

**UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE  
VICTOR BABEȘ TIMIȘOARA  
FACULTATEA DE MEDICINĂ DENTARĂ  
DEPARTMENTUL 1 MD**

**SAVCU CRISTINA ELENA**



# **Rezumat**

**CONSIDERAȚII PERSONALE PRIVIND  
EVALUAREA RESTAURĂRILOR PROTETICE  
REALIZATE PRIN TEHNOLOGII CAD/CAM ADITIVE**

Conducător Științific  
**PROF. UNIV. DR. POROJAN LILIANA**

**Timișoara  
2019**

## Cuprins

INTRODUCERE .....	3
PARTEA GENERALĂ.....	4
1. TEHNOLOGIILE CONVENȚIONALE .....	4
2. TEHNOLOGIILE CAD/CAM ÎN STOMATOLOGIE .....	4
2.1. ISTORIA TEHNOLOGIEI CAD/CAM .....	4
2.2. TEHNOLOGII SUBSTRUCTIVE .....	4
2.3. TEHNOLOGII ADDITIVE .....	5
2.4. MATERIALE UTILIZATE DE TEHNOLOGIILE ALTERNATIVE .....	5
2.5. EVALUAREA RESTAURĂRILOR DENTARE .....	5
PARTEA EXPERIMENTALĂ.....	7
3. Evaluarea adaptabilității coroanelor metalo-ceramice .....	7
Scopul studiului.....	7
Material și metodă.....	7
Rezultate și discuții .....	7
4. Evaluarea rezistenței la fractură a coroanelor metalo-ceramice cu schelete obținute prin diferite tehnologii, caracteristici de microstructură și microduritate .....	8
Scopul studiului.....	8
Material și metodă.....	8
Rezultate și discuții .....	8
5. Biocompatibilitatea aliajelor de cobalt-crom procesate prin tehnologii computerizare și rezistența acestora la coroziune .....	9
Scopul studiului.....	9
Material și metodă.....	9
Rezultate și discuții .....	9
CONCLUZII .....	10
BIBLIOGRAFIE.....	11

# INTRODUCERE

Alegerea acestei teme a fost motivată de evoluția extrem de dinamică a tehnologiilor aditive ca și a materialelor ce pot fi procesate cu ajutorul acestor tehnologii, comparativ cu cele substructive. Această dezvoltare a tehnologiilor de prototipare rapidă, precum și pătrunderea acestor noi tehnologii în domeniul stomatologiei a condus la necesitatea unor noi studii care să investigheze comportamentul acestora, să stabilească indicațiile precise precum și îmbunătățirile ce sunt necesare.

Tehnologiile digitale reprezintă o temă centrală de cercetare în cadrul disciplinei de Tehnologie a Protezelor Dentare, cu numeroase proiecte de cercetare derulate, axate pe tehnologiile substructive. Dezvoltarea rapidă a tehnologiilor aditive a surescitat interesul echipei, conducând la prezenta temă de cercetare.

Restaurările metalo-ceramice au reprezentat standardul de aur pentru restaurările dentare reprezentând încă standardul de evaluare pentru restaurările integral ceramice și fiind încă preferate în zona laterală(1,2). Tehnologiile clasice sunt în continuare larg răspândite dar sunt consumatoare de timp și necesită multe etape intermediare care pot genera erori(3,4).

Tehnologiile digitale substructive reprezintă o alternativă la tehnologiile clasice dar prelucrarea substructivă a aliajelor prezintă de asemenea dezavantaje: uzura frezelor, pierderile mari de material.

Tehnologiile aditive reprezintă alternativa modernă de realizare strat cu strat a restaurărilor dentare, prin dezvoltarea diferitelor tehnologii de prototipare rapidă introduse în stomatologie: stereolitografia (SLA), modelarea prin extrudare plastică (fused deposition modeling FDM), topirea selectivă cu fascicul de electroni (SEBM), sinterizarea selectivă cu laser (SLS). Printre cele mai folosite tehnologii se numără sinterizarea și topirea selectivă cu laser (SLS și SLM), care par ideale pentru realizarea restaurărilor dentare, reprezentând o alternativă rapidă, precisă și eficientă financiar comparativ cu tehnologiile clasice sau substructive(5).

Noutatea acestor tehnologii fac necesară studierea preliminară a acestora prin studii in vitro pentru a le determina proprietățile, comportamentul, pentru a găsi metode de îmbunătățire și a dezvolta noi materiale și nu în ultimul rând de a le găsi indicațiile, design-ul și preparațiile cele mai potrivite.

Obiectivele științifice ale acestei cercetări sunt:

1. Evaluarea comparativă a proprietăților mecanice ale coroanelor metalo-ceramice obținute cu ajutorul tehnologiilor tradiționale și a celor moderne (topire-turnare și tehnologii digitale- frezare, SLS și SLM).

2. Evaluarea rezistenței la fractură a coroanelor metalo-ceramice cu schelet din crom-cobalt obținute prin turnare convențională, SLS, SLM și frezare computerizată.
3. Evaluarea comportamentului la coroziune și a biocompatibilității scheletelor metalice obținute prin turnare și tehnologii digitale.

Această cercetare prezintă o abordare interdisciplinară, aducând laolaltă perspective din domenii științifice variate, cum sunt tehnologiile digitale, mecanică, biomecanică, electro-chimie și biochimie și biologie celulară.

## **PARTEA GENERALĂ**

### **TEHNOLOGIILE CONVENȚIONALE**

Tehnologia convențională de topire-turnare a aliajelor dentare pentru realizarea scheletelor metalice ale restaurărilor metalo-ceramice are o vechime de peste 100 de ani(6). Cu toate acestea, este încă utilizată pe scară largă reprezentând standardul în funcție de care sunt evaluate restaurările integral ceramice și de asemenea, noile tehnologii.

Datorită limitărilor tehnologiei clasice (presupune etape succesive laborioase și consumatoare de timp, erorile apărute în etapele anterioare se propagă în procesul de fabricație, machetele din ceară sunt fragile și predispuse la deformări) s-au dezvoltat noi tehnologii care să depășească aceste neajunsuri(3,4).

### **TEHNOLOGIILE CAD/CAM ÎN STOMATOLOGIE**

#### **2.1. ISTORIA TEHNOLOGIEI CAD/CAM**

Primele încercări de introducere a tehnologiei digitale în stomatologie datează de la sfârșitul anilor '70 și începuturile anilor '80 prin realizarea primei coroane dentare prin frezare în urma unei amprente optice de către Dr. Duret în 1985(7,8). Ulterior tehnologiile substructive au cunoscut o dezvoltare continuă prin îmbunătățirea tehnologiilor dar și a materialelor utilizate(9–13,13). Datorită limitărilor legate de complexitatea structurilor ce pot fi frezate, risipa de material și uzura frezelor tehnologiile aditive au trezit interesul specialiștilor(14–17).

#### **2.2. TEHNOLOGII SUBSTRUCTIVE**

Tehnologiile substructive au devenit tehnologia digital "tradițională". Preparația dentară este digitalizată fie prin scanare direct intra-orală fie prin scanarea modelului obținut după o amprentă clasică. Pe modelul virtual astfel creat se realizează machete virtuală. Programul care realizează macheta

dictează și strategia de frezare a mașinii cu ajutorul căreia se realizează restaurarea(18–21).

### **2.3. TEHNOLOGII ADITIVE**

Tehnologiile aditive sunt tehnologii generative. Modelul tridimensional obținut ca și în cazul tehnologiilor substructive este “feliat” și restaurarea este reconstruită stră cu strat(7,22,23). Din multitudinea de procedee de prototipare rapidă dezvoltate, cele mai utilizate sunt:

Stereolitografia și tehnologiile derivate din aceasta (Digital Light Processing, Masked Stereolithography și Micro-Stereolithography) utilizează polimeri foto-sensibili pentru a confecționa strat cu strat pe o platformă restaurării provizorii, gutiere, modele, ghiduri chirurgicale, etc.(24–26).

Alte tehnologii aditive ce pot fi folosite în tehnica dentară sunt sinterizarea selectivă și topirea selectivă cu laser ce presupun solidificarea strat cu strat a unei pulberi sub acțiunea unui fascicul laser care scanează suprafața de secțiune(27–29).

Majoritatea tehnologiilor aditive necesită etape suplimentare de post-procesare care, împreună cu parametrii de producție influențează proprietățile viitoarei restaurări(30–33).

### **2.4. MATERIALE UTILIZATE DE TEHNOLOGIILE ALTERNATIVE**

Materialele procesate cu ajutorul tehnologiilor CAD/CAM sunt în rapidă și continuă dezvoltare, atât pentru tehnologiile substructive, cât și pentru cele aditive(34).

Metalele folosite sunt aliajele de cobalt-crom, titanul și aliajele de titan ce pot fi prelucrate dintr-un bloc prin frezare computerizată sau sub formă de pulberi prin topire sau sinterizare selectivă cu laser(34,35).

Pe lângă acestea, o gamă largă de mase ceramice, cum sunt ceramicile sticloase, ceramicile sticloase infiltrate sau armate pot fi prelucrate prin tehnologii digitale. De asemenea rășinile și materialele hibride(36–38).

### **2.5. EVALUAREA RESTAURĂRILOR DENTARE**

#### **2.5.1. EVALUAREA STRUCTURII**

Evaluarea structurilor metalice obținute prin diferite procedee poate fi făcută cu ajutorul diferitelor metode. Unele dintre acestea presupun tehnici optice, după imersarea probelor lustruite în soluții acide, altele presupun tehnici de contact(39). Proprietățile mecanice și caracteristicile de suprafață variază nu doar în funcție de material dar și în funcție de tehnologia de obținere, procesarea suprafețelor, tratamentele termice de post-procesare. Anumite metode de evaluare precum Microscopia de forță atomică (AFM) cât și Microscopia electronică de baleiaj (SEM) prezintă dificultăți în examinarea pieselor produse prin tehnologii aditive datorită structurii heterogene, suprafețelor rugoase și a porilor prezenți atât la nivelul suprafețelor, cât și a structurii interne(38). Alte

metode non-destructive de investigație sunt reprezentate de Tomografia Computerizată și investigațiile ultrasonice.

#### **2.5.2. EVALUAREA REZISTENȚEI LA COROZIUNE ȘI A BIOCOMPATIBILITĂȚII**

Deoarece saliva este un mediu coroziv comportamentul electro-chimic al noilor aliaje sau a celor procesate prin tehnologii noi trebuie investigat. Procesele de coroziune pot fi evaluate prin metode directe (cântărire, măsurarea gazelor rezultate, consumarea agentului coroziv) sau indirecte (măsurători electro-chimice, electrice, optice, acustice). Metodele electro-chimice includ Cronopotențiometria, Metoda polarizării liniare, Spectroscopia de impedanță electrochimică, Voltametria ciclică(40).

Biocompatibilitatea este cel mai frecvent analizată utilizând culturi celulare expuse direct sau indirect la materialul al cărui comportament este studiat(41–44).

#### **2.5.3. EVALUAREA MECANICĂ**

Evaluarea mecanică a restaurărilor dentare prezintă particularități datorate morfologiei, stratificării diferitelor materiale, caracteristicilor diferite de material, grosimilor variabile cât și a dificultății de a simula mișcările și forțele masticatorii(45,46). Cele mai folosite metode de investigație sunt încărcarea statică și testele de oboseală. Pentru scheletele metalice mai pot fi folosite metode neinvazive de investigație, cum sunt: Microscopia electronică de baleiaj în conjuncție cu analiza EDAX (Energy Dispersive X-Ray Analysis), Microscopia de forță atomică(47).

#### **2.5.4. ADAPTABILITATEA**

Deoarece adaptarea coroanelor la nivelul preparațiilor reprezintă un factor cheie pentru longevitatea restaurărilor au fost dezvoltate numeroase metode de investigare a acesteia(1). Cea mai precisă presupune secționarea ansamblului restaurare-dinte înglobat în rășină și analiza acestuia la microscop. Această metodă distructivă nu poate fi însă utilizată în practică. O tehnică ce poate fi aplicată și în clinică este însă metoda replicii de silicon, ce substituie stratul de ciment. Acesta este înglobat în silicon și analizat ulterior la microscop(48). Alte metode presupun utilizarea camerelor digitale împreună cu un microscop, suprapunerea scanării bontului cu scanarea replicii de silicon sau scanarea micro-CT.

## PARTEA EXPERIMENTALĂ

### 3.Evaluarea adaptabilității coroanelor metalo-ceramice

#### Scopul studiului

A fost să evalueze adaptabilitatea coroanelor metalo-ceramice cu schelete fabricate prin procedee computerizate moderne, comparativ cu tehnologia clasică, înainte și după aplicare placajului ceramic.

#### Material și metodă

Pentru aceasta a fost preparat un molar prim superior, a fost amprentat și s-au realizat nouazeci și șase de bonturi împărțite în patru grupuri, pe care s-au realizat schelete metalice prin sinterizare selectivă cu laser (SLS), topire selectivă cu laser (SLM), frezare computerizată (F) și topire-turnare (T). Machetele pentru tehnologia clasică au fost obținute prin tehnologie DLP (Digital Light Processing). Pentru SLS și SLM au fost parcurși pașii de post-procesare termică. Toate capele au fost placate ceramic prin suprapresare. Înainte și după placarea ceramică s-au realizat replicile de silicon. Acestea au fost secționate și fotografiate cu o scală de o sută de microni. Spațiul dintre bont și capă/coroană a fost măsurat în nouă puncte.

#### Rezultate și discuții

Cele mai mici valori au fost înregistrate pentru grupul frezat, urmate de SLM, SLS și discrepanțe semnificativ mai mari pentru cele turnate. Toate grupurile au înregistrat diferențe între rezultatele inițiale și cele măsurate după aplicarea ceramicii.

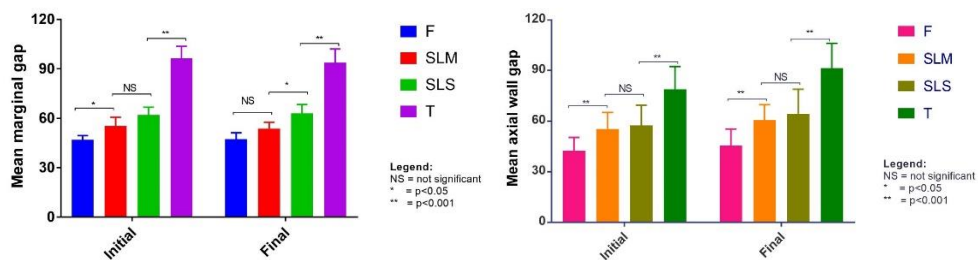


Figura 1 Rezultatele pentru măsurătorile inițiale și finale ale discrepanțelor marginale medii și axiale medii.

Prezentul studiu promovează tehnologiile aditive ca și soluție eficientă, rapidă, și cu costuri reduse ca și alternativă la tehnologia clasică. Aceste tehnologii necesită mai puține etape în care pot apărea erori și riscul de deformare este redus (33,49).

#### **4. Evaluarea rezistenței la fractură a coroanelor metalo-ceramice cu schelete obținute prin diferite tehnologii, caracteristici de microstructură și microduritate**

##### **Scopul studiului**

Este de a investiga rezistența la fractură a coroanelor metalo-ceramice cu cape obținute prin procedee tehnologice diferite: SLS, SLM, frezare (MIL) și turnare (CST). Cealaltă direcție a studiului are ca scop analiza microstructurii și microdurității capelor obținute prin procedee tehnologice diferite.

##### **Material și metodă**

Treizeci și două de coroane din studiul precedent au fost împărțite în patru grupuri în funcție de tehnologia de fabricație a capelor metalice. Acestea au fost cimentate pe bonturi din rășină. Testul de încercare statică a fost realizat cu ajutorul unei mașini universale de testare pentru fiecare probă.

Pentru analiza microdurității și a microstructurii au fost realizate probe cu ajutorul fiecărei tehnologii studiate. Probele au fost lustruite. S-au realizat măsurători ale microdurității la nivelul fetelor lustruite și sablate, teste de difracție de raze X, EDAX și AFM.

S-au realizat de asemenea probe la nivelul cărora s-au aplicat grosimi diferite de placaj ceramic și interfața ceramica/schelet a fost analizată cu ajutorul microscopiei de baleiaj.

##### **Rezultate și discuții**

Toate specișenele evaluate au suferit fracturi inițiate la locul sau în vecinătatea aplicării forței, propagate prin materialul de placare în suprafață și profunzime, la majoritatea cu afectarea stratului adeziv. Numărul fragmentelor a fost proporțional cu forța de fractură.

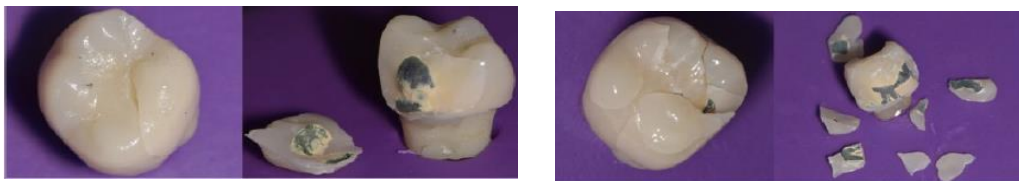


Figura 2 Fracturi adezive proba 2 frezată, proba 8 SLS

La analiza microstructurii cele mai bune rezultate în privința omogenității au fost observate pentru probele MIL și SLM, cu goluri sub 20, respectiv 25  $\mu\text{m}$ . Cele mai mari defecte structurale și incluziuni au fost observate pentru probele turnate. rezultate similare au fost constatate de asemenea la SEM și susținute de analiza AFM. Aliajul procesat prin tehnologii aditive dar fără tratament termic



prezintă cele mai accentuate iregularități, datorită procesului tehnologic ce presupune topiri superficiale și solidificări succesive, conducând la compoziții variabile între straturi și structură granulară.

Testele de microdurate au relevat valori duble pentru tehnologiile aditive comparativ cu cele clasice, ce pot fi atribuite tratamentului termic post-procesare. Aceste tratamente fac aliajul mai dur dar scad ductilitatea.

## **5. Biocompatibilitatea aliajelor de cobalt-crom procesate prin tehnologii computerizare și rezistența acestora la coroziune**

### **Scopul studiului**

A fost de a evalua cititotoxicitatea precum și comportamentul la coroziune al aliajelor de cobalt-crom procesate prin tehnologii computerizate comparativ cu tehnologia clasică.

### **Material și metodă**

Probele au fost produse prin tehnologiile investigate, au fost pregătite pentru placare și placate cu ceramică. Suprafața expusă a fost lustruită, probele au fost sterilizate și imersate în mediu de cultură pentru 7 zile. Culturi de fibroblaști umani au fost expuse indirect la aliajul dentar. După 2,4 respectiv 7 zile celulele au fost evaluate utilizând testul Muse Count & Viability Assay, Muse Annexin V & Dead Cell Assay și Muse Cell Cycle Kit.

Evaluarea proceselor de coroziune s-a realizat folosind teste electrochimice relevante precum polarizarea liniară, spectroscopia impedanței electrochimice, voltametria ciclică, cronoamperometria, cronopotențimetria, folosind saliva artificială ca și electrolit.

### **Rezultate și discuții**

După două zile în cultură celulele expuse la aliaj au arătat o rată mai mare de proliferare comparativ cu cele netratate. În mediul tratat cu aliaj MIL numărul celulelor apoptotice este mai crescut, comparativ cu lotul de control. De asemenea, după patru zile în cultură celulele din mediile tratate cu aliaj sunt mai numeroase decât în lotul de control, sugerând o tendință proliferativă. Numărul celulelor viabile este semnificativ mai mare în loturile SLM și SLS comparativ cu CAS și control. Numărul celulelor moarte a fost mai mic în lotul MIL, comparativ cu lotul de control. Numărul celulelor apoptotice din lotul CAS este mai mare decât în cazul celorlalte loturi. După șapte zile în cultură atât numărul celulelor totale cât și a celor viabile a scăzut în toate loturile, fapt datorat probabil perioadei lungi petrecute în cultură. Scăderea este mai accentuată pentru loturile CAS și SLS.

Metoda polarizării liniare arată formarea unui strat de oxizi protectiv la suprafața tuturor probelor. Cel mai puternic comportament de această natură a fost înregistrat pentru probele CAS.

Graficele Tafel arată un comportament relativ similar pentru toate aliajele.

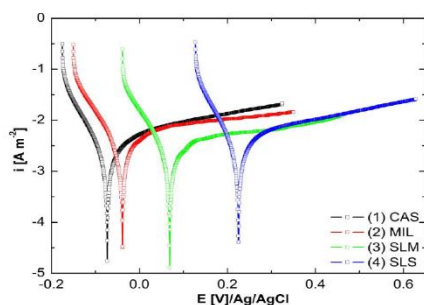


Figura 3 Diagrama Tafel pentru probele evaluate în salivă artificială la 37°C

Analiza potiodinamică a arătat comportament similar pentru CAS; MIL și SLM, în timp ce probele SLS au prezentat o stabilitate mai mare. Și în cazul polarizării liniare CAS apare a fi cea mai rezistentă la coroziune, cu rezultate similare pentru SLM și MIL.

## CONCLUZII

1. Adaptabilitatea coroanelor cu schelet metalic obținut prin tehnologii computerizate moderne este superioară celor obținute prin tehnologii clasice.  
Printarea 3D a machetelor utilizate în tehnologia clasică reprezintă o alternativă viabilă, eficientă, rapidă și necostisitoare la macheta clasică din ceară.  
Placarea ceramică nu influențează semnificativ adaptarea coroanelor, indiferent de tehnologia de obținere a scheletelor metalice ale acestora.
2. Metoda de obținere a scheletului metalic nu influențează rezistența la fractură a coroanelor metalo-ceramice, valorile maxime de fractură fiind situate pentru toate loturile între 1955,02 și 2432,92 N.  
Prin tehnologii aditive se pot produce restaurări cu structuri de bună calitate în condițiile unui control riguros al parametrilor de producție și a etapei de post-procesare.  
Profilul interfeței metal-ceramică diferă în funcție de tehnologia de fabricație și de tratamentele termice de post-procesare.
3. Tehnologiile computerizate produc schelete cu un grad înalt de biocompatibilitate sau similar tehnologiei clasice.

Evaluarea rezistenței la coroziune a condus la rezultate comparative ale restaurărilor obținute prin tehnologii computerizate cu tehnologia clasică.

Direcții de cercetare viitoare:

Întrucât designul optim al preparațiilor pentru restaurări obținute prin tehnologii aditive nu este încă stabilit sunt necesare cercetări suplimentare pentru îmbunătățirea acestuia, cu aplicabilitate clinică.

Întrucât testele in vitro reprezintă etapa preliminară în evaluarea biocompatibilității, noi teste pe țesuturi și in vivo vor fi necesare.

Noi studii sunt necesare pentru a încerca îmbunătățirea rezistenței la coroziune în condițiile varierii parametrilor de producție pentru tehnologiile aditive și a parametrilor de post-procesare.

## BIBLIOGRAFIE

1. Vojdani M, Torabi K, Farjood E, Khaledi A. Comparison the Marginal and Internal Fit of Metal Copings Cast from Wax Patterns Fabricated by CAD/CAM and Conventional Wax up Techniques. J Dent Shiraz Iran. 2013 Sep;14(3):118–29.
2. Porcelain-Fused-to-Metal Crowns versus All-ceramic Crowns: A Review of the Clinical and Cost-Effectiveness [Internet]. Ottawa (ON): Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health; 2015 [cited 2019 Apr 14]. (CADTH Rapid Response Reports). Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK304693/>
3. Farjood E, Vojdani M, Torabi K, Khaledi AAR. Marginal and internal fit of metal copings fabricated with rapid prototyping and conventional waxing. J Prosthet Dent. 2017 Jan;117(1):164–70.
4. Bhaskaran E, Azhagarasan NS, Miglani S, Ilango T, Krishna GP, Gajapathi B. Comparative Evaluation of Marginal and Internal Gap of Co–Cr Copings Fabricated from Conventional Wax Pattern, 3D Printed Resin Pattern and DMLS Tech: An In Vitro Study. J Indian Prosthodont Soc. 2013 Sep;13(3):189–95.
5. Rombouts M, Kruth J, Froyen L, Van Vaerenbergh J, Mercelis P. Binding mechanisms in selective laser sintering and selective laser melting. Rapid Prototyp J. 2005 Feb 1;11(1):26–36.
6. Thompson GA, Luo Q, Hefti A. Analysis of four dental alloys following torch/centrifugal and induction/ vacuum-pressure casting procedures. J Prosthet Dent. 2013 Dec;110(6):471–80.

7. Porojan L, Topală F, Porojan S, Savencu C. Effect of frame design and veneering material on biomechanical behavior of zirconia dental crowns veneered with overpressing ceramics. *Dent Mater J*. 2017 May 31;36(3):275–81.
8. Miyazaki T, Hotta Y. CAD/CAM systems available for the fabrication of crown and bridge restorations. *Aust Dent J*. 2011 Jun;56 Suppl 1:97–106.
9. Bhambhani R, Bhattacharya J, Sen SK. Digitization and its futuristic approach in prosthodontics. *J Indian Prosthodont Soc*. 2013 Sep;13(3):165–74.
10. Sannino G, Germano F, Arcuri L, Bigelli E, Arcuri C, Barlattani A. CEREC CAD/CAM Chairside System. *ORAL Implantol*. 2014 Sep;7(3):57–70.
11. Mörmann WH. The evolution of the CEREC system. *J Am Dent Assoc* 1939. 2006 Sep;137 Suppl:7S-13S.
12. Mengucci P, Barucca G, Gatto A, Bassoli E, Denti L, Fiori F, et al. Effects of thermal treatments on microstructure and mechanical properties of a Co-Cr-Mo-W biomedical alloy produced by laser sintering. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2016;60:106–17.
13. Kim HR, Jang S-H, Kim YK, Son JS, Min BK, Kim K-H, et al. Microstructures and Mechanical Properties of Co-Cr Dental Alloys Fabricated by Three CAD/CAM-Based Processing Techniques. *Mater Basel Switz*. 2016 Jul 20;9(7).
14. Karrer P, Corbel S, Andre JC, Loughnot DJ. Shrinkage effects in photopolymerizable resins containing filling agents: Application to stereophotolithography. *J Polym Sci Part Polym Chem*. 1992;30(13):2715–23.
15. Farias C, Lyman R, Hemingway C, Chau H, Mahacek A, Bouzos E, et al. Three-Dimensional (3D) Printed Microneedles for Microencapsulated Cell Extrusion. *Bioeng Basel Switz*. 2018 Jul 31;5(3).
16. Selective laser sintering (SLS) 3D printing of medicines - ScienceDirect [Internet]. [cited 2019 May 5]. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378517317305902>
17. Wally ZJ, Haque AM, Feteira A, Claeysens F, Goodall R, Reilly GC. Selective laser melting processed Ti6Al4V lattices with graded porosities for dental applications. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2019 Feb 1;90:20–9.
18. Sajjad A. Computer-assisted design/computer-assisted manufacturing systems: A revolution in restorative dentistry. *J Indian Prosthodont Soc*. 2016 Mar;16(1):96–9.
19. Fasbinder DJ, Dennison JB, Heys D, Neiva G. A clinical evaluation of chairside lithium disilicate CAD/CAM crowns: a two-year report. *J Am Dent Assoc* 1939. 2010 Jun;141 Suppl 2:10S-4S.

20. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J*. 2008 May 10;204(9):505–11.
21. Mangano F, Shibli JA, Fortin T. Digital Dentistry: New Materials and Techniques [Internet]. *International Journal of Dentistry*. 2016 [cited 2019 May 5]. Available from: <https://www.hindawi.com/journals/ijd/2016/5261247/>
22. Dzhendov D, Dikova T. APPLICATION OF SELECTIVE LASER MELTING IN MANUFACTURING OF FIXED DENTAL PROSTHESES. *J IMAB – Annu Proceeding Sci Pap*. 2016 Dec 29;22(4):1414–7.
23. Torabi K, Farjood E, Hamedani S. Rapid Prototyping Technologies and their Applications in Prosthodontics, a Review of Literature. *J Dent*. 2015 Mar;16(1):1–9.
24. Nayar S, Bhumathan S, Bhat WM. Rapid prototyping and stereolithography in dentistry. *J Pharm Bioallied Sci*. 2015 Apr;7(Suppl 1):S216–9.
25. Borrello J, Nasser P, Iatridis JC, Costa KD. 3D printing a mechanically-tunable acrylate resin on a commercial DLP-SLA printer. *Addit Manuf*. 2018 Oct 1;23:374–80.
26. Shamseddine L, Mortada R, Rifai K, Chidiac JJ. Fit of pressed crowns fabricated from two CAD-CAM wax pattern process plans: A comparative in vitro study. *J Prosthet Dent*. 2017 Jul;118(1):49–54.
27. Venkatesh KV, Nandini VV. Direct metal laser sintering: a digitised metal casting technology. *J Indian Prosthodont Soc*. 2013 Dec;13(4):389–92.
28. Alageel O, Abdallah M-N, Alsheghri A, Song J, Caron E, Tamimi F. Removable partial denture alloys processed by laser-sintering technique. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2018;106(3):1174–85.
29. Hitzler L, Merkel M, Hall W, Öchsner A. A Review of Metal Fabricated with Laser- and Powder-Bed Based Additive Manufacturing Techniques: Process, Nomenclature, Materials, Achievable Properties, and its Utilization in the Medical Sector. *Adv Eng Mater*. 2018;20(5):1700658.
30. Bose S, Ke D, Sahasrabudhe H, Bandyopadhyay A. Additive manufacturing of biomaterials. *Prog Mater Sci*. 2018 Apr 1;93:45–111.
31. Prabhu R, Prabhu G, Baskaran E, Arumugam EM. Clinical acceptability of metal-ceramic fixed partial dental prosthesis fabricated with direct metal laser sintering technique-5 year follow-up. *J Indian Prosthodont Soc*. 2016 Jun;16(2):193–7.
32. Mangano F, Chambrone L, van Noort R, Miller C, Hatton P, Mangano C. Direct Metal Laser Sintering Titanium Dental Implants: A Review of the Current Literature [Internet].

International Journal of Biomaterials. 2014 [cited 2019 May 6]. Available from: <https://www.hindawi.com/journals/ijbm/2014/461534/>

33. Kim M-J, Choi Y-J, Kim S-K, Heo S-J, Koak J-Y. Marginal Accuracy and Internal Fit of 3-D Printing Laser-Sintered Co-Cr Alloy Copings. *Materials* [Internet]. 2017 Jan 23 [cited 2019 May 6];10(1). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5344574/>
34. (1) Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges | Request PDF [Internet]. ResearchGate. [cited 2019 May 12]. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/323158830\\_Additive\\_manufacturing\\_3D\\_printing\\_A\\_review\\_of\\_materials\\_methods\\_applications\\_and\\_challenges](https://www.researchgate.net/publication/323158830_Additive_manufacturing_3D_printing_A_review_of_materials_methods_applications_and_challenges)
35. Das S, Bourell DL, Babu SS. Metallic materials for 3D printing. *MRS Bull.* 2016 Oct;41(10):729–41.
36. Additive manufacturing of biomaterials - ScienceDirect [Internet]. [cited 2019 May 12]. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079642517301020>
37. Silva NRFA, Witek L, Coelho PG, Thompson VP, Rekow ED, Smay J. Additive CAD/CAM process for dental prostheses. *J Prosthodont Off J Am Coll Prosthodont.* 2011 Feb;20(2):93–6.
38. Townsend A, Senin N, Blunt L, Leach RK, Taylor JS. Surface texture metrology for metal additive manufacturing: a review. *Precis Eng.* 2016 Oct 1;46:34–47.
39. Graczyk H, Lewinski N, Zhao J, Concha-Lozano N, Riediker M. Characterization of Tungsten Inert Gas (TIG) Welding Fume Generated by Apprentice Welders. *Ann Occup Hyg.* 2016 Mar;60(2):205–19.
40. Xie X, Holze R. Experimental methods in corrosion research. *ChemTexts.* 2018 Feb 21;4(1):5.
41. Ming P, Shao S, Qiu J, Yu Y, Chen J, Yang J, et al. Corrosion behavior and cytocompatibility of a Co–Cr and two Ni–Cr dental alloys before and after the pretreatment with a biological saline solution. *RSC Adv.* 2017;7(10):5843–52.
42. Milheiro A, Muris J, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Influence of shape and finishing on the corrosion of palladium-based dental alloys. *J Adv Prosthodont.* 2015 Feb;7(1):56–61.
43. Corrosion of nickel-based dental casting alloys - ScienceDirect [Internet]. [cited 2019 May 12]. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0109564106001606>
44. Lu C, Zheng Y, Zhong Q. Corrosion of dental alloys in artificial saliva with *Streptococcus mutans*. *PLOS ONE.* 2017 Mar 28;12(3):e0174440.

45. Soderholm K-J. Review of the fracture toughness approach. *Dent Mater Off Publ Acad Dent Mater*. 2010 Feb;26(2):e63-77.
46. Practical and theoretical considerations on the fracture toughness testing of dental restorative materials - ScienceDirect [Internet]. [cited 2019 May 12]. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0109564117311727>
47. Lu J, Zhao Y, Du Y, Zhang W, Zhang Y. Microstructure and mechanical properties of a novel titanium alloy with homogeneous (TiHf)<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> article-reinforcements. *J Alloys Compd*. 2019 Mar 25;778:115–23.
48. Xu D, Xiang N, Wei B. The marginal fit of selective laser melting-fabricated metal crowns: an in vitro study. *J Prosthet Dent*. 2014 Dec;112(6):1437–40.
49. Ishida Y, Miyasaka T. Dimensional accuracy of dental casting patterns created by 3D printers. *Dent Mater J*. 2016;35(2):250–6.