

# Experimental study on the behavior at mechanical stresses of a prosthetic restoration made by full ceramics

Studiu experimental privind comportamentul la solicitări mecanice a unei restaurări protetice din ceramică integrală

Mirel Stoian, Doina Lucia Ghergic, Alberta Simona Tinu, Adi Lorean,  
Raluca-Monica Comăneanu, Dan Nicolae Pătroi

Facultatea de Medicină Dentară, Universitatea „Titu Maiorescu”, București, România

## REZUMAT

**Obiective.** Am analizat prin metoda elementelor finite comportamentul biomecanic al unei restaurări din ceramică integrală pentru a descoperi zonele cu risc de fractură.

**Material și metodă.** Studiul a fost realizat cu soft-ul ANSYS® pe o restaurare de 3 elemente, asupra cărora s-au exercitat forțe experimentale de valori diferite pe cele 3 axe.

**Rezultate.** Valorile deformației totale, a deformației absolute pe cele 3 direcții și a deformației relative echivalente au avut variații reduse. Deformațiile elastice normale relative pe direcțiile X, Y și Z au fost mici, în cea mai mare parte de alungire. Apar și unele comprimări mai ales în zonele de aplicare a forțelor experimentale. Întreaga structură este supusă unor tensiuni echivalente von Mises de tracțiune, cu excepția zonei de contact dintre corpul de punte și stâlpul distal, unde apare compresie. Valorile cele mai ridicate ale tensiunilor de tracțiune pe direcția X se regăsesc pe zona activă în masticaj. În masa coroanei apar tensiuni negative de forfecare în planul XY; pe suprafața activă în masticaj tensiunile de forfecare devin pozitive, cu maxime locale pe premolarul 1.

**Discuții.** Restaurările integral ceramice sunt folosite în prezent din ce în ce mai mult datorită calităților deosebite, toleranței gingivale și esteticii. Testarea experimentală efectuată anterior utilizării clinice este deosebit de importantă în estimarea succesului restaurării pe termen lung.

**Concluzii.** Restaurarea protetică studiată prezintă rezistență la forțele experimentale aplicate. Zonele mai sensibile, ce sunt susceptibile la apariția fisurilor în masa ceramică în cazul suprasolicitărilor ocluzale, sunt fosea distală a premolarului doi, regiunea de colet a premolarului doi și zona de contact dintre premolarul doi și molarul 1.

**Cuvinte cheie:** metoda elementelor finite, ceramică integrală, restaurare protetică fixă, forțe masticatorii

## ABSTRACT

**Objectives.** We have analyzed by finite element method the biomechanical behavior of an integral ceramic restoration to discover areas at risk of fracture.

**Material and method.** The study was conducted with the ANSYS® software on a three-elements restoration, on which were applied experimental forces with different values on the 3 axes.

**Results.** The values of total deformation, absolute deformation in the three directions and the relative deformation had low variations. The normal elastic strain to the X, Y and Z directions were small, mostly elongation. Some compressions also occur in the areas of application of the experimental forces. The entire structure is subjected to tensile stresses of the von Mises traction, except for the contact area between the central element and the distal post, where compression occurs. The highest values of shear stresses in the X direction are found on the active area in the mastication. In the mass of the crown there are negative shear stresses in the XY plane; on the active mastication surface the shear stresses become positive, with local maxima on the premolar 1.

**Discussions.** All-ceramic restorations are currently being used more and more due to their special qualities, such as gingival tolerance and aesthetics. Experimental testing prior to clinical use is particularly important in estimating the long-term success of restoration.

Corresponding author:

Conf. Dr. Raluca-Monica Comăneanu  
E-mail: monica\_tarcolea@yahoo.co.uk

Article History:

Received: 10 February 2018  
Accepted: 1 March 2018

**Conclusions.** The prosthetic restoration studied has resistance to the applied experimental forces. More sensitive areas, which are susceptible to cracks in the ceramic mass in the case of occlusal overloads, are the distal fossa of the second premolar, the neck region of the second premolar and the contact area between the second premolar and the molar 1.

**Keywords:** finite element method, all-ceramic, fixed prosthetic restoration, masticatory forces

## INTRODUCERE

În medicina dentară, ceramica reprezintă, alături de metale, polimeri și compozite, una dintre cele 4 clase majore de materiale folosite pentru reconstrucția dinților (1) absenți sau afectați din punct de vedere al integrității morfologice.

În general, ceramica este folosită pentru confecționarea obiectelor de uz gospodăresc, intră în componența materialelor refractare, a materialelor abrazive, a capetelor sferice ale articulațiilor artificiale de șold (2,3) etc. În stomatologie, ceramica este folosită pe scară largă pentru a confecționa dinți artificiali, coroane dentare, punți dentare, implanturi și bonturi ale acestora, fațete (2,4).

Ceramica este caracterizată prin natura sa refractară, inerție chimică, biocompatibilitate (5-7), duritate și greutate mai mare decât cea a dinților naturali (8,9), stabilitatea culorii și susceptibilitate la fractură (10-13).

Prima coroană dentară confecționată exclusiv din ceramică a fost introdusă de Land în 1903, dar ceramica utilizată atunci era fragilă și se putea fractura cu ușurință atunci când era supusă la forțe masticatorii cu valori crescute (1).

Ca urmare a cercetărilor efectuate în vederea îmbunătățirii semnificative a proprietăților mecanice, în ultimii ani, a apărut pe piață o mare varietate de ceramică dentară (14).

Termenul de „ceramică integrală“ se referă la orice material de restaurare compus exclusiv din ceramică, precum porțelanul feldspatic, sticla ceramică, sistemele pe bază de alumina și orice combinație a acestor materiale (15).

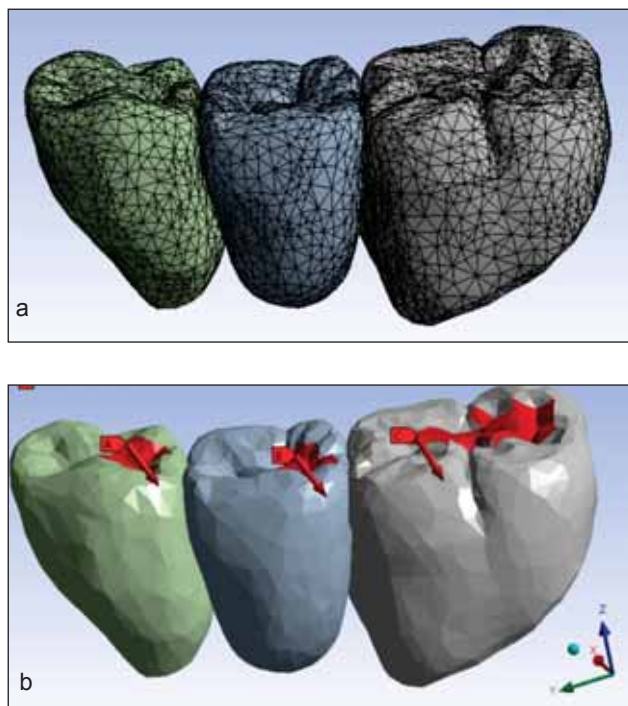
## MATERIAL ȘI METODĂ

Am luat în studiu prin metoda elementelor finite cu ajutorul softului ANSYS® o restaurare integral ceramică de 3 elemente, pe care am supus-o experimental unor forțe asemănătoare forțelor masticatorii, în scopul stabilirii comportamentului său biomecanic și pentru a decela zonele susceptibile la fractură.

Caracteristicile ceramicii dentare, precum modulul Young cu valoarea 1550 MPa și coeficientul Poisson cu valoarea 0,22, au fost preluate din literatura de specialitate (16) pentru a fi introduse în calcul.

Asupra premolarilor s-au exercitat forțe experimentale pe 3 direcții: pe axa OX în valoare de 100 N, pe axa OY în valoare de 100 N și pe axa OZ în valoare de 250N. Asupra molarului 1 s-au exercitat 350 N pe axa OZ și câte 100 N pe axele OX și OY.

După selectarea geometriei și modulului structural static ce au reprezentat schema de lucru în ANSYS, fișierul STL al punții dentare a fost împărțit în elemente finite în cadrul softului și s-au aplicat forțele experimentale A, B și C asupra celor 3 elemente ale punții (Fig. 1).



**FIGURA 1.** (a) rețeaua de elemente finite; (b) forțele aplicate pe elementele coroanei

## REZULTATE ȘI DISCUȚII

Deformația totală a punții la aplicarea forțelor experimentale a variat între un minim de 0 mm și un maxim de +0,1 mm. Valorile deformației totale au fost în general de valoare redusă, cele mai mari deformații apărând pe premolarul 2 în foseta distală, determinată și de încovoierea punții între cei doi stâlpi protetici.

Valorile deformației absolute în direcția X sunt de asemenea foarte mici ( $\approx 10^{-8}$  mm), dar de semne contrare: vestibular și către colet se produce alungire, valorile maxime de la acest nivel fiind pozitive, iar spre ocluzal se produce contracție, apărând valori negative, cu minimul tot în foseta distală a premolarului 2.

În ceea ce privește deformația absolută în direcția Y, apare o tendință de alungire la coletul premolarului 2 și o contracție în porțiunea ocluzală a aceleiași coroane protetice.

Deformația absolută în direcția Z este mai accentuată decât în cazurile anterioare. Apare alungi-

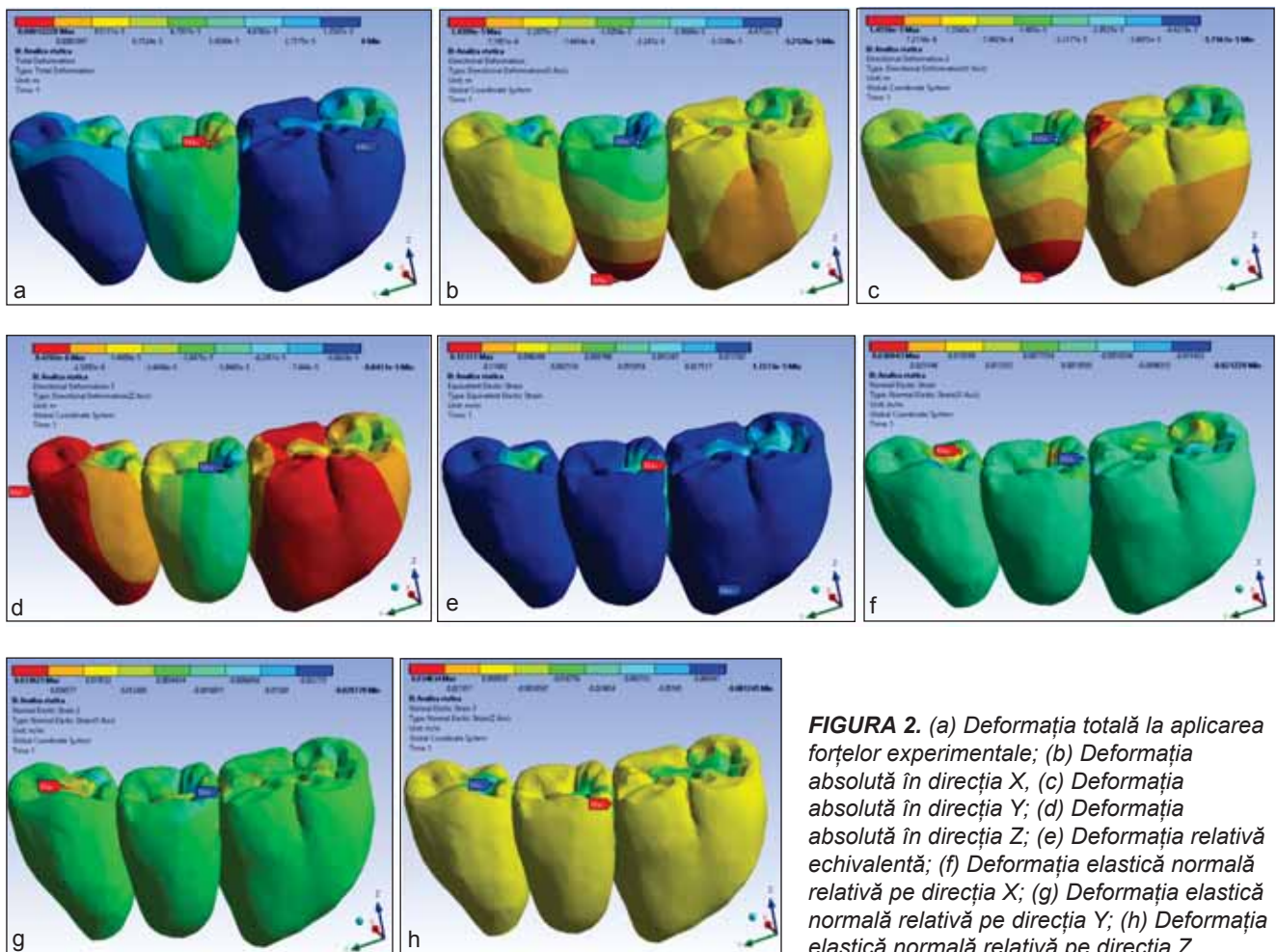
re de valoare redusă pe elementele de agregare, iar pe corpul de punte în ansamblu apare comprimare, valorile la acest nivel fiind negative.

Valorile maxime ale deformației relative echivalente apar în zonele de aplicare a forțelor experimentale și între corpul de punte și elemental de agregare distal. În restul restaurării se înregistrează o valoare minimă, uniformă, a deformației relative echivalente.

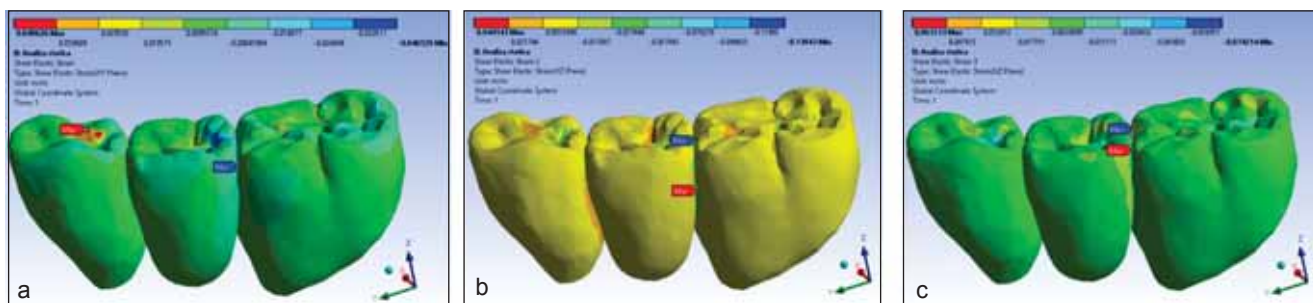
Deformațiile elastice normale relative pe direcțiile X, Y și Z au fost mici, în cea mai mare parte de alungire. Apar și unele comprimări mai ales în zonele de aplicare a forțelor experimentale.

Deformațiile elastice relative tangențiale în planul XY au preponderent valori pozitive, cu maxime pe suprafețele ocluzale, mai ales pe premolarul 1. Există și zone cu valori negative la contactul dintre corpul de punte și stâlpul distal al punții.

Deformațiile elastice relative tangențiale în planul YZ au de asemenea în general valori pozitive, dar apar și zone cu valori negative deasupra punctului de contact distal al lui 35.



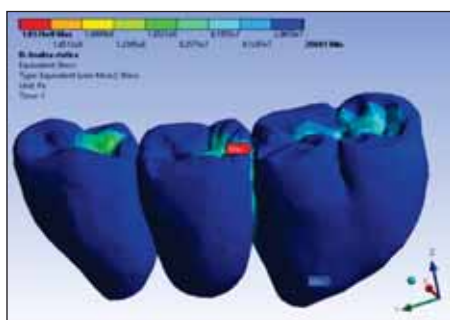
**FIGURA 2.** (a) Deformația totală la aplicarea forțelor experimentale; (b) Deformația absolută în direcția X; (c) Deformația absolută în direcția Y; (d) Deformația absolută în direcția Z; (e) Deformația relativă echivalentă; (f) Deformația elastică normală relativă pe direcția X; (g) Deformația elastică normală relativă pe direcția Y; (h) Deformația elastică normală relativă pe direcția Z



**FIGURA 3.** (a) Deformații elastice relative tangențiale în planul XY; (b) Deformații elastice relative tangențiale în planul YZ; (c) Deformații elastice relative tangențiale în planul XZ

În ceea ce privește deformațiile elastice relative tangențiale în planul XZ, acestea au predominant valori pozitive, uniforme, dar există și zone cu valori negative în zonele de aplicare a forțelor experimentale, mai ales pe creasta marginală distală de smalț a premolarului doi.

Întreaga structură este supusă unor tensiuni echivalente von Mises de tracțiune, cu excepția zonei de contact dintre corpul de punte și stâlpul distal, unde apare compresie.



**FIGURA 4.** Tensiunile echivalente (von Mises)

Valorile cele mai ridicate ale tensiunilor de tracțiune pe direcția X se regăsesc pe zona activă în masticăție. Tensiunile normale (perpendiculare) pe direcția Y sunt în cea mai mare parte a coroanei tensiuni pozitive (de tracțiune).

Tensiunile normale (perpendiculare) pe direcția Z sunt tensiuni preponderent de comprimare (negative), cu o tendință de solicitare la tracțiune la nivelul punctului de contact dintre corpul de punte și stâlpul de punte distal.

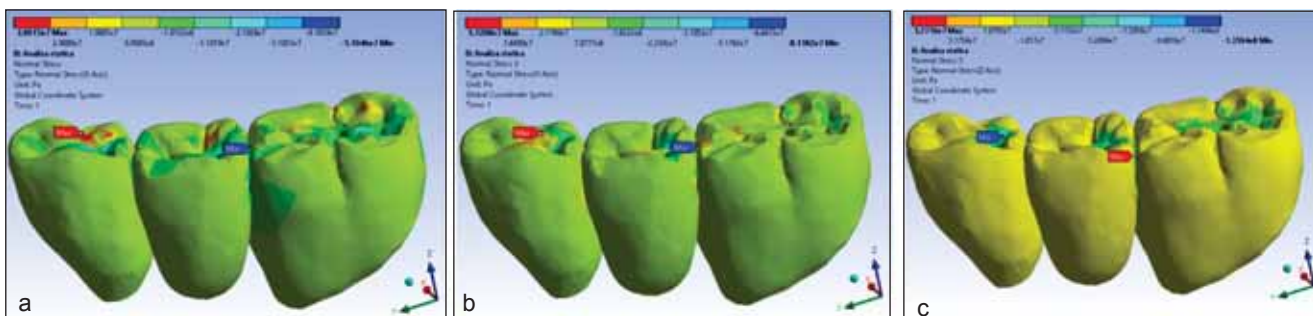
În masa coroanei apar tensiuni negative de forfecare în planul XY; pe suprafața activă în masticăție tensiunile de forfecare devin pozitive, cu maxime locale pe premolarul 1.

Valorile tensiunilor de forfecare în planul YZ sunt preponderent pozitive, cu excepția suprafețelor ocluzale unde apar tensiuni negative reduse valoric.

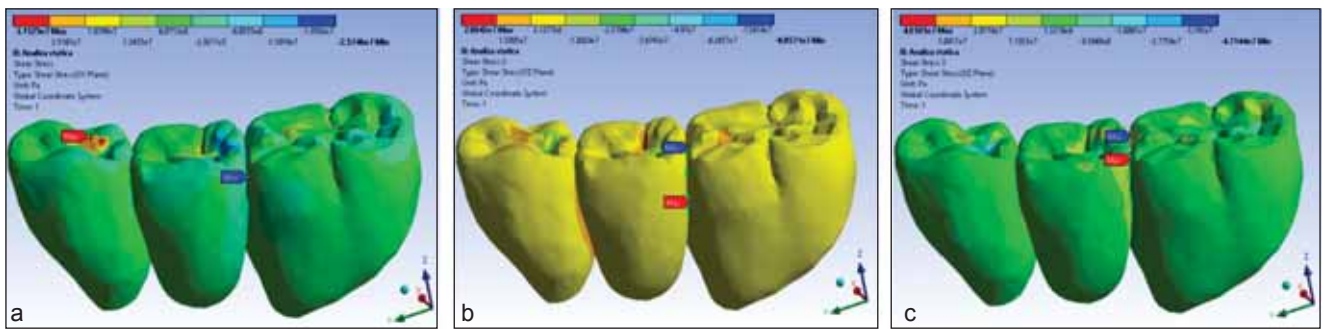
Tensiunile de forfecare în planul XZ au valori preponderent pozitive, cu excepția suprafețelor active în masticăție unde apar tensiuni negative mici.

Restaurările integral ceramice sunt din ce în ce mai des folosite în ultimii ani datorită toleranței gingivale deosebite și esteticii oferite, comparativ cu restaurările tradiționale metalo-ceramice (17, 18).

Anterior utilizării clinice este recomandabilă testarea experimentală (19) a dispozitivelor medicale. Cel mai frecvent raportate complicații ale restaurărilor integral ceramice sunt fractura porțelanului, decimentarea și complicațiile endodontice (20).



**FIGURA 5.** (a) Tensiunile normale (perpendiculare) pe direcția X; (b) Tensiunile normale (perpendiculare) pe direcția Y; (c) Tensiunile normale (perpendiculare) pe direcția Z



**FIGURA 6.** (a) Tensiunile de forfecare (tangențiale) în planul XY; (b) Tensiunile de forfecare (tangențiale) în planul YZ; (c) Tensiunile de forfecare (tangențiale) în planul XZ

Comportamentul la fractură al restaurărilor ceramice trebuie evaluat pentru a le estima longevitatea și riscul de eșec (21-24).

Studiile efectuate prin metoda elementelor finite permit selectarea unei restaurări optime din punct de vedere biomecanic, în funcțiile de particularitățile cazului clinic (25).

## CONCLUZII

Restaurarea protetică din ceramică integrală supusă analizei prin metoda elementelor finite prezin-

tă rezistență în ansamblu la forțele experimentale aplicate. Totuși, foseta distală a premolarului doi, regiunea de colet a premolarului doi și zona de contact dintre premolarul doi și molarul 1 sunt zonele cele mai vulnerabile, unde este posibilă apariția fisurilor în masa ceramică în cazul suprasolicitărilor ocluzale.

## Acknowledgements

Autorii nu au declarat niciun conflict de interese privind acest studiu. Toți autori au citit, au aprobat și au avut o contribuție egală la publicarea acestui material.

*Financial support:* none declared

## BIBLIOGRAFIE

1. Srinivasa Raju D., Rama Krishna A., Venkata Ramaraju A. et al. Dental Ceramics: Part II – Recent Advances in Dental Ceramics. *American Journal of Materials Engineering and Technology*, vol. 3, no. 2 (2015): 19-26. doi: 10.12691/materials-3-2-1.
2. Rama Krishna A. *Dental Materials Science*. Jaypee Brothers Medical Publishers Pvt Limited, New Delhi, India, 2013, 1st Edition, 333-354.
3. Badami V., Ahuja B. Biosmart materials: Breaking new ground in dentistry. *The Scientific World J*, Article ID 986912, 7 pages, Volume Feb 2014.
4. Denry I., Holloway J.A. Ceramics for dental applications: A Review. *Materials*, 3, 351-368, Jan 2010.
5. Hämmerle C., Sailer I., Thoma A. et al. Dental Ceramics: Essential Aspects for Clinical Practice. *Quintessence*, Surrey, 2008.
6. Ho G.W., Matinlinna J.P. Insights on porcelain as a dental material. Part I: ceramic material types in dentistry. *Silicon*, 3(3), 109-115, July 2011.
7. Lung C.Y.K., Matinlinna J.P. Aspects of silane coupling agents and surface conditioning in dentistry: An overview. *Dent Mater*, 28(5), 467-77, May 2012.
8. Ruse N.D., Sadoun M.J. *Journal of Dental Research*, 2014, 93, 1232.
9. Della Bona A., Corazza P., Zhang Yu. *Dental Materials*, 2014, 30, 564.
10. Garber D.A., Goldstein R.E. Porcelain and Composite Inlays and Onlays: Esthetic Posterior Restorations. *Quintessence*, Chicago, 1994.
11. Touati B., Miara P., Nathanson D. *Esthetic Dentistry and Ceramic Restorations*. Martin Dunitz, London, 1999.
12. Coldea A., Swain M.V., Thiel N. *Dental Materials*, 2013, 29, 419.
13. Awada A., Nathanson D. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 2015, 144, 587.
14. Culic B., Gasparik C., Varvara M. et al. Evaluation of bleaching on A CAD/CAM hybrid ceramic material. *Studia UBB Chemia*, LXII, 1, 2017 (p. 61-71), DOI:10.24193/subbchem.2017.1.05
15. Frazier K.B., Mjor I.A. The teaching of all ceramic restorations in North American dental schools: materials and techniques employed. *J Esthet Dent*. 9(2):86-93, 1997.
16. Chun K.J., Lee J.Y. Comparative study of mechanical properties of dental restorative materials and hard tissues in compressive loads. *Journal of Dental Biomechanics*, vol 5: 1-6, 2014.
17. Oden A., Andersson M., Krystek-Ondracek I. et al. Five-year clinical evaluation of Procera AllCeram crowns. *J Prosthet Dent* 1998; 80(4): 450-456.
18. Sulaiman F., Chai J., Jameson L.M. et al. A comparison of the marginal fit of In-Ceram, IPS Empress and Procera crowns. *Int J Prosthodont*, 1997; 10 (5): 478-484.
19. Porojan L., Porojan S., Cernescu A. et al. Fracture behaviour of hot-pressed glass ceramic dental crowns. *International Journal of Systems Applications, Engineering & Development*, vol 10, 2016, 266-269.
20. Vijan K.V. An overview of the current survival status and clinical recommendation for porcelain fused to metal vs

- all-ceramic zirconia posterior fixed partial dentures. *World Journal of Dentistry*, March-April 2017; 8(2): 145-150.
21. **Nawafleh N., Hatamleh M., Elshiyab S. et al.** *J. Prosthodontics*, 2016, 25, 116-126.
22. **Kelly J.R.** *J. Prosthet. Dent.*, 1999, 81, 652-661.
23. **Zhang Y., Kim J.W., Bhowmick S. et al.** *J. Biomed. Mater. Res., Part B*, 2009, 88, 402-411.
24. **Guess P.C., Schultheis S., Bonfante E.A. et al.** *Dent. Clin. North Am.*, 2011, 55, 333-352.
25. **Coman C., Ghergic D.L., Pătroi D.N. et al.**, Comparative assessment of resistance against experimental forces of mixed prosthetic restorations. *Materiale plastice*, 53(1), 2016, 91-94.