezarea și orientarea dinților stâlpi, profilul componentei intermediare în protezarea conjunctă plurală (2).

Deoarece această metodă necesită un material birefringent iar tehnica este dificilă pentru corpurile cu geometrie complexă, pentru analiza solicitării în raport cu geometria preparațiilor dentare am recurs la analiza prin metoda elementului finit.

Analiza solicitării și designul structurilor dentare respectiv al restaurărilor protetice, pot fi studiate și prin analiza elementului finit, care este o metodă valabilă pentru analiza geometriilor complexe. Metoda elementului finit este o metodă numerică de calcul aproximativ, ce poate determina tensiunile și deformațiile unui corp tridimensional (1). Este considerată cea mai bună tehnică de studiu pentru predicția deformărilor și analiza parametrilor performanțelor.

MATERIAL ȘI METODĂ

Studiile din literatura de specialitate au arătat că forma preparației de la nivelul limitei marginale cervicale a dinților influențează adaptarea internă și marginală a coroanelor de înveliș (3,4,5,6).

Astfel ne-am propus să studiem corelația între forma geometrică diferită a limitei marginale cervicale a dinților preparați în vederea acoperirii cu coroane de înveliș și distribuția, valoarea tensiunilor și deformațiilor ce apar în dinte la solicitările ocluzale prin metoda elementului finit.

Modelele geometrice au fost obținute cu ajutorul unui scanner tridimensional (SCAN 3D ENGINE), prin scanarea unor molari umani extrași și ulterior preparați cu diferite forme la nivelul limitei marginale cervicale: preparare tangențială, preparare cu prag escavat (prag rotunjit foarte îngust), preparare cu prag rotunjit îngust (în sfert de elipsă), preparare cu prag rotunjit lat (în sfert de arc de cerc). Modelele geometrice au fost prelucrate cu programul CATIA iar ulterior au fost importate în programul de analiză prin metoda elementului finit ANSYS.

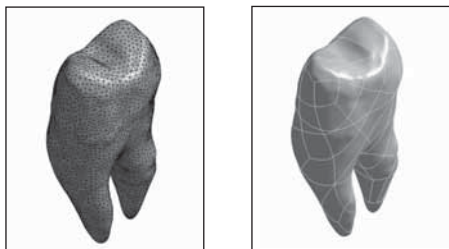


FIGURA 1. Modelul geometric și împărțirea în elemente finite – preparație tangențială

Pentru a simula solicitările ocluzale exercitate asupra dinților, static și dinamic în timpul funcțiilor aparatului dento-maxilar, am aplicat asupra modelului geometric al dinților preparați cu diferite forme la nivelul limitei marginale cervicale, o solicitare de 400N cu forță distribuită pe suprafața ocluzală sau concentrată pe una dintre pantele cuspidiene.

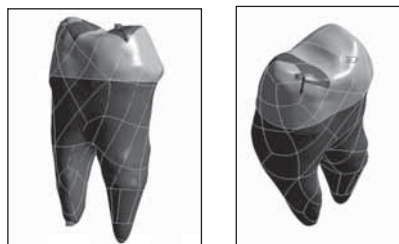


FIGURA 2. Forțele și constrângerile aplicate – preparație tangențială

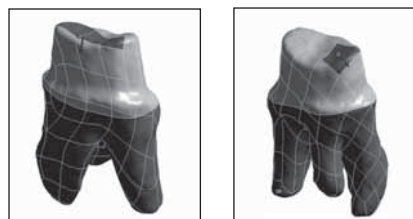


FIGURA 3. Forțele și constrângerile aplicate – preparație cu prag escavat

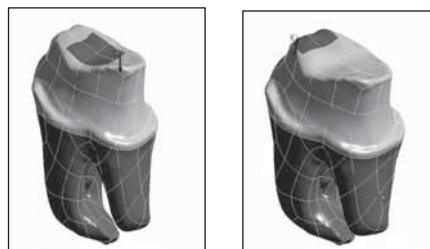


FIGURA 4. Forțele și constrângerile aplicate – preparație cu prag rotunjit îngust

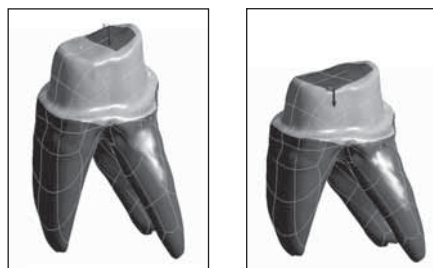


FIGURA 5. Forțele și constrângerile aplicate – preparație cu prag rotunjit lat

Proprietățile fizico-mecanice de material pentru smalt, dentină, pulpă, respectiv valoarea modulului de elasticitate (modulul lui Young) și coeficientul Poisson au fost preluate din literatura de specialitate (1,7,8). Densitatea materialului nu a fost luată în considerație, deoarece forțele masice nu au fost luate în considerație, nefiind obiectul studiului.

TABELUL 1. Valoarea modului de elasticitate și valoarea coeficientului lui Poisson pentru structurile dentare

Material	Modulul de elasticitate	Coeficientul lui Poisson
Smalț	80 GPa	0,3
Dentină	18,6GPa	0,31
Pulpă	2,07MPa	0,45

Pentru fiecare model geometric al dinților preparați cu diferite forme la nivelul limitei marginale cervicale, atât la solicitarea centrică, cât și excentrică, s-au calculat următoarele rezultate:

- Tensiunea principală (Maximum Principal Stress);
- Tensiunea echivalentă (Equivalent von Mises Stress);
- Deformația echivalentă (Equivalent elastic Strain);
- Deplasarea maximă (Total deformation);
- Factorul de siguranță (Safety Factor) care reprezintă raportul între limita de rupere și tensiunea maximă.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Studiul analitic efectuat dă indicații asupra repartișii, valorii tensiunilor (Fig. 6,7) și deformațiilor în structurile dentare sub acțiunea unei solicitări cunoscute, permițând determinarea formei optime a geometriei preparațiilor dentare la nivelul limitei marginale cervicale în conceperea și realizarea lucrărilor protetice conjuncte pentru stabilirea modalităților de creștere a eficienței terapeutice și profilactice a protezelor fixe dentare.

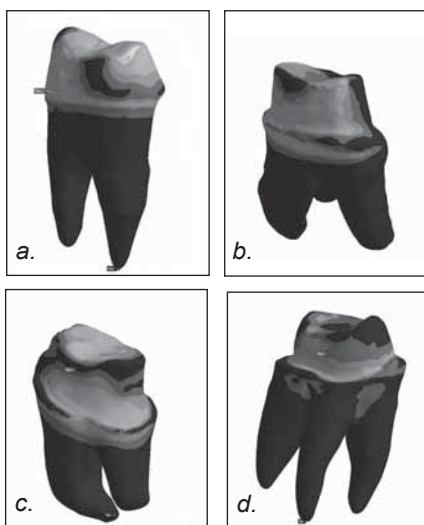


FIGURA 6. Valoarea și distribuția tensiunii echivalente la solicitarea centrică în modelul geometric al dinților cu diferite tipuri de preparație marginală cervicală: a. preparație tangențială; b. preparație cu prag escavat; c. preparație cu prag rotunjit îngust; d. preparație cu prag rotunjit lat

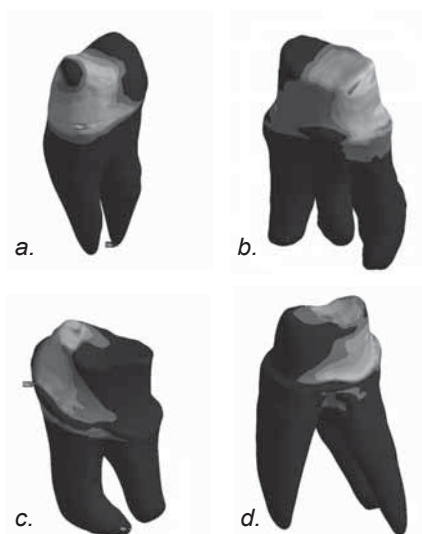


FIGURA 7. Valoarea și distribuția tensiunii echivalente la solicitarea excentrică în modelul geometric al dinților cu diferite tipuri de preparație marginală cervicală: a. preparație tangențială; b. preparație cu prag escavat; c. preparație cu prag rotunjit îngust; d. preparație cu prag rotunjit lat

Am constatat că la aceeași intensitate a solicitării, valoarea tensiunii echivalente este mai mare în cazul solicitării cu forță concentrată pe unul din cuspidi (solicitare excentrică) comparativ cu solicitarea cu forță distribuită pe toată suprafața (solicitare centrică) indiferent de forma geometrică a limitei marginale cervicale (tabelul 2), ceea ce confirmă și susține importanța adaptării ocluzale a restaurărilor protetice conform principiilor ocluziei funcționale. În condiții identice de solicitare, valoarea tensiunilor cea mai favorabilă a fost în cazul preparației cu prag rotunjit lat și același lucru se deduce și din variația factorului de siguranță cu valoarea cea mai mare la același tip de preparație a limitei marginale cervicale, ceea ce se explică prin raza de racordare care elimină concentratorii de tensiune (tabelul 2).

Deoarece acest studiu a fost efectuat pe modelul geometric al unor dinți umani preparați cu diferite forme geometrice ale limitei marginale cervicale și apoi scanați, fără posibilitatea aplicării solicitării pe același dinte și din cauza scanării, unde se pierd detalii mai ales la nivelul razelor mici și țesăturilor (prag escavat), există posibilitatea introducerii unor mici erori.

Ca direcție viitoare de cercetare, ne propunem să înlăturăm acest neajuns prin scanarea unui model și realizarea frezărilor cu ajutorul unui soft specializat, astfel încât să putem face o comparație între starea de tensiune și deformație prezentă la același dinte cu diferite forme geometrice a limitei marginale cervicale.

TABELUL 2. Valoarea factorului de siguranță și a tensiunii echivalente în modelul geometric al dinților cu geometrii diferite ale preparației limitei marginale cervicale

Tipul de Preparație	Tensiune pe toată suprafața		Tensiune pe cuspizi	
	Factor siguranță (Safety factor)	Tensiune echivalentă (Equivalent Stress)	Factor siguranță (Safety factor)	Tensiune echivalentă (Equivalent Stress)
Tangențial	5,24	76,34	2,84	140,6
Prag escavat (rotunjit f. îngust)	3,23	123,84	2,42	165,21
Prag rotunjit îngust	4,25	94,02	3	132,94
Prag rotunjit lat	6,20	64,47	6,07	65,85

CONCLUZII

- Analiza cantitativă și calitativă, prin metoda elementului finit, a tensiunilor care iau naștere în modelul geometric al dinților cu diferite forme de preparație a limitei marginale cervicale, confirmă importanța geometriei preparației cervicale.
- Analiza prin metoda elementului finit permite vizualizarea zonelor în care apar principalele tensiuni care iau naștere în structurile dentare, sub influența unor solicitări cunoscute, exercitate asupra modelelor geometrice realizate în acest scop.
- Datele analizei calitative și cantitative a tensiunii principale și echivalente, deformației și a factorului de siguranță au arătat că

limitele marginale cu prag rotunjit sunt cele mai favorabile, fapt explicat prin raza de racordare care elimină concentratorii de tensiune.

- Analiza prin metoda elementului finit permite obținerea unor date necesare în determinarea formei optime a preparațiilor dentare prin cunoașterea corelației formă-solicitare.
- Analiza solicitării prin metoda elementului finit furnizează informații necesare asigurării și menținerii succesului terapeutic în restaurarea protetică fixă.
- Interferarea activităților de cercetare din diferite domenii ca ingineria mecanică cu medicina dentară constituie un impuls pentru dezvoltarea și evoluția tehnicilor clinice și de laborator din medicina dentară modernă.

BIBLIOGRAFIA

1. Robert G Craig – Materiale dentare restaurative: Ed. All Educational București, 2001, 74:134.
2. V Sebesan, A Frățilă, S Silivășean – Studii experimentale de fotoelasticitate asupra tensiunilor mecanice ce apar în punțile din zonele laterale mandibulare și în suportul lor dento-parodontal, *Rev. Acta Medica Transilvanica*, Sibiu, 2003, nr.2., pag. 48-53.
3. Futoshi Komine, Takayuki Iwai, Kazuhisa Kobayashi, Hideo Matsumura – Marginal and Internal Adaptation of Zirconium Dioxide Ceramic Copings and Crowns with Different Finish Line Designs, *Dental Material Journal*, 26(5):659:664, 2007.
4. Pera P, Gilodi S, Bassi F, Carossa S – In vitro marginal adaptation of alumina porcelain ceramic crowns, *J Prosthet Dent*, 1994, 72:585:590.
5. Lin MT, Sy-Munoz CA, Goodacre CJ, Naylor WP – The effect of tooth preparation form on the fit of Procera copings, *Int J Prosthodont* 1998, 11:580:590.
6. Quintas AF, Oliveira F, Bottino MA – Vertical marginal discrepancy of ceramic copings with different ceramic materials, finish lines, and luting agents: an in vitro evaluation. *J Prosthet Dent*, 2004, 92:250:257.
7. Li Shi, Alex SL Fok, Alison Qualtrough – A two-stage shape optimization process for cavity preparation, *Dental Materials*, 2008, 24:1444:1453.
8. Pascal Magne – Efficient 3D finite element analysis of dental restorative procedures using micro-CT data, *Dental Materials*, 2007, 23:539:548.