

Virtual simulation system for prosthodontics. Part I

Sistemul de simulare virtuală pentru protetica dentară. Partea I

**Simona Andreea Sandu¹, Călin Dan Neamțu², Sorin Dan Grigorescu³,
Ionel Bujorel Păvăloiu³**

¹Universitatea de Medicină și Farmacie „Carol Davila”, București, România

²Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, România

³Universitatea Politehnică, București, România

ABSTRACT

Current computerized technologies introduced into dental prosthetics use 3D imaging, simulation systems, virtual reality. The virtual reality system, based on haptic technology, is a new instrument in the teaching process, still developing. The necessity to implement virtual reality technology has emerged from the fact that medical practice has been restricted to patients in recent years. Virtual reality systems have been introduced in order to practice certain clinical maneuvers and to acquire specific skills. Actual, virtual technology is at the stage where offers advanced simulations to users by combining visual and tactile response. The efficiency of e-learning platforms is increased when including virtual reality technologies. Thus, a new, interactive concept is introduced.

Keywords: prosthetics, e-learning, virtual reality

REZUMAT

Tehnologiile computerizate actuale, introduse în protetica dentară, folosesc imagistica 3D, sisteme de simulare, realitatea virtuală. Sistemul de realitate virtuală, bazat pe tehnologia haptică, reprezintă un instrument nou în procesul de predare, încă în curs de dezvoltare. Necesitatea implementării tehnologiei realității virtuale a reieșit din faptul că practica medicală a fost restrânsă pe pacienți în ultimii ani. Sistemele de realitate virtuală au fost introduse în scopul exersării anumitor manopere clinice și dobândirii manualității specifice. Actual, tehnologia virtuală este în stadiul în care oferă utilizatorului simulări avansate, prin combinarea răspunsului vizual cu cel tactil. Eficiența platformelor de e-learning este crescută atunci când înglobează tehnologiile realității virtuale. Astfel, este introdus un concept nou, interactiv.

Cuvinte cheie: protetică, realitate virtuală, e-learning

INTRODUCERE

Tehnologiile actuale, introduse în protetica dentară, folosesc imagistica 3D, sisteme de simulare, realitatea virtuală. Realitatea virtuală reprezintă o simulare electronică a unui mediu, care poate realiza interacțiunea cu utilizatorul în situații tridimensionale. Strategia simulării virtuale presupune corelația dintre conținutul științific, dotarea IT și simulatorul haptic (1).

Sistemul de realitate virtuală, având ca bază tehnologia haptică, este un instrument nou, încă în

curs de dezvoltare, în procesul de de predare și formare în protetica dentară. Necesitatea implementării tehnologiei realității virtuale a reieșit din faptul că practica medicală a fost restrânsă pe pacienți în ultimii ani. Sistemele de realitate virtuală au fost introduse în scopul exersării anumitor manopere clinice și dobândirii manualității specifice. Sistemele de simulare sunt programe interactive care simulează situațiile clinice reale în care studenții exersează manopere profesionale. Realitatea virtuală oferă evaluarea preparațiilor în timpul pregătirii

Corresponding author:

Conf. Dr. Simona Andreea Sandu

E-mail: dr_simonasandu@yahoo.com

Article History:

Received: 11 June 2017

Accepted: 28 June 2017

dinților, oferind un feedback adecvat. De asemenea, sistemul de simulare permite repetabilitatea manoperelor clinice, având ca rezultat dobândirea manualității. Diferența caracteristică între preparațiile virtuale și metodele tradiționale exersate pe modele din ghips sau plastic este că permite utilizatorilor să primească o forță feedback realistă asemănătoare cu practica pe dinții reali.

Preparațiile virtuale se obțin prin folosirea de către utilizator a dispozitivului haptic, care are ca reprezentare virtuală 3D, având modele de instrumentar dentar real și executând mișcări pe modele virtuale 3D ale dinților. Acestea substituie folosirea frezelor reale pe dinții pacienților (2, 3).

În funcție de procedura dentară simulată, feedback-ul simulatorului angajat este reprezentat de schimbările topologice ale structurii dintelui (smalt și dentină) sau forțe (senzații) în mâna utilizatorului. Senzațiile sunt similare cu cele resimțite de utilizator, atunci când execută aceeași procedură dentară pe un pacient.

Tehnologia realității virtuale a ajuns în stadiul de dezvoltare în care oferă utilizatorului simulări multimodale avansate (răspuns vizual combinat cu răspuns tactil). Astfel, sunt sensibil îmbunătățite atât senzația prezenței la nivelul utilizatorului în cadrul mediilor virtuale cât și interacțiunea dintre utilizator și mediul simulat.

Dispozitivul haptic atașat la computer permite obținerea de senzații tactile datorită interacțiunii cu calculatorul.

Diferențele dintre particularitățile componentelor simțului tactil sunt folosite în tehnologiile realității virtuale. În aplicații de realitate virtuală, sunt două tipuri de interfețe:

- a. Interfețe cu feedback-ul tactil, folosite pentru a explora suprafața de contact a unui obiect virtual;
- b. Interfețe cu force feedback, utilizate în aplicațiile în care forțele de contact sunt date în timpul interacțiunii utilizatorului.

Aceste tipuri de interfețe pot fi construite în mod independent sau pot fi combinate. Atunci când sunt combinate, acestea sunt denumite interfețe feedback haptic.

Simulatoarele dentare redau situații clinice reale datorită combinației dintre componenta vizuală (imaginea de pe monitor) și cea tactilă (senzația conferită de haptic). Aplicațiile în cadrul mediului

de simulare 3D se pot utiliza sincron (cu întreaga grupă de studenți) sau asincron, individual.

În medicina dentară, modelele de studiu sunt o parte esențială a înregistrărilor clinice. Modelele de ghips tradiționale sunt convertite în cadrul tehnologiilor digitale în modele virtuale, folosind imagistica 3D (4). Modelele 3D sunt un concept relativ nou de inovație. Prin urmare, folosirea modelelor virtuale ca resursă în procesul de predare este o metodă supusă analizei. În domeniul educației dentare, modelele virtuale nu au constituit o caracteristică extinsă a resurselor de predare și învățare în domeniul dentar. Transformarea modelelor solide în modele virtuale de predare și resurse de învățare are câteva avantaje. Studiul modelelor virtuale pe calculator, în 3D, conferă mobilitate și flexibilitate. Studenții vor avea acces individual la un set de modele virtuale. Nu în ultimul rând, prin crearea de resurse de învățare pe baza modelelor virtuale, utilizatorii vor dobândi experiență cu manipularea datelor dentare electronice de evidență.

METODE

Sistemul de simulare virtuală conceput pentru protetica dentară presupune interacțiunea utilizatorului cu un mediu virtual 3D folosind un dispozitiv haptic. Modelul propus simulează executarea manoperelor clinice pentru preparațiile dentare pe bază de șlefuire-reducere a țesuturilor dentare.

În cadrul proiectului de cercetare, aplicațiile dezvoltate necesită conectarea dispozitivelor haptice cu stațiile grafice achiziționate. S-au creat două unități de lucru în mediul virtual, compuse din dispozitivul haptic Geomagic Touch și stațiile grafice Fujitsu.

Dispozitivul haptic Geomagic Touch

Dispozitivul haptic Geomagic Touch beneficiază de force-feedback (Fig. 1).



FIGURA 1. Dispozitivul haptic Geomagic Touch

Aceasta conferă interacțiunea dintre instrumentele virtuale coordonate de utilizator și țesuturile dentare virtuale cu care acesta intră în contact. Dispozitivul haptic Geomagic Touch permite interacțiunea cu realitatea virtuală prin atingerea, modificarea sau manipularea obiectelor virtuale. Acest lucru este posibil datorită tehnologiei force-feedback (Fig. 2).

Prin simularea torsiunii combinată cu efecte de force feedback este posibil să se simtă forțe de coliziune și reacțiune precum și cele de răsucire a unei componente dintr-un sistem mecanic virtual sau unul real în cazul unui braț de robot comandat de la distanță.

Dispozitivul haptic portabil Geomagic Touch are următoarele specificații:

- design ergonomic;
- include software cu specificații, printre care: navigare 3D cu atingere și force feedback la aplicațiile create. Platforma are la bază API OpenGL®.

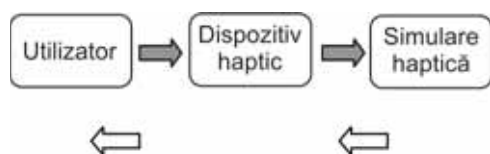


FIGURA 2. Interacțiunea utilizator și simulare haptică

Stațiile grafice Fujitsu

Calitatea și performanța de redare grafică într-o simulare virtuală sunt cele mai importante criterii care determină realismul simulării.

Stațiile grafice Fujitsu suportă creativitatea, simularea și vizualizarea la un nivel profesional ridicat. Sunt utilizate în diverse domenii, cum ar fi CAD, CAE, AEC, Oil & Gas, HPC sau în domeniul medical. Selecția de procesoare, hard discuri și car-

duri grafice profesionale conferă o fiabilitate mărită, performanță și posibilitatea de upgrade la o capacitate de memorie semnificativ mărită față de stațiile de lucru obișnuite. SATA (Serial Advanced Technology Attachment) este tehnologia standard pentru conectare și transferul datelor din driverele hard discurilor la sistemul computerului.

Monitorul 3D Fujitsu permite utilizatorilor aplicații 3D, din domeniul graficii asistate de calculator, care utilizează programe solicitante, precum CAD/CAE, simulatoare medicale sau sisteme de procesare a datelor.

Ochelarii 3D permit vizualizarea imaginilor tridimensionale și sunt clasificați în funcție de principiul de redare a imaginii. Ochelarii 3D Fujitsu au ca principiu de funcționare polarizarea lentilelor, care se poate realiza linear sau circular, în funcție de sistemul care redă conținutul 3D. Polarizarea este realizată de tehnologia pasivă 3D, astfel încât dispozitivul de afișare 3D rulează simultan imaginile corespunzătoare celor doi ochi, pentru ca să fie recepționate diferențiat de lentilele ochelarilor. Calitatea vizualizării 3D este foarte bună. Sunt compatibile cu tehnologia 3D specific implementată atât pe sistemul de redare (stație grafică) cât și pe cel de vizualizare (monitor 3D).

Modelele 3D

Modelele 3D au fost create pentru a fi utilizate în softul de protetică dentară în exemplificarea diferitelor tipuri de manopere specifice acestui domeniu (Fig. 3). Pentru a replica în mediul virtual o serie de studii de caz reale și reprezentative s-a ales metoda de digitizare – scanarea laser.

Scanarea laser 3D reprezintă procesul de copiere sau reprezentare digitală a geometriei obiectelor solide folosind laserul (5).



FIGURA 3. Modele 3D vs. modele din ghips

Modelele 3D, care vor fi utilizate în aplicația dezvoltată, s-au obținut urmând pașii prezenți mai jos:

1. obținerea modelului dentar real al unui caz reprezentativ se face utilizând instrumente specifice;

2. scanarea modelului dentar utilizând un scanner cu lumina structurată cu o precizie de aproximativ 50 μm;

3. procesarea primară a scanării presupune filtrarea și îndepărtarea punctelor scanate în aer sau pe suportul amprenteii reale și generarea mesh-ului 3D;

4. conversia mesh-ului în suprafață s-a realizat în Catia V5. În prima fază, mesh-ul a fost filtrat și omogenizat. În a doua etapă, a fost convertit în suprafață cu o deviație maximă de 0,01 mm;

5. suprafața a fost convertită în corp solid. Acest lucru este necesar pentru simularea îndepărtării straturilor în aplicația dezvoltată;

6. prin operații specifice softurilor CAD se creează mai multe straturi la care se vor defini densități diferite, acestea vor fi „simțite“ diferit cu dispozitivul haptic de către cursanți;

7. operația de texturare are rolul de a crea un efect foto realist pentru modelul 3D.

Factorii care condiționează simularea virtuală

Șlefuirea dintelui este o manoperă clinică omniprezentă în protetica dentară. Acest proces implică procedeul de șlefuire cu ajutorul frezelor de turbină, pentru a modifica forma dintelui. În timpul acestei manopere, dacă se aplică prea multă forță, va crește rata de generare de căldură și, prin urmare, deteriorarea țesuturilor dentare, în timp ce prea puțină forță poate prelungi procedura de tratament, devenind dureroasă pentru pacient. Prin urmare, senzația tactilă este foarte importantă pentru preparațiile dentare. În timpul șlefuirii, forța de feedback este generată de forța de interacțiune dintre dinte și freza dentară de turbină. Factorii care influențează forța de șlefuire sunt forma frezei, comportamentul piesei de mână, secțiunea dentară diferită (smalț sau dentină) și mediul înconjurător (6). Dintele este static, iar freza dentară face mișcări de rotație și de translație. Forțele diferite care acționează sunt calculate utilizând cuplarea virtuală ca să se păstreze stabilitatea. Forța de feedback trebuie să fie în concordanță cu forța reală de șlefuire.

Aceste principii aplicate în cazul șlefuirii dintelui sunt transpuse în mediul virtual de simulare. Dispozitivul haptic generează o forță de feedback tactil, asemănătoare cu cea resimțită la șlefuirea diferențiată a smalțului și dentinei. Aceste metode sunt implementate în sistemul virtual de pregătire.

Realitatea unui mediu de simulare având și efect de feedback depinde de mai mulți factori, printre care calitatea modelelor 3D, realitatea forțelor de feedback. Pentru acuratețea simulării se ține cont de: datele și structura dintelui care urmează să fie simulat, proprietățile biomecanice, modelul utilizat pentru a evalua forțele pentru feedback (7).

Din punct de vedere al structurii dintelui, pregătirile menționate abordează țesuturile dentare, smalțul și dentina. Pentru aplicația virtuală este concludentă diferența de duritate a acestora. Smalțul, cu o grosime de 2 mm, care acoperă dentina, este țesutul cel mai dur din corpul uman, mai dur decât țesutul osos. Dentina este elastică și compresibilă, în contrast cu natura predispusă la fisurare a smalțului.

Studiile din literatura de specialitate, referitoare la proprietățile biomecanice ale dintelui, se axează pe modulul de elasticitate și pe duritatea acestuia. Publicațiile relevă faptul că proprietățile biomecanice ale dintelui variază individual, raportat la vârsta pacientului, în funcție de stratul de smalț sau dentină.

Proprietățile biomecanice ale unei structuri pe care se intervine influențează forțele de palpate (atingere) și de șlefuire. În literatura de specialitate, studiile prezintă câteva aspecte (8). Modulul de elasticitate și coeficientul de amortizare al structurii sunt proprietățile care afectează forța în timpul palpării. Modulul de elasticitate reprezintă cantitatea de stres care ar trebui să fie aplicată pentru a crea o unitate de sollicitare într-un material. Este independent de geometria materialului, în timp ce constanta de rigiditate se calculează folosind lungimea, suprafața secțiunii transversale și modulul de elasticitate. Coeficientul de amortizare al structurii este dat de forța de frecare a materialului asupra vitezei de elongație a unității.

Există studii care implementează operația de șlefuire prin utilizarea dispozitivului haptic (9). Astfel, a fost stabilit un model matematic al principalilor parametri, care includ diametrul, viteza de rotație a instrumentarului (uzual freza sferică),

zona de contact cu dintele a instrumentarului și grosimea stratului șlefuit. Prin folosirea acestui model matematic, care a fost testat prin experimente, s-a stabilit o relație între factorii de mai sus și forța de șlefuire. Pe lângă acești factori, stratul dentar asupra căruia se intervine (smalț sau dentină) și tipul de instrumentar sunt de asemenea luate în considerare. Diferențele biomecanice ale straturilor de smalț și dentină și efectul acestor diferențe asupra dispozitivului haptic sunt esențiale în realizarea unei simulări virtuale.

Provocarea în simulările virtuale este de a obține forțe realiste prin utilizarea dispozitivelor haptice. Totuși, există unele restricții de hardware, cum ar fi rigiditatea maximă, forța maximă pe care o pot furniza dispozitivele haptice.

În literatura de specialitate, forțele haptice au fost evaluate. Ideea principală a metodei puse în aplicare depinde de redarea a două instrumente separate, instrumentul fizic și instrumentul virtual (10). Orientarea și poziția instrumentului fizic sunt setate identic cu poziția și orientarea dispozitivului haptic. Utilizatorul simte o forță de contact proporțională cu distanța dintre instrumentul fizic și cel virtual, în timp ce instrumentul virtual este redat pe suprafața dintelui. Poziția și orientarea instrumentului virtual sunt setate identic cu poziția și orientarea instrumentului fizic, dacă nu există nici o coliziune între instrumentul virtual și dinte. În caz de coliziune, primul punct de contact al instrumentului virtual cu dintele este etichetat pentru a fi utilizat pentru actualizarea poziției instrumentului virtual.

Tehnologia haptică permite simularea forțelor de interacțiune (force-feedback), dar este limitată din punct de vedere al realizării feedback-ului tactil. Totuși este posibilă redarea proprietăților de suprafață a obiectelor rigide prin folosirea texturilor și a proprietăților de deformare ale obiectelor prin folosirea unor funcții specifice.

Librăria OpenHaptics a fost utilizată pentru simularea virtuală (11). Toolkit-ul OpenHaptics conceput de compania Sensable (SenseAble, 2014), actual 3D Systems, include interfața QuickHaptics, interfața dispozitivului haptic (HD-API), interfața bibliotecii haptice (HL-API), utilități, drivere pentru dispozitivul Geomagic Touch. Biblioteca suportă atât sistemul Windows cât și mediile Linux.

Modelul 3D cu două straturi solide utilizat la testarea modului de lucru cu dispozitivul haptic este prezentat în Fig. 4.

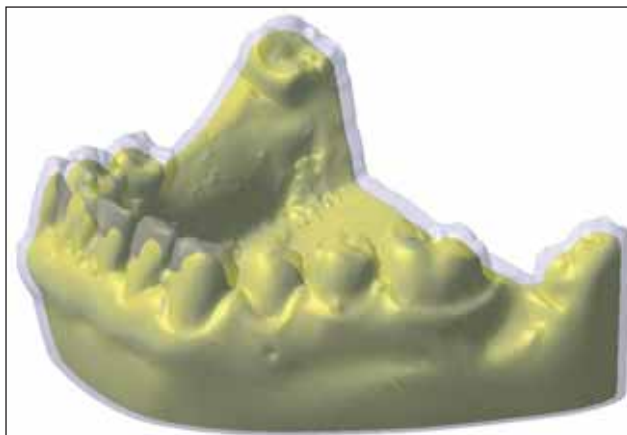


FIGURA 4. Model 3D solid după o amprentă dentară

Pentru soluția software s-au testat două scenarii: una cu manechin și una fără (Fig. 5). Redarea grafică a fost realizată cu ajutorul bibliotecii Open GL a dispozitivului haptic.

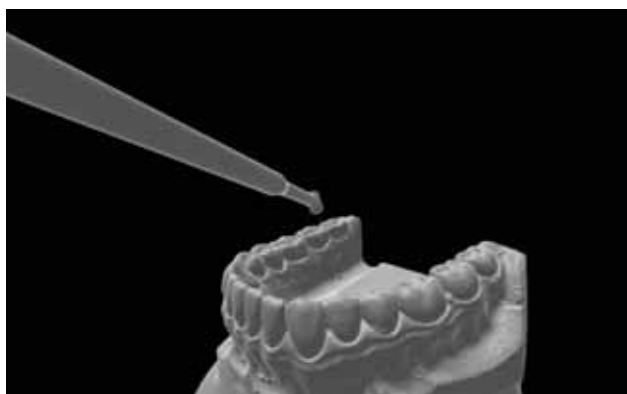


FIGURA 5. Scenariile luate în calcul la dezvoltarea aplicației – prima variantă

În cadrul soluției propuse, utilizatorul beneficiază de dispozitivele de interacțiune: hapticul Geomagic Touch, tastatură, mouse. Acestea materializează acțiunile permise utilizatorului și realizarea lor în cadrul mediului simulat. În particular, redarea simțului tactil va fi realizată prin implementarea unei forțe de reacție care va fi transmisă și simțită de utilizator prin intermediul creionului dispozitivului haptic. Preparațiile dentare simulate sunt specifice proteticii dentare.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Tehnologia computerizată, prin e-learning, a schimbat modul utilizatorilor de a accesa informa-

ții. Tehnologiile realității virtuale pot fi înglobate în sistemul de e-learning, determinând creșterea impactului acestora. Integrarea tehnologiei în practica medicală academică depinde și de măsura în care aceasta contribuie la generarea de cunoștințe. În cadrul majorității sistemelor de simulare bazate pe tehnologia realității virtuale, problematica referitoare la protetica dentară este foarte puțin sau aproape deloc abordată.

Introducerea tehnologiei de realitate virtuală în platforma de e-learning este o abordare inovativă, fiind concepută pentru protetica dentară.

Manoperele clinice specifice pot fi învățate datorită posibilităților de repetare și autoevaluare, având ca scop dobândirea manualității. Preparațiile virtuale se efectuează fără a produce prejudicii pacienților. Experiența de învățare este realistă, datorită utilizării tehnologiei haptice, fiind supusă unui proces continuu de perfecționare.

CONCLUZII

Sistemul de realitate virtuală pentru protetica dentară a fost conceput ca un instrument de învățare și exersare a unor manopere clinice uzuale, complementar cursurilor și stagiilor universitare. Acesta beneficiază de un program interactiv și se înscrie în tendințele actuale întâlnite la universități de prestigiu, la care aceste sisteme sunt introduse în curriculum.

Acknowledgements

Acest articol a fost realizat în cadrul programului de cercetare PN II - PCCA, intitulat "Platformă virtuală de e-learning bazată pe aplicații 3D, utilizabilă în protetica dentară".

Conflict of interest: none declared

BIBLIOGRAFIE

1. Sandu Simona Andreea, Neamțu C.D., Grigorescu S.D., Bănică C. K., Babiuc Iuliana, Bisoc Adriana, Constantinovici A., Utilizarea tehnologiei de realitate virtuală în protetica dentară. Revista Română de Stomatologie, Nr. 2, Vol. LXI, 2015, ISSN 1843-0805
2. Pavaloiu I.B., Ioaniteșcu R., Dragoi G., Grigorescu S., Sandu Simona Andreea, Virtual reality for education and training in dentistry, the 12th International Scientific Conference e-learning and software for education, Bucharest, April 21-22, 2016 10.12753/2066-026x-16-052
3. Pavaloiu I.B., Sandu S.A., Grigorescu S., Dragoi G., Inexpensive dentistry training using virtual reality tools, Proceedings of inted2016 Conference 7th-9th March 2016, Valencia, Spain ISBN: 978-84-608-5617-7
4. Brusco N., Andreetto M., Lucchese L., Carmignato S. and Cortelazzo G.M. (2007). Metrological validation for 3D modeling of dental plaster casts. Medical Engineering and Physics Volume: 29 Issue: (9) Pages: 954-966 ISSN: 13504533 (ISSN).
5. Hayashi K., Sachdeva A.U.C., Saitoh S., Lee S. P., Kubota T., Mizoguchi I. (2013). Assessment of the accuracy and reliability of new 3-dimensional scanning devices. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics Volume: 144 Issue: (4) Pages: 619-625 ISSN: 08895406 (ISSN).
6. Jafar Usman A.M., Andonissamy L., Elsirint Asim, Boon Of Virtual Reality And Its Applications As An Educational Tool In Dentistry: A Review, *Int J Pharm* 2015; 5(3):680-684
7. Liu G., Zhang Y. and Wang D. (2005). Cutting Force Model of Dental Training System. In Proceeding of IEEE IROS 2005, 925-929.
8. Ostwald P.F., Munoz J. Manufacturing Processes and Systems. pp 270-330. (1997)
9. Balijepalli A., Kesavadas T. (2003). A Haptic Based Virtual Grinding Tool, IEEE Virtual Reality Symposium 2003, March 22-26, Los Angeles, CA.
10. Ho C., Basdogan C., Srinivasan M.A. (1999). An Efficient Haptic Rendering Technique for Displaying 3D Polyhedral Objects and Their Surface Details in Virtual Environments, October'99 Vol. 8, No. 5, pp. 477-491, Presence: Teleoperators and Virtual Environments, MIT Press.
11. <http://www.sensable.com/products-openhaptics-toolkit.htm>