

# PRACTICA STOMATOLOGICĂ ÎN ERA DIGITALIZĂRII: QUO VADIMUS?

## Rezumat

Grație progresului tehnologic înregistrat în ultimii ani sistemele CAD/CAM reprezintă o certitudine practică a utilizării lor în restaurările dentare. Prin intermediul unui scanner intraoral performant în prezent există posibilitatea expedierii rapide pe cale electronică în laboratorul de tehnică dentară a unei amprente digitale de acuratețe efectuate direct în cabinet de către medic. Fluxul tehnologic digital concretizează realitatea virtuală, care debutează prin amprentarea optică a câmpului protetic în cabinet, se continuă prin utilizarea articulatorilor virtuale și efectuarea designului 3D al reconstituirii protetice și se termină în final cu confecționarea unei lucrări protetice reale, prin frezare sau procese de adăuție dirijate de un software dedicat. Pentru moment introducerea tehnologiei digitale ca procedură habituală de confecționare a unei restaurări protetice este totuși grevată atât de necesitatea instruirii unui personal cu înaltă calificare profesională cât și de reducerea prețurilor de cost, deocamdată încă mult prea ridicate comparativ cu procedeele convenționale de tehnică dentară.

**Cuvinte cheie:** *practica stomatologica, tehnologii digitalizate, procedeul CAD/CAM.*

## Summary

### DENTAL PRACTICE IN DIGITAL ERA: QUO VADIMUS?

Due to the technological progress of last years CAD/CAM systems definitely proved to be extremely useful in tooth restorations. Using an updated intraoral scanner nowadays is possible to quickly send by e-mail to dental laboratory an accurate digital impression directly recorded in dental office by the practitioner. The digital technological flow materializes the virtual reality which begins at dental chair with optic impression of prosthetic field, goes farther by using the virtual articulators and drawing up the 3D design of prosthetic restoration, and arrives at the end-point by manufacturing the real prosthetic product, either by milling or addition process, under the control of dedicated software. However, for the time being the use of digital technology as habitual procedure to manufacturing a prosthetic restoration sets hurdles since it needs both personnel of high professional qualification and reduced costs which presently are higher as compared to conventional procedures performed in common dental laboratories.

**Key words:** *dental practice, digital technologies, CAD/CAM procedure.*

## Introducere

În practica stomatologică realitatea virtuală este definită ca o tehnologie interactivă care permite, prin vizualizarea procesului abstract de simulare computerizată, o comunicare a medicului cu mediul clinic sau laboratorul de tehnică dentară. O abordare eficientă a realității virtuale presupune o acceptare a mediului creat artificial, multă pricepere și diverse dispozitive hardware implicite, obligatorii pentru generarea simulărilor cu care se operează [1, 2].

În prezent, când tehnologia CAD/CAM a devenit un proces de rutină în confecționarea lucrărilor protetice, realitatea virtuală capătă o semnificație majoră întrucât în protocoalele de lucru sunt integrate atât amprente și modelele digitale cât și articulatorii și arcurile faciale virtuale [1-10].

Prima simulare în stomatologie datează din 1999, când s-a întreprins o sondare virtuală 2D a smalțului sănătos și cariat care a dus la concluzia că un simplu joystick nu poate asigura nici pe departe o transmisie de finețe a mișcărilor mâinii operatorului în manevrarea instrumentului dentar pe fantomă [11, 12].

**Alexandru Andrei Iliescu,**  
*conferențiar universitar*

*U.M.F. Craiova*

**Paula Perlea,**  
*autor corespondent,*  
*conferențiar universitar*  
**Mihaela Georgiana Iliescu,**  
*doctorand*  
**Valeria Gorea,**  
*studentă*

*U.M.F. „Carol Davila“*  
*București 3 Doctorand,*  
*U.M.F. „Carol Davila“*  
*București*

**Gheorghe Nicolau,**  
*profesor universitar*

*IP U.S.M.F. „Nicolae*  
*Testemițanu“*

Depășirea acestui impediment s-a reușit într-o primă etapă prin conceperea unui simulator bazat pe tehnologia de feedback a forței aplicate pe fantomă și care folosea în acest scop un braț articulată, conectat la computer, ce permitea palpării de mai mare finețe [13].

Pentru abordarea practică a procedurilor terapeutice dentare prin simulatori ai realității virtuale s-a urmărit ulterior cum s-ar putea integra tehnologia digitală în procesul formativ profesional tradițional, prin ameliorarea percepției tactile și vizualizarea 3D [1].

Grație progresului înregistrat în domeniul programării 3D pe computer realitatea virtuală a atins un grad de vizualizare permisibil acurateții de adaptare mecanică statică și respectării cerințelor funcționale ale lucrărilor protetice [14, 15]. Inclusiv respectarea principiului designului surășului se bazează în prezent pe abordarea virtuală, cum se întâmplă în rezolvarea veneer-urilor ceramice prin procedeul CAD/CAM [16].

Digitalizarea permite abordarea prin scanare intraorală atât a bonturilor dentare sau implantare ce servesc drept stâlpi în protetica fixă, cât și a amprentelor, modelelor de lucru, suprafețelor edentate ale maxilarelor sau a rapoartelor cu arcada dentară antagonistă [17–20]. Nu în ultimul rând digitalizarea a adus în premieră în fluxul tehnologic de confecționare a lucrărilor dentare și printarea 3D [14, 21].

Introducerea sistemelor CAD/CAM în medicina dentară la începutul anilor '70 a pornit de la dorința de reducere a muncii manuale depuse pentru obținerea unei lucrări protetice convenționale și de reducere a prețului de cost în paralel cu creșterea preciziei de execuție [3, 22].

De la început tehnologia CAD/CAM s-a confruntat în medicina dentară cu o mare neîncredere, pornind de la premiza că orice lucrare protetică este un unicat și ca atare nu poate fi executată de o mașinărie deoarece nu ne putem permite eșecuri. Nici în prezent, când acuratețea confecționării este deosebită, tot mai există îndoiala privind calitatea adaptării la câmpul protetic comparativ cu elaborarea aceleiași lucrări prin tehnicile convenționale [14]. Pe de altă parte nici coborârea prețului de cost nu pare a fi soluționată întrucât, spre deosebire de elaborarea industrială a unui produs de serie identic, în stomatologie cheltuielile de investiție în echipamentul CAD/CAM reclamă compensarea printr-un cost ridicat a confecționării unei lucrări protetice unicat [3].

Această reticență inițială față de metodologia CAD/CAM dispare însă pe măsură ce se reușește obținerea unei lucrări protetice cu adevărat personalizate, respectiv un unicat. De fapt, prin precizia de design a abstractizării prin computer dar și a execuției mecanice conexe prin uneltele de frezaj, actualmente la înalte cote de acuratețe, îmbinate cu unicitatea creativității senzorial umane naturale care realizează adecvat asamblarea estetică a culorii și dinamicii luminii dinților artificiali, se ajunge la o lucrare protetică de clasă,

calitativ superioară produselor similare elaborate prin tehnicile convenționale de laborator [14].

Practic la ora actuală sistemele CAD/CAM dețin o poziție centrală în special în protetica dentară nu numai pentru că reprezintă o nouă metodologie de confecționare a lucrărilor protetice ci și prin faptul că oferă deschiderea unui segment inovator de cercetare științifică și pregătire didactică a studenților în facultățile de medicină dentară [1, 14, 23]. În plus, raportat la reabilitarea orală, grație prelucrării prin tehnologia CAD/CAM a biomaterialelor ceramice moderne cu înaltă rezistență mecanică și deosebite proprietăți fizionomice, s-a înregistrat un mare salt în creșterea calității actului terapeutic [23].

Noțiunea de CAD/CAM aparține tehnologiei industriale și se referă la schițarea pe monitorul unui computer a formei unui obiect în trei planuri spațiale, urmată de confecționarea automată a acestuia de către o mașină unealtă controlată de computer [3].

Sistemele CAD/CAM pot produce automatizat integral o lucrare protetică (inlayuri, onlayuri, coroane, veneeruri) sau doar scheletul pe care să se facă prelucrări ulterioare manuale de către tehnician, cum ar fi placarea ceramică a corodelor și punților [3].

### **Componentele tehnologiei CAD/CAM**

Scanarea intra și extraorale. Scanarea câmpului protetic se concretizează printr-o amprentă virtuală. Se poate executa intraoral (în cabinet) pentru amprentarea digitală a bonturilor dinților șlefuiți, respectiv a bonturilor implantare sau extraoral (în laborator) având de data aceasta ca obiect amprenta convențională sau modelul de lucru. În cazul punților sau lucrărilor mobile trebuie amprentați optic și dinții vecini, antagoniștii, precum și rapoartele ocluzale (obligatorii și la lucrările unidentare).

Componenta CAD (*Computer-Aided Design*), reprezentată de computer, asigură pe monitor cu ajutorul unui software de profil 3D planificarea virtuală a tratamentului protetic și a machetei lucrării protetice cu condiția ca designerul să aibă cunoștințe de bază de lucru pe calculator, chiar dacă pe măsura trecerii timpului programele devin din ce în ce mai intuitive, deci prietenoase utilizatorului. De reținut de asemenea riscul mai crescut de eroare în cazul programelor complexe sofisticate. Tot componenta CAD este responsabilă de stabilirea parametrilor de fabricare a lucrării protetice ce se va executa ulterior grație celeilalte componente, CAM.

Componenta CAM (*Computer-Aided Manufacturing*) confecționează sub controlul computerului lucrarea protetică propriu-zisă, fizică, fie cu ajutorul unor mașini unelte de frezat, fie prin procedee de adăuție. Această etapă finală asigurată de componenta CAM reprezintă convertirea designului restaurării virtuale de pe computer într-o lucrare protetică reală executabilă din diverse tipuri de materiale dentare (metal, ceramică, rășini sintetice)[3, 23].

De reținut că o dată elaborată prin tehnologia CAD/CAM orice lucrare protetică trebuie verificată

de tehnician în privința adaptării și relațiilor ocluzale, corecțiilor estetice, a finisării și lustruirii manuale [3].

Sistemele CAD/CAM pot fi de două feluri, închise și deschise:

- *sistemele închise*, apărute la începuturile aplicării tehnologiei CAD/CAM, reprezintă acea modalitate de flux tehnologic digital în care toate cele trei componente principale, scannerul, CAD-ul și CAM-ul, provenind de la aceeași firmă, sunt integrate într-un sistem unic, motiv pentru care nu sunt compatibile cu componentele produse de alte firme;
- *sistemele deschise*, din ce în ce mai frecvent folosite, asigură exportul datelor digitalizate ale scanării sau CAD-ului pentru executarea lucrării protetice în format STL (*Surface-Tesselation-Language*) permițând, prin compatibilitatea cu componentele CAD/CAM produse de alte firme, selecționarea celei mai potrivite tehnologii CAM capabile de fabricarea unui produs unicat, personalizat, la parametrii calitativi pe cât posibil maximi [3, 23, 24].

#### Metode de aplicare a tehnologiei CAD/CAM în medicina dentară

Pregătirea dinților pentru incrustații, onaluyuri sau coroane de înveliș se face în linii mari ca pentru tehnicile convenționale de restaurare coronară, îndepărtând din țesuturile dure dentare doar atât cât să permită o grosime suficientă a lucrării, care să-i asigure rezistența mecanică statică și dinamică la solicitările forțelor ocluzale [25]. Ținând însă seama de forma frezelor folosite de mașinile unelte de frezaj (CAM), de regulă cu lamele tăietore rounjite, dar și de diametrul lor, pentru acuratețea adaptării coroanelor protetice la prepararea dinților se recomandă:

- evitarea muchiilor laterale ascuțite, care împiedică adaptarea internă a lucrării;
- evitarea șlefuirii în unghi ascuțit a muchilor incizale sau vârfulor cupizilor;
- evitarea deretentivizării dinților preparați deoarece s-ar crea spații nedorite în interiorul restaurării protetice [3].

*Protocolul de scanare intraorală* presupune respectarea următoarelor etape clinice:

- aplicare unui fir de retracție pentru expunerea conturului bontului șlefuit și a pragurilor subgingivale;
- dirijarea scannerului în captarea imaginii în direcții multiple, specifice fiecărui tip de scanner, conform indicațiilor producătorului, în scopul obținerii unei amprente digitale de maximă precizie;
- scanarea antagoniștilor urmând același principiu [23].

În cazul scanării unor suprafețe reflectorizante, cum sunt bonturile implantare sau căpăcelele de acoperire a implanturilor, unele tipuri de scanere intraorale necesită o prealabilă pudrare a acestor suprafețe cu material opacificant [23, 26].

Momentul scanării intraorale se alege în funcție de două principii de abordare:

*scanarea preoperatorie* — înregistrează atât statutul anatomic dento-parodontal existent înaintea pregătirii câmpului protetic, cât și planurile de ocluzie, servind drept punct de plecare pentru elaborarea restaurării virtuale;

*scanarea postoperatorie* — folosește o bibliotecă internă de baze de date anatomice privind morfologia coronară sau a câmpului protetic în care se introduce imaginea scanată a cazului particular deja prelucrat în vederea amprentării optice pentru a se obține designul restaurării virtuale [23].

#### Achiziția datelor 3D digitalizate

Scanarea dintelui preparat sau a câmpului protetic se poate face prin două procedee:

- *scanare intraorală*, directă și rapidă, datele putând fi trimise imediat prin e-mail în format STL la laboratorul CAM de confecționare a lucrării protetice;
- *scanare extraorală*, indirectă, aplicată pe amprenta finală convențională sau pe modelul turnat după respectiva amprentă trimisă în laborator; deși reprezintă o manevră care durează mai mult, iar amprentarea poate fi o sursă potențială de eroare, este preferată de medic din cauza costului investiției pentru scannerul intraoral [3, 23].

Captarea intraorală a imaginii are loc prin fotografiere cu cadre multiple a aproximativ 3 dinți în cazul scannerelor iTero (*Align Technology*), Trios Color (3 Shape) sau CS 3500 (*Carestream Dental LLC*), respectiv filmare tip video cum întâlnim la echipamentele True Definition Scanner (3M ESPE), CEREC Omnicam (*Sirona*), Apollo DI (*Sirona*), PlanScan (*Planmeca*) [23].

Inregistrarea unor zone mai întinse se face prin imagini suprapuse pe care le assemblează un program computerizat, generând un model virtual 3D în care zonele necaptate direct imagistic sunt completate prin extrapolare [23].

Scanarea intraorală poate înregistra întreaga arcadă dento-alveolară, inclusiv implanturile dentare, exceptând camera tip PlanScan (*Planmeca*). Unele scanere intraorale pot fi portabile, precum Trios Color (3 Shape), CS 3500 (*Carestream Dental LLC*) sau PlanScan (*Planmeca*). Există și scanere intraorale capabile de analiză ortodontică: True Definition Scanner (3M ESPE), iTero (*Align Technology*) sau Trios Color (3 Shape) [23].

Din punct de vedere al alinierii la fluxul de lucru digital scanerele intraorale pot fi compatibile atât cu sistemele deschise cât și cu cele închise. Mai puține la număr sunt cele implicate în sistemele închise, CEREC Omnicam (*Sirona*) și Apollo DI (*Sirona*), în timp ce scanerele compatibile sistemelor deschise au devenit majoritare: True Definition Scanner (3M ESPE), iTero (*Align Technology*), Trios Color (3 Shape), PlanScan (*Planmeca*), CS 3500 (*Carestream Dental LLC*) [23].

Scanarea extraorală, de laborator, s-a făcut mai înainte de procedeele optice digitale prin scanere precum ProCera Scanner (*Nobel Biocare*) care folosea mijloace mecanice pentru obținerea măsurătorilor tridimensionale [23].

În acuratețea adaptării restaurării protetice la dinte intervin două categorii de factori:

- factori principali: precizia preparării dintelui și designul virtual 3D corespunzător pe computer;
- factori adiționali dentari: locația marginilor preparației protetice coronare, locația ecuatorului coroanei, locația retentivităților;
- factori adiționali digitali: calitatea achiziției datelor digitalizate, calitatea procesării datelor, eficiența filtrelor de eliminare a zgomotului indus de sistemele de măsurare [3].

### **Procedeele tehnologice actuale bazate pe principiul CAD/CAM**

Restaurarea virtuală concepută pe computer (etapa CAD) este transformată ulterior în a doua etapă (CAM) într-un produs finit prin trei procedee tehnologice de prelucrare a materialelor protetice dentare, cum ar fi:

*Procedeele substractiv* — elaborarea lucrării are loc prin frezare dintr-un bloc (blank) de material, folosind un sistem CAM cu 3–6 axe. Sub aspectul acurateții reproducerii configurației anatomice coronare și a frezării retentivităților s-a constatat că sistemele CAM cu 5 axe sunt capabile de confecționarea unor restaurări de calitate [3, 23].

În cazul blocurilor din oxid de zirconiu prelucrarea mecanică se poate face atât înainte cât și după sinterizarea lor. Con tracția de sinterizare trebuie însă controlată de computer în cursul procesului de frezare de durată pentru a se asigura acuratețea adaptării restaurării finalizate. Pe de altă parte, în cazul blocurilor din oxid de zirconiu deja sinterizate, trebuie ținut seama și de riscul apariției prin frezaj în material a unor fisuri de profunzime sau de suprafață [3].

*Procedeele aditive* — bazate pe electroforeză (ECD *Wieland*), combinația tehnicii In–Ceram cu electroforeza precum sistemul CAM Wol–Dent–EPC (Wol–Dent *Ludwigshafen*), prototiparea rapidă prin injecție (ink jet) a machetelor de turnare din masă termoplastică (Wax–Pro *Cynovad*) sau sinterizarea laser selectivă de confecționare a restaurărilor protetice (*Medifabricating Bego Medical*) [3].

*Stereolitografia* — bazată pe principiul prototipării rapide, nu reprezintă o alternativă la frezare sau sinterizare pentru obținerea unor restaurări, ci a modelării machetei în ceară.

Stereolitografia permite însă confecționarea de restaurări dintr-un material plastic fotosensibil care servesc fie ca produs final în cazul gutierelor ocluzale nocturne sau al șabloanelor chirurgicale pentru inserarea implanturilor dentare, fie ca machetă pentru obținerea prin turnare a unor lucrări din orice tip de aliaj [3].

### **Modalitățile de finalizare a restaurărilor dentare prin tehnologia CAD/CAM**

Depind în primul rând de conceptul de elaborare a lucrării protetice prin această tehnologie, care poate fi de trei feluri: elaborarea în cabinet (*chairside*), în laboratorul individual sau în laboratoarele centralizate de tehnică dentară [3].

1. *Procedeele chairside* are avantajul costului mai redus prin confecționarea restaurării direct în cabinetul dentar. Amprentarea optică a dintelui preparat se poate face imediat prin scanare intraorală, economisind materiale și scurtând timpul de lucru, iar după obținerea restaurării este fezabilă cimentarea în aceeași ședință de tratament. Pacientul poate beneficia de materiale ceramice de înaltă calitate, dat fiind sinterizarea lor pe cale industrială [3].

Sistemele chairside pot avea:

- scaner și unitate de frezaj proprii, precum CE-REC Omnicam (*Sirona*) și PlanScan (*Planmecca*);
- scaner fără posibilitate de machetare virtuală, ceea ce necesită transmiterea amprentei digitale pentru prelucrare ulterioară la un scaner de laborator funcționând pe principiul sistemului deschis (*Apollo DI Sirona*, *iTero Align Technology*, *True Definition Scanner 3M ESPE*, *Trios 3Shape*) și continuând fluxul tehnologic pentru fabricarea din modelul digital obținut a modelului de lucru propriu zis, fie prin frezare fie prin adicție [23].

2. *Laboratorul individual de tehnică dentară* pornește de la turnarea modelului în gips după amprenta convențională primită din cabinet, care este supus în continuare scanării extraorale în scanerul de laborator. Din păcate, sub aspect economic, modelul de lucru confecționat pe cale digitală depășește costul modelului convențional turnat în gips [3, 23].

Etapele de lucru ulterioare se pot face integral pe cale digitalizată sau se pot intercala etape de intervenție directă manuală convențională a tehnicianului pe scheletul metalic sau ceramic fabricat CAD/CAM, cum sunt cazurile unde cerințele estetice reclamă expres subtilități de culoare și transluciditate [3].

Avantajul terapeutic al apelării la laboratorul de tehnică dentară, pe lângă cel al obținerii unei estetici maxime a restaurării este și acela de abordare atât a unor lucrări fixe cu mulți dinți stâlpi, inclusiv punți totale, cât și a protezării mobile, știut fiind că scanerile intraorale nu oferă încă o digitalizare de precizie a câmpurilor edentate extinse [3].

Aspectul economic al laboratorului este avantajat de posibilitatea primirii de comenzi de la mai mulți medici, cu creșterea implicită a numărului de lucrări de confecționat [3].

3. *Laboratorul centralizat de tehnică dentară cu profil industrial*

Funcționează pe baza separării distincte între scanarea modelelor de lucru, conceperea virtuală a lucrării protetice prin software-ul dedicat (CAD) și confecționarea concretă pe scară industrială dirijată de computer (CAM) a restaurărilor propriu-zise

(PlanEasyMill *Planmeca*, InfiniDent *Sirona*, Lava 3M *ESPE*, Procera *Nobel Biocare*) [3, 23].

Laboratoarele industriale centralizate își permit funcționarea continuă (24 ore) dar unele operațiuni, precum placarea ceramică a lucrărilor metaloceramice, au loc tot prin procedeele convenționale în laboratoarele individuale de tehnică dentară [3].

Sistemele de laboratoare centralizate pot avea:

- scaner și unitate de frezaj proprii (KaVo Dental, 3M ESPE, Planmeca, Sirona Dental Systems, Dentsply Prosthetics, Zirkozahn);
- sisteme CAD prevăzute exclusiv cu scaner (Iskan D104 *Imetric 3D SA*, D2000 *3Shape*, Ceramil Map *Amann Girrbach*, Dental Wings 7 series *Dental Wings*);
- sisteme CAM prevăzute cu mașini de frezat (inLab MC X5 *Sirona*, Ceramil Motion 2 *Amann Girrbach*, M5 *Zirkozahn*) [23].

Sistemele CAD de laborator trebuie să fie neapărat sisteme deschise deoarece datele obținute prin machetarea virtuală necesită salvarea în fișier STL, pe baza căruia la rândul său un sistem CAM să poată confecționa piesa protetică propriu-zisă [23].

De reținut că în prezent doar laboratoarele centralizate dispun de competența tehnică a prelucrării barelor (blancurilor) din titan și confecționării protezelor mobile totale pentru a se respecta cerințele de acuratețe [23].

În pofida unei reticențe, în parte justificate, a medicilor și tehnicienilor obișnuiți cu procedurile convenționale, perspectivele utilizării curente a sistemelor CAD/CAM în stomatologie sunt însă îmbucurătoare deoarece au devenit mai prietenoase pentru utilizatori, paleta materialelor de confecționare a restaurărilor dentare se diversifică în permanență iar programele de concepție și execuție sunt din ce în ce mai bune [24].

Suntem la o răscruce în stomatologie, nu numai tehnologică ci și de concepție terapeutică. De aici justificarea întrebării binomului medic–tehnician: *quo vadimus?*

## Concluzii

Grație progresului tehnologic înregistrat în ultimii ani sistemele CAD/CAM reprezintă o certitudine practică a utilizării lor în restaurările dentare. Prin intermediul unui scaner intraoral performant în prezent există posibilitatea expedierii rapide pe cale electronică în laboratorul de tehnică dentară a unei amprente digitale de acuratețe efectuate direct în cabinet de către medic. Introducerea fluxului tehnologic digital ca procedură habituală de confecționare a unei restaurări protetice este din păcate încă grevată atât de necesitatea instruirii unui personal cu înaltă calificare profesională cât și de reducerea prețurilor de cost, deocamdată mult prea ridicate comparativ cu procedeele convenționale.

## Bibliografie

1. Curnier F. Teaching dentistry by means of virtual reality — the Geneva project. *Int J Comput Dent* 2010;13:251–263.

2. Reichel K. Virtual reality by Cerec inLab framework. *Int J Comput Dent* 2004;7:85–95.
3. Tinschert J, Natt G, Hassenpflug S, Spiekermann H. Status of current CAD/CAM technology in dental medicine. *Int J Comput Dent* 2004;7:25–45.
4. Zandparsa R. Digital imaging and fabrication. *Dent Clin North Am* 2014;58:135–158.
5. Galhano GA, Pellizzer EP, Mazaro JV. Optical impression systems for CAD–CAM restorations. *J Craniofac Surg* 2012;23:e575–579.
6. Maestre–Ferrin L, Romero–Millan J, Penarrocha–Oltra D, Penarrocha–Diago M. Virtual articulator for the analysis of dental occlusion: an update. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2012;17:e160–163.
7. Solaberrieta E, Miguez R, Barrenetxea L, Etxaniz O. Direct transfer of the position of digitized casts to a virtual articulator. *J Prosthet Dent* 2013;109:411–414.
8. Solaberrieta E, Otegi JR, Miguez R, Etxaniz O. Improved digital transfer of the maxillary cast to a virtual articulator. *J Prosthet Dent* 2014;112:921–924.
9. Solaberrieta E, Otegi JR, Goicoechea N, Brizuela A, Pradies G. Comparison of a conventional and virtual occlusal record. *J Prosthet Dent* 2015;114:92–97.
10. Solaberrieta E, Miguez R, Barrenetxea L, Otegi JR, Szentpetery A. Comparison of the accuracy of a 3–dimensional virtual method and conventional method for transferring the maxillary cast to a virtual articulator. *J Prosthet Dent* 2015;113:191–197.
11. Johnson L, Thomas G, Dow S, Stanford C. An initial evaluation of the Iowa dental surgical simulator. *J Dent Educ* 2000;64:847–853.
12. Thomas G, Johnson L, Dow S. The design and testing of a force feedback dental simulator. *Comput Methods Programs Biomed* 2001;64:53–64.
13. Zilles CB, Salisbury JK. A constraint–based god–object method for haptic display. *IEEE Computer Society* 1995;31–46.
14. Kurbad A. Man or Machine? *Int J Comput Dent* 2004;7:3–5.
15. Ng J, Ruse D, Wyatt C. A comparison of the marginal fit of crowns fabricated with digital and conventional methods. *J Prosthet Dent* 2014;112:555–560.
16. Lin WS, Zandinejad A, Metz MJ, Harris BT, Morton D. Predictable restorative work flow for computer–aided design/computer–aided manufacture–fabricated ceramic veneers utilizing a virtual smile design principle. *Oper Dent* 2015;40:357–363.
17. Zimmermann M, Mehl A, Mömman WH, Reich S. Intraoral scanning systems — a current overview. *Int J Comput Dent* 2015;18:101–129.
18. Patzelt SB, Lamprinos C, Stampf S, Att W. The time efficiency of intraoral scanners: an in vitro comparative study. *J Am Dent Ass* 2014;145:542–551.
19. Ting–Shu S, Jian S. Intraoral digital impression technique: a review. *J Prosthodont* 2015;24:313–321.
20. Abdel–Azim T, Zandinejad A, Metz M, Morton D. Maxillary and mandibular rehabilitation in the esthetic zone using a digital impression technique and CAD/CAM–fabricated prostheses: a multidisciplinary clinical report. *Oper Dent* 2015;40:350–356.
21. Tapie L, Lebon N, Mawussi B, Fron Chabouis H, Duret F, Attal JP. Understanding dental CAD/CAM for restorations — the digital workflow from a mechanical engineering viewpoint. *Int J Comput Dent* 2015;18:21–44.
22. Akyalcin S, Cozad BE, English JD, Colville CD, Laman S. Diagnostic accuracy of impression–free digital models. *Am J Othod Dentofcial Orthop* 2013;144:916–922.
23. Alghazzawi TF. Advancements in CAD/CAM technology: options for practical implementation. *J Prosthodont Res* 2016;60:72–84.
24. Kamm K, Kamm S. CAD/CAM: Unverzichtbare Technologie für Zahnärztliche Praxis und Dentallabor. In: Oemus TR (editor). *Jahrbuch digitale dentale Technologien* 2016, Oemus Media AG, Leipzig, 2016, 8–14.
25. Podhorsky A, Rehmann P, Wöstmann B. Tooth preparation for full–coverage restorations — a literature review. *Clin Oral Invest* 2015;19:959–968.
26. Alghazzawi T, Alsamadani K, Lemons J, Liu PR, Essig M, Bartolucci A. Effect of imaging powder and CAD/CAM stone types on the marginal gap of zirconia crowns. *J Am Dent Assoc* 2015;146:111–120.