

# APLICAȚII ALE UNOR TEHNOLOGII ADITIVE ÎN MEDICINA DENTARĂ

## *Applications of additive technologies in dentistry*

Asist. Univ. Dr. Cristina Elena Savencu, Prof. Dr. Liliana Porojan, Prof. Dr. Cristina Maria Borțun  
Disciplina de Tehnologia Protezelor Dentare, Facultatea de Medicină Dentară – Specializarea Tehnică Dentară,  
Universitatea de Medicină și Farmacie „Victor Babeș”, Timișoara

### REZUMAT

**Scop.** Până în prezent tehnologiile CAD/CAM în tehnica dentară însemnau exclusiv restaurări frezate. Odată cu dezvoltarea tehnologiilor de printare 3D acestea încep să pătrundă și în domeniul medical. Scopul acestei lucrări este acela de a ilustra aplicațiile tehnologiilor aditive în medicina dentară.

**Material și metodă.** Pe o preparație a unui molar prim maxilar au fost realizate cape metalice pentru restaurări fixe unidentare metalo-ceramice prin tehnologii aditive: sinterizare laser directă a metalului (DMLS) și topire selectivă cu laser (SLM).

Prin tehnologia de procesare digitală a luminii (DLP) au fost realizate un ghid chirurgical pentru inserarea post-extracțională a unui implant dentar și o restaurare provizorie de lungă durată.

**Rezultate și discuții.** Procedeele inovative de realizare aditivă utilizate în tehnica dentară includ numeroase avantaje comparativ cu cele clasice de topire-turnare, frezare pentru prelucrarea aliajelor sau de polimerizare, producând piese protetice cu o structură internă diferită, mai rapid, cu mai puține costuri, reprezentând un potențial de dezvoltare uriaș.

**Concluzii.** Beneficiile utilizării tehnologiei CAD/CAM includ timpi reduși de tratament, acuratețe superioară și vizualizarea precisă a rezultatului final al tratamentului.

**Cuvinte cheie:** printare 3D, tehnologii aditive, CAD/CAM

### ABSTRACT

**Aim.** Until now CAD/CAM technologies meant exclusively milled dental restorations. With the development of 3D Printing technologies they are penetrating in the medical field. The purpose of this paper is to illustrate the application of additive technologies in dentistry.

**Materials and methods.** On a maxillary first molar preparation two metal copings were made for fixed metal-ceramic partial restorations using additive technologies: Direct Metal Laser Sintering (DMLS) and Selective Laser Melting (SLM). Digital light processing technology (DLP) was used to produce a surgical guide for insertion of a post-extraction dental implant and also for a long-term temporary restoration.

**Results.** Innovative additive technologies used in dental technology shows numerous advantages over classical technologies slip-casting and milling procedures for alloys and polymerization for resin materials, resulting prosthetic parts with a different internal structure, faster, with less cost, with a huge development potential.

**Conclusions.** The benefits of using CAD/CAM technology includes reduced treatment time, superior accuracy and precise visualization of the final result of the treatment.

**Keywords:** 3D printing, Additive manufacturing, CAD/CAM

### INTRODUCERE

În ultimii ani, revoluția digitală a pătruns și în medicina dentară: scanare intraorală, sistemele CAD/CAM de cabinet, conceptul de „dinți într-o zi”, scanarea modelelor, frezarea oxidului de zirconiu și a maselor ceramice. Până nu demult, tehnologiile moderne utilizate în acest domeniu au fost substructive. Dezavantajele acestora, cum ar fi cos-

turie ridicare datorită pierderilor mari de material, restricționarea la un design nu foarte complex, limitat, datorită dimensiunii instrumentelor de frezaj și a imposibilității de a produce piese cu o morfologie internă complexă au dus la dezvoltarea tehnologiilor de Manufacturare Aditivă (AM) în industrie, urmată de dezvoltarea aplicațiilor medicale. Fabricarea aditivă este definită conform standardului ISO/ASTM 52921 ca: „procesul de adăugare de

Autor corespondent:

Dr. Cristina Savencu, Universitatea de Medicină și Farmacie „Victor Babeș”, Piața Eftimie Murgu nr. 2, Timișoara

E-mail: cristina.savencu@umft.ro

material pentru a obține un obiect pe baza modelului său digital 3D, de obicei strat cu strat, ca opus tehnologiilor de fabricație prin eliminare de material” Cunoscut ca și printare 3D, tehnologiile de AM presupun crearea unui model virtual, tridimensional cu ajutorul unui soft (CAD) sau prin reverse engineering folosind un scanner laser. Acest model este transformat într-un fișier STL, ulterior “tăiat” în felii. Pasul următor constă în transmiterea acestor date către mașina care va produce, asistată de calculator, piesa proiectată, prin depunere de material, strat cu strat. După construirea acestei piese, în funcție de tehnologia folosită, poate fi necesară post-procesarea: răcire, polimerizare, curățare, finisare, etc. În 2010 American Society for Testing and Materials (ASTM) a formulat un set de standarde pentru clasificarea proceselor de AM (1). Acestea au fost clasificate astfel:

Fotopolimerizarea în cuvă (VAT Photopolymerisation) presupune construirea obiectului într-o cuvă plină cu rășina foto-sensibilă cu ajutorul unui laser sau a altei surse de lumină, care polimerizează selectiv fiecare strat, până când obiectul este finalizat. Este o metodă precisă, dar necesită structuri de susținere și post-procesare pentru a obține structuri cu proprietăți mecanice bune. Cu ajutorul acestei tehnologii se pot procesa polimeri.

Pulverizarea de material (Material Jetting) construiește obiectele similar unei imprimante bidimensionale. Materialul este eliberat de o duză oscilantă sub formă de picături pe suprafața dorită, folosind o metodă termică sau piezoelectrică. Materialul depus se solidifică peste cel depus anterior. Necesită de asemenea suport și post-procesare. Utilizează materiale precum polimeri și ceruri. Este o metodă precisă de fabricație, cu puține pierderi de material, ce permite utilizarea mai multor culori în timpul aceleiași operațiuni, dar cu aplicații limitate datorită materialelor procesate.

Imprimarea tridimensională (Binder Jetting) folosește două materiale, o pulbere și un liant de obicei în stare lichidă. Un cap de printare se mișcă orizontal de-a lungul axelor x și y, depunând alternativ straturi de pulbere și liant. Pe măsură ce obiectul este construit el se afundă în incinta cu pulbere, nu are nevoie de suport suplimentar și este apoi îndepărtat din pulberea nesolidificată. Necesită post-procesare și permite prelucrarea unor pulberi metalice, polimerice și ceramice.

Modelarea prin extrudare termoplastică (Material extrusion, Fused deposition modelling) este o metodă larg răspândită de AM, atât în industrie cât și pentru uz personal. Tehnologia este marcată înregistrată a companiei Stratasys și presupune trecerea

materialului printr-un cap de printare unde este încălzit și depunerea lui strat cu strat. Duza de printare execută mișcări orizontale, în timp ce platforma pe care se realizează piesa urcă și coboară. Pot fi prelucrate materiale precum polimeri, materiale hibride și chiar diferite aliaje de aluminiu, cupru, cobalt și nichel cu unele modele.

Fuziunea patului cu pulberi (Powder bed fusion) cuprinde următoarele tehnologii: Direct metal laser sintering (DMLS), Electron beam melting (EBM), Selective heat sintering (SHS), Selective laser melting (SLM) și Selective laser sintering (SLS). Aceste tehnologii folosesc fie un fascicul de electroni, fie o rază laser pentru a topi și fuziona diferite pulberi. Materialul este întins peste straturile anterioare, și piesa se scufundă în pulbere pe măsură ce este fabricată prin sinterizarea succesivă a straturilor depuse. Cu ajutorul acestor tehnologii poate fi procesată o gamă largă de materiale, pulberi metalice, ceramice, polimerice (2).

Laminare de foi (Sheet lamination) include ultrasonic additive manufacturing (UAM) și laminated object manufacturing (LOM). Ultrasonic additive manufacturing folosește foițe sau fâșii de metal precum aluminiu, cupru, oțel și titan, care sunt sudate împreună cu ajutorul ultrasunetelor, ulterior fiind necesare procedee adiționale de prelucrare. Laminated object manufacturing presupune un rezultat similar folosind ca și material hârtia și adeziv. Sunt metode rapide, relativ ieftine de obținere a unor prototipuri cu o aplicabilitate limitată datorită limitării materialelor folosite și a faptului ca piesele rezultate au caracteristici mecanice modeste.

Depunere cu energie directă (Direct Energy Deposition) este un proces generativ ce presupune de obicei adăugare de material sau reparare a unui obiect preexistent. Mașinile prezintă un braț cu 4-5 axe la capătul căreia este montată o duză care depune material topit cu ajutorul unui laser sau fascicul de electroni pe o anumită suprafață, unde se solidifică. Procesul poate fi realizat cu polimeri, ceramici sau metale sub formă de pulbere sau fir.(3)

În 2011 s-a înființat comitetul tehnic ISO TC 261 pentru Fabricație Aditivă având sarcina de standardizare a proceselor, a procedurilor de testare, a terminologiei și a parametrilor de calitate, iar la sfârșitul aceluiași an, ISO și ASTM au încheiat o înțelegere vizând elaborarea în comun a standardelor pentru fabricația aditivă: ISO/ASTM 52915:2013 (Standard specification for additive manufacturing file format (AMF) Version 1.1) – conținând specificații ale formatului de fișier standard pentru fabricația aditivă și respectiv ISO/ASTM 52921:2013 (Standard terminology for

additive manufacturing – Coordinate systems and test methodologies) – conține „termeni, definițiile termenilor, descrierile termenilor și acronime asociate cu sistemele de coordonate, ca și metodologiile de testare a tehnologiilor de fabricație aditivă (4).

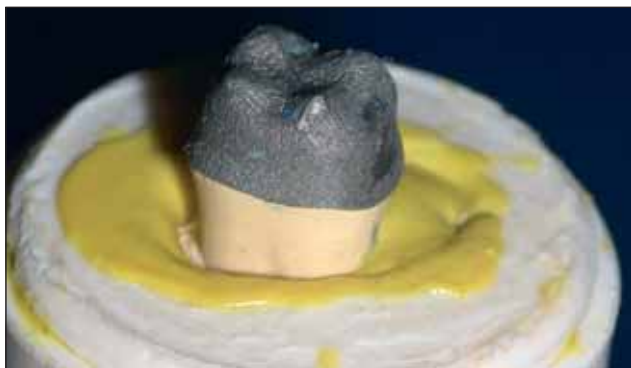
O parte dintre aceste tehnologii au patruns si în domeniul medicinei dentare.

## MATERIAL ȘI METODĂ

Pentru realizarea scheletului metalic al unor restaurări protetice fixe unidentare au fost alese două tehnologii aditive: sinterizare directă cu laser (DMLS) (Fig. 1) și topire selectivă cu laser (SLM) (Fig. 2).

Un molar prim maxilar a fost preparat cu un prag chanfrein de 1 mm, o reducere anatomică a suprafeței ocluzale, o convergență ocluzală de 6° a pereților axiali, și suprafața palatinală a cuspidului funcțional a fost redusă în două planuri. Dintele a fost amprentat cu un silicon (Variotime, Heraeus Kulzer, Hanau, Germania) și s-a turnat un model de lucru din gips extradur (GC Fujirock Gc, Leuven, Belgia).

Pentru realizarea scheletului metalic prin tehnologie DMLS modelul de lucru a fost scanat cu scannerul D700 3D Scanner (3Shape, Copenhagen Denmark). S-a realizat design-ul scheletului metalic al viitoarei restaurări cu soft-ul PHENIX Dental (Phenix Systems, Riom, France), cu 0,05 mm spațiu pentru ciment. Piesa a fost realizată ulterior cu ajutorul PXS Dental (Phenix Systems, Riom, France). Un fascicul laser de mare putere topește superficial pulberea metalică, determinând fuzionarea particulelor în timpul răcirii, strat-cu-strat, pentru a reproduce datele CAD dinspre ocluzal către cervical.



**FIGURA 1.** Capă metalică din aliaj de Cr-Co obținută prin DMLS.

Pentru realizarea scheletului metalic prin tehnologie SLM modelul de lucru a fost scanat cu

scannerul Dental Wings 7 Series Scanner (Dental Wings INC., Montreal (Quebec) Canada). Designul scheletului metalic cu grosime uniformă de 0,4 mm a fost realizat cu soft-ul DWOS (Dental Wings INC., Montreal (Quebec) Canada), urmat de realizarea scheletului prin topire selectivă cu laser folosind Starbond CoS Powder 30, aliaj metalic dentar fără nichel și beriliu. Tehnologia SLM utilizează pulberi metalice drept material de construcție, care sunt topite și sudate împreună cu ajutorul unui laser de mare putere. Straturile subțiri de pulbere metalică atomizată sunt succesiv topite și solidificate la nivel microscopic în interiorul unei camere de construcție închisă ce conține gaz inert (argon sau azot) și cantități controlate strict, la un anumit nivelul de oxigen (5,6).

Cu ajutorul acestor tehnologii se realizează piese protetice cu proprietăți mecanice și electrochimice superioare (7,8).



**FIGURA 2.** Capă metalică din aliaj de Cr-Co obținută prin SLM.

O altă aplicație a acestor tehnologii aditive o prezintă realizarea ghidurilor chirurgicale ajutătoare chirurgiei implantare. Scanarea tridimensională a pacientului cu ajutorul Computer Tomografului cu Fascicul Conic (CBCT), a scanării modelelor de gips urmate de suprapunerea fișierelor de tip DICOM obținute prin CBCT cu fișierele STL obținute prin scanarea modelelor permite reconstrucția 3D atât a părților moi, cât și a structurilor osoase ale pacientului. Pe baza acestor date s-a realizat o simulare virtuală a rezultatului final al intervenției chirurgicale (Fig. 3). Cu ajutorul soft-ului R2DATA (Megagen, Seoul, Korea) și a imprimantei 3D EnvisionTEC (Envisiontec Inc., Dearborn, MI, USA) s-a realizat cu o acuratețe de 10 microni ghidul



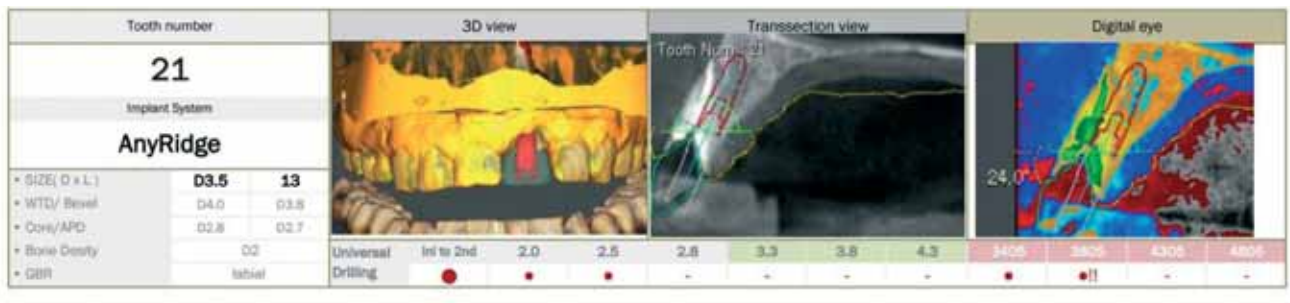


FIGURA 3. Planificarea poziționării 3D a viitorului implant cu ajutorul soft-ului R2DATA.

pentru frezarea neoalveolei (Fig. 4) și inserarea implantului endo-osos prin tehnologia de procesare digitală a luminii (DLP) din EnvisionTEC Clear Guide (Envisiontec Inc., Dearborn, MI, USA), o rășină fotopolimerizabilă. Această tehnologie presupune polimerizarea și uscarea lentă a unei rășini în mod stratificat, printr-o sursă de lumină. Obiectul este construit în poziție răsturnată pe o platformă de ridicare (9).



FIGURA 4. Ghidul chirurgical obținut prin procedeul DLP.



FIGURA 5. Restaurarea provizorie de lungă durată obținută prin procedeul DLP.

Pe acest model virtual se poate realiza, atunci când se anticipează o stabilitate primară a implantului sau în etapa de descoperire în vederea protezării, macheta unei restaurări provizorii de lungă durată. Designul acesteia se realizează în infraocluzie, pentru a obține o încărcare non-funcțională, cu un profil de emergență ideal, pentru a conforma gingia. Ulterior, coroana provizorie este realizată prin procedeul DLP dint EnvisionTEC E-Dent (Envisiontec Inc., Dearborn, MI, USA), un material hibridfotopolimerizabil, cu micro-umplutură și poate fi aplicată intraoral intraoperator.

## REZULTATE ȘI DISCUȚII

Utilizarea tehnologiilor CAD/CAM (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing), a computer-tomografiei cu fascicul conic (CBCT - Cone Beam Computer Tomography), progresele soft-urilor utilizate pentru diagnostic și tratament permit planificarea preoperatorie riguroasă, comunicarea facilă între membrii echipei medicale (protetician, chirurg, parodontolog, ortodont, tehnician dentar), o mai bună înțelegere de către pacient a procedurilor terapeutice, creșterea predictibilității și acceptabilității tratamentului.

Prin scanarea intraorală se evită riscul generat de deformarea materialelor de amprentă și se permite realizarea machetelor virtuale ale restaurărilor protetice, ce îi permit pacientului să vizualizeze rezultatul final al tratamentului.

Tehnologiile CAD-CAM aditive sau substructive au permis realizarea de ghiduri chirurgicale de înaltă fidelitate ce transpun planul de tratament în procedura chirurgicală propriu-zisă. Confecționarea acestora prin tehnologia CAD-CAM a revoluționat terapia implanto-protetică, permițând utilizarea unor tehnici minim invazive (chirurgia fără lambou), scurtarea timpului operator și a disconfortului postoperator și, acolo unde este posibil, încărcarea protetică imediată.

Rezoluția diferă în funcție de imprimantă și material, dar există imprimante 3D care pot printa

chiar și cu rezoluția de 1 micron, cu care prindează o imprimantă 3D destinată stomatologiei producând restaurări protetice obținute în 3 pași simpli, scanare, printare și postprocesare, cu o precizie și o individualizare perfectă pe câmpul protetic, aproape imposibil de obținut prin metodele convenționale. Exactitatea și acuratețea lucrărilor sunt foarte importante, iar rezultatele estetice și funcționale sunt esențiale (8,10).

Prin folosirea sistemelor CAD-CAM putem face față exigențelor și preferințelor atât ale medicilor cât și ale pacienților.

Putem garanta calitatea constantă a lucrărilor și creșterea productivității.

## CONCLUZII.

Aceste tehnologii aditive reprezintă o alternativă promițătoare la tehnologiile clasice de laborator,

datorită preciziei ridicate, reducerii etapelor tehnologice în care pot apare erori, economiei de material, datorită reutilizării pulberii netopite în cazul SLM și DMLS sau a polimerului în cazul stereolitografiei și DLP.

Prin previzualizarea 3D a viitoarei restaurări se obține un grad mare de acceptabilitate din partea pacientului, informația poate fi transmisă electronic imediat laboratorului, rămân arhivate toate datele, în fișiere, pe o perioadă nelimitată.

Datorită evoluției continue din acest domeniu, apariției de noi materiale și de noi tehnologii, se poate prevedea o diversificare a aplicațiilor tehnologiilor aditive în domeniul medicinei dentare.

Mulțumiri: Autorii mulțumesc centrului european DDX R2eucenter, Zircon-Dent Cluj și Radent Timișoara pentru suportul tehnic.

## BIBLIOGRAFIE

1. <http://www.sme.org/additive-manufacturing-glossary/>
2. **Ayyildiz S.** The place of direct laser sintering (DMLS) in dentistry and the importance of annealing, *Ma. Sci. and Eng.*, 2015, 52, 343
3. <http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/>
4. <http://www.ttonline.ro/sectiuni/tehnologii/articole/11472-fabricatia-aditiva-aparitia-primelor-standarde-domeniu>
5. **Kim K.B., Kim J.H., Kim W.C., Kim J.H.** Three-Dimensional evaluation of gaps associated with fixed dental prostheses fabricated with new technologies. *J. Prosth. Dent.* 2014, 112, 6: 1432-1436
6. **Abdou J., Lyons K., Bennamoun M.** Trends in computer-aided manufacturing in prosthodontics: a review of the available streams. *Int. J. of Dent.* 2014, Article ID 783948, 15 pages, 2014. doi:10.1155/2014/783948
7. **Xin X.Z., Chen J., Xiang N., Gong Y., Wei B.** Surface characteristics and corrosion properties of selective laser melted Co-Cr dental alloy after porcelain firing. *Dent. Mater.* 2014, 30, 263-70
8. **Wu L., Zhu H., Gai X., Wang Y.** Evaluation of the mechanical properties and porcelain bond strength of cobalt-chromium dental alloy fabricated by selective laser melting. *J. Prosthet. Dent.* 2014, 111(1), 51-5111
9. **Moin D.A., Hassan B., Wismeijer D.** A novel approach for custom three-dimensional printing of a zirconia root analogue implant by digital light processing, *Clin. Oral Impl. Res.* 2016, doi.org/10.1111/clr.12859
10. **Pompa G., Di Carlo S., De Angelis F., Cristalli M.P., Annibali S.** Comparison of conventional methods and laser-assisted rapid prototyping for manufacturing fixed dental prostheses: an in vitro study. *BioMed Res. Int.* 2015 doi:10.1155/2015/318097