

# ROLUL ARTICULATORULUI VIRTUAL ÎN STUDIUL OCLUZIEI DENTARE

## *The role of virtual articulators in dental occlusion analysis*

Drd. Oana Cristina Chirilă, Prof. Dr. Alexandru Eugen Petre, Prof. Dr. Mihaela Rodica Păuna  
Universitatea de Medicina și Farmacie „Carol Davila”, București

### REZUMAT

Astăzi, realitatea virtuală are un spectru larg de aplicații în domenii variate, precum arhitectură, sport, arte sau medicină. Una dintre aplicațiile realității virtuale în medicină este reprezentată de articulatorul virtual, un instrument digital ce a fost gândit ca echipament de analiză complexă a relațiilor ocluzale statice și dinamice, cu scopul de a substitui utilizarea articuloarelor mecanice și a evita erorile ce le implică utilizarea acestora.

Lucrarea de față este o sinteză sistematică a literaturii de specialitate cu privire la studiile publicate despre viabilitatea articuloarelor virtuale în redarea și studiul relațiilor ocluzale. Identificarea electronică a articuloarelor s-a realizat folosind o combinație de cuvinte cheie cu ajutorul motoarelor de căutare ale Pubmed/Medline și ScienceDirect.

Majoritatea studiilor identificate arată că reproducerea contactelor ocluzale la nivelul articuloarelor virtuale, atât în statică sau dinamică, este superioară sau cel puțin similară fidelității cu care acestea sunt identificate prin tehnici convenționale.

**Cuvinte cheie:** articulator virtual, ocluzie virtuală, ocluzie statică, ocluzie dinamică

### ABSTRACT

Today, virtual reality has a broad spectrum of applications in fields as diverse as architecture, sports, arts or medicine. One of the applications of virtual reality in medicine is the virtual articulator, a digital instrument that was designed as a tool for comprehensive analysis of static and dynamic occlusal relations, the purpose being to substitute the use of mechanical articulators and consequently, of the mechanical errors involved by their use.

This paper is a systematic review of the literature on published studies about the functionality and application of the virtual articulators in the analysis of dental occlusion. An electronic search was conducted based on a combination of keywords, using the search engines of Pubmed/Medline and ScienceDirect.

Most of the identified studies show that the reproduction of occlusal contacts using virtual articulators has superior, or at least similar, fidelity compared to the conventional techniques, both in static or dynamic manners.

**Keywords:** virtual articulator, virtual occlusion, static occlusion, dynamic occlusion

### INTRODUCERE

Conform „Glosarului de termeni protetici“, articulatorul dentar este definit astfel: „*un instrument mecanic ce reprezintă articulația temporomandibulară, la nivelul căreia se atașează modelele maxilare și mandibulare pentru a simula o parte sau toată gama de mișcări mandibulare*“ (1).

Articuloarele sunt folosite de peste 100 de ani în medicina dentară, servind drept dispozitive de simulare a condițiilor articulare și ocluzale, atât pentru medici, cât și pentru tehnicienii dentari în

cursul diferitelor etape de diagnostic și tratament. Conceptele legate de articuloare au suferit schimbări de-a lungul timpului, acestea variind de la articuloare neadaptabile, articuloare cu valori medii, la articuloare semi-adaptabile sau complet adaptabile, până la articuloarele virtuale de astăzi (2).

În paralel cu evoluția articuloarelor, s-a produs și evoluția și integrarea tehnologiilor de realitate virtuală în stomatologie. Realitatea virtuală (*Virtual reality*) „se referă la un sistem de metode, con-

Autor corespondent:

Drd. Oana Cristina Chirilă, Universitatea de Medicina și Farmacie „Carol Davila”, Str. Dionisie Lupu nr. 37, București  
E-mail: oanapopa87@gmail.com

cepte și tehnici care se utilizează la elaborarea și construirea de produse software în scopul utilizării lor prin intermediul unor sisteme de calcul moderne (calculatoare și echipamente speciale)“. Acestea oferă modalitatea prin care calculatorul și echipamentele specifice modifică modul în care omul percepe realitatea din mediul natural, prin simularea unei alte realități (3).

Una dintre aplicațiile realității virtuale în medicină este reprezentată de tehnologiile de design computerizat (CAD – computer aided design). Recent, s-au înregistrat îmbunătățiri tehnologice considerabile în ceea ce privește tehnologia CAD/CAM, printre care dezvoltarea de noi materiale, implementarea articulatorului virtual, îmbunătățirea metodelor de scanare și frezare sau imprimarea tridimensională (4). Se consideră că implementarea articulatorului virtual în medicina dentară va crește calitatea procesului de învățare și va crea condiții de pregătire superioare prin capacitatea de simulare a situațiilor clinice complexe și facilitarea accesului la instrumente a căror utilizare este de obicei limitată, precum articuloarele mecanice (5).

Scopul principal al utilizării articuloarelor dentare este însă reprezentat de obținerea de lucrări protetice superioare din punct de vedere al morfologiei sau de analiză funcțională a ocluziei naturale sau artificiale a pacientului. În acest sens, acuratețea cu care sunt reproduse contactele ocluzale atât în pozițiile statice, cât și în dinamică, la nivelul modelelor de lucru montate în articulatorul virtual este un factor esențial. Mai mult, în folosirea unui articulator analog clinicianul nu poate corela particularitățile contactelor ocluzale cu momentul și succesiunea cu care intervin acestea. Cu mai bine de 10 ani în urmă, Szentpetery descria o metodă de adaptare ocluzală computerizată a suprafețelor ocluzale digitale prin folosirea unui articulator virtual complet ajustabil, obținut prin simulare matematică, metoda pe care o consideră o „profilaxie pasivă împotriva disfuncției cranio-mandibulare“ (6).

## SCOP

Scopul acestei lucrări a fost de a analiza literatura de specialitate pentru a identifica articole pertinente ce analizează aplicabilitatea și acuratețea articuloarelor virtuale în raport cu ocluzia dentară.

## MATERIAL ȘI METODĂ

Această analiză sistematică a literaturii („systematic review“) a fost condusă în concordanță cu Ghidul PRISMA (Preferred Reporting Items for

Systematic Reviews and Meta-Analysis) pentru îmbunătățirea calității studiilor sistematice ale literaturii (7).

Întrebarea PICO (Pacient – Intervention – Control – Outcome) pentru această lucrare a fost: „reprezintă utilizarea articuloarelor virtuale o metodă obiectivă de analiză și reproducere a ocluziei dentare?“. S-a realizat o căutare sistematică în următoarele baze de date: Medline și ScienceDirect și au fost vizate studiile publicate de la data de 1 ianuarie 1997 până în prezent. Ulterior căutării electronice, s-a efectuat o căutare manuală în sursele bibliografice ale articolelor selectate, în scopul identificării de studii suplimentare pertinente. Formula de căutare folosită a fost: „virtual articulator“ (articulator virtual) în asociere cu „virtual occlusion“ (ocluzie virtuală). Listele bibliografice obținute au fost prelucrate, iar studiile în duplicat au fost eliminate folosind programul de management al referințelor Mendeley Desktop (Versiunea 1.17.8, Mendeley Ltd.).

Căutarea electronică a fost realizată într-un mod sistematic pe parcursul a trei etape: trecerea în revistă a titlurilor, rezumatelor și a articolelor complete. În prima etapă, au fost obținute listele cu articolele în urma căutării electronice și a referințelor bibliografice. În etapa a doua, analizatorul a parcurs rezumatele articolelor selectate în prima etapă. În cazurile în care nu s-a putut lua o hotărâre în urma analizei rezumatului, studiul a fost inclus în etapa trei de analiză a articolelor complete. Astfel, în ultima etapă au fost evaluate articolele cu textul integral și au fost extrase datele ce reprezentau interese.

Criteriile de includere în studiu au presupus: (1) studii redactate în limba engleză, (2) studii ce conțineau informații despre aplicabilitatea articuloarelor virtuale în analiza ocluziei dentare, (3) studii ce cuprindeau comparații ale ocluziei virtuale în raport cu ocluzia reală a pacientului sau a ocluziei înregistrare la nivelul modelelor de studiu montate în articuloare mecanice, (4) studii despre metodele de înregistrare a ocluziei compatibile cu articuloarele virtuale.

## REZULTATE ȘI DISCUȚII

În prima etapă, după îndepărtarea articolelor duplicate a fost obținută o listă cu 196 de articole în format titlu și rezumat. Dintre acestea au fost selectate 39 de studii, conform criteriilor stabilite, ce au fost analizate în format integral. În urma acestui proces, au fost selectate 10 articole pentru a fi incluse în analiza de literatură (Fig. 1).

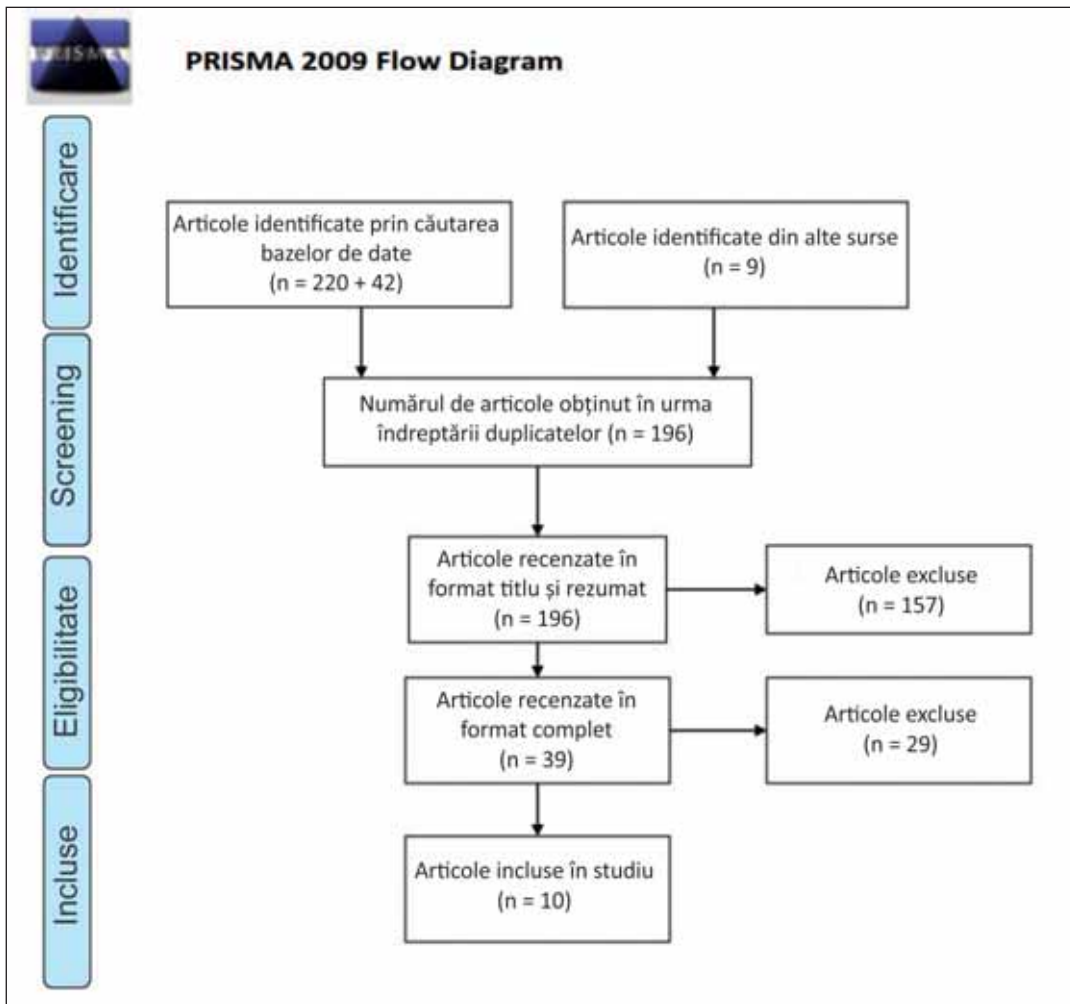


FIGURA 1. Procesul de identificare a articolelor conform Ghidului PRISMA (7)

Studiile privind precizia cu care sunt reproduse contactele ocluzale de către articuloarele virtuale sunt promițătoare. Unul dintre primele studii de acest fel realizează o analiză comparativă a contactelor dento-dentare înregistrare în cursul mișcărilor de lateralitate la articulaturul virtual DentCAM în raport cu un articulatur mecanic, numărul și localizarea contactelor obținute fiind foarte apropiat (8). Alt studiu, de data aceasta *in vitro*, ce analizează acuratețea contactelor ocluzale a unui sistem virtual de simulare a mișcărilor cranio-faciale găsește valori medii absolute ale distanțelor dintre contactele simulate virtual și cele de la referință de  $0,18 \pm 0,005$  mm (9). Maruyana și colab. testează un articulatur virtual semi-adaptabil experimental prin generarea unei coroane de acoperire la nivelul unui molar inferior și precizia redării contactelor ocluzale în intercuspitate maximă, propulsie și lateralitate. Rezultatele experimentului arată, de asemenea, că metodele de articulatur virtuală generează contacte dento-dentare mai precise decât metodele convenționale atât în poziții statice, cât și în cursul simulării mișcărilor excentrice ale mandibulei (10).

Un studiu al Stavness și colab. ce combină înregistrarea digitală a arcadelor și platforma Artisynth în scopul simulării dinamicii ocluzale arată că contactele dento-dentare dintre modelele virtuale simulate prin amprenta optică și simulare matematică corespund contactelor înregistrate prin transiluminarea amprentelor interocluzele (11).

Asemănător, DeLong compară dispunerea contactelor ocluzale la nivelul modelelor virtuale în comparație cu contactele ocluzale înregistrate la modele de studiu montate într-un articulatur mecanic semiadaptabil Denar. Acesta concluzionează că, în pofida limitelor studiului, contactele ocluzale obținute la nivelul modelelor virtuale reproduc obiectiv contactele înregistrate la nivelul articulaturului mecanic (12). Mai mult, în cadrul unui alt studiu ce vizează acuratețea contactelor ocluzale obținute în urma captării de imagini tridimensionale, acesta concluzionează că modelele virtuale prezintă o dispunere a contactelor ocluzale similară cu cele obținute prin transiluminarea înregistrărilor ocluzale, considerată drept standardul de aur în identificarea ocluziei de referință (13). Solaberrieta

și colab. analizează acuratețea contactelor ocluzale obținute la nivelul modelelor dentare digitalizate prin intermediul unui scanner industrial tridimensional (ATOS Compact Scan 5M; GOM GmbH) și a trei software-uri de inginerie inversă (reverse engineering) și concluzionează că ocluzia virtuală este mai precisă decât cea obținută prin tehnici fizice, deviația medie în cazul modelelor virtuale față de referință fiind de 69  $\mu\text{m}$  și deviația standard de 0,011  $\mu\text{m}$  pentru toate zonele de contact ocluzal identificate (14). De asemenea, studiul lor arată că există diferențe între dispunerea contactelor ocluzale pentru aceleași modele și aceleași înregistrări ocluzale digitale, în funcție de software-ul de prelucrare în care sunt importate și analizate.

Într-un articol recent, publicat în *Jurnalul Academiei Americane de Protetică Dentară*, Arslan și colab. analizează acuratețea cu care sistemele de design computerizat (CAD) sunt capabile să reproducă numărul de contacte ocluzale în intercuspida-re maximă, incluzând în studiul lor și situațiile în care dinții laterali sunt preparați. Aceștia concluzionează că în cazul amprentelor optice de hemiarca-dă, contactele ocluzale sunt mai puțin precis identificate la nivelul modelului virtual în comparație cu pattern-ul contactelor ocluzale identificate la nivelul modelelor de gips. Având în vedere rezultatul experimentelor, autorul recomandă ca în situațiile în care în zona laterală în urma preparațiilor dinților nu sunt păstrate contacte dento-dentare cu antagoniștii, să se realizeze amprente digitale ale întregii arcade. De asemenea, ar fi oportună o amprentă optică a cheii vestibulare de ocluzie înaintea preparării dinților în vederea tratamentului protetic, rezultând o mai mare congruență între contactele ocluzale obținute în mediul virtual sau prin montare în articuloare mecanice (15).

O abordare diferită este întâlnită într-un studiu publicat de Abduo și colab., ce are ca scop realizarea unei comparații între modelarea diagnostică în ceară (*wax-up*) prin tehnică convențională și digitală din punct de vedere al caracteristicilor contactelor ocluzale. Astfel, aceștia trag concluzia că între cele două tipuri de *wax-up* există niște variații între suprafața ocluzală de contact și numărul contactelor dentare, dar că rezultatele obținute sunt similare. În ceea ce privește acuratețea, experimentele arată că *wax-up*-ul digital prezintă o acuratețe mai redusă decât *wax-up*-ul convențional, și că sunt ne-

cesare investigații suplimentare în vederea identificării implicațiilor clinice ale acestor aspecte (16).

Precizia cu care articuloarele virtuale redau situația ocluzală a pacientului este influențată și de precizia metodelor de înregistrare și transfer a situației clinice a pacientului. Momentan, cea mai întrebuintată metodă este reprezentată de digitalizarea modelelor montate într-un articulator mecanic, care implică mai multe etape de lucru ce pot implica erori. Cercetările se concentrează pe găsirea de soluții mai rapide, precise, reproductibile, digitale de înregistrare a situației ocluzale a pacientului. Astfel, studiile privind capacitatea de replicare a contactelor ocluzale a modelelor de studiu montate în urma înregistrărilor realizate cu arc facial virtual arată că montările realizate în urma înregistrărilor virtuale reproduc în 89,47% dintre cazuri ocluzia pacientului. În paralel, montările obținute în urma înregistrărilor cu arc facial analog reproduc ocluzia inițială în proporție de doar 46,14% (17). Mai mult, implementarea arcului facial virtual este mai rapidă, confortabilă și implică costuri mai reduse (17). Alt studiu măsoară abaterea obținută la nivel ocluzal în urma folosirii unui arc facial virtual și găsește o valoare medie de 0,752 mm $\pm$ 0,456 mm, deviație ce satisface nevoia de precizie, dar doar în cazul tratamentelor ortodontice (18).

Legat de metodele de înregistrare a ocluziei, o comparație între înregistrările virtuale și convenționale arată că acuratețea ocluziei virtuale este mai mare decât în cazul metodelor de înregistrare tradiționale, înregistrându-se o deviație medie față de referința de 0,069 mm, aceasta fiind considerată abatere clinică acceptabilă (14).

## CONCLUZII

Majoritatea studiilor identificate arată că reproducerea contactelor ocluzale la nivelul articuloarelor virtuale, atât în statică sau dinamică, este superioară sau similară fidelității cu care acestea sunt identificate prin tehnici convenționale. Mai mult, metodele de înregistrare și transfer digitale a ocluziei dentare asociate corespund din punct de vedere al preciziei și viabilității. Sunt totuși oportune studiile viitoare pe această temă, având în vedere ritmul accelerat cu care intervin schimbările în materie de software-uri, instrumente digitale și realitate virtuală.

## BIBLIOGRAFIE

1. The glossary of prosthodontic terms. Vol. 94, The Journal of prosthetic dentistry. United States; 2005. p. 10–92.
2. **Hall E.R.** The problem of the articulator (Balanced Occlusion). *J Am Dent Assoc.* 1934; 21:446–62.
3. **Vlada M PM.** Realitatea virtuala, tehnologie aplicata a informaticii moderne. In: Conferinta nationala de invatamant virtual.
4. **Alghazzawi T.F.** Advancements in CAD/CAM technology: Options for practical implementation. *J Prosthodont Res* [Internet]. 2016; 60(2):72–84. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1883195816000098>
5. **Kordaß B., Gärtner C.** The virtual articulator—concept and development of VR-tools to analyse the dysfunction of dental occlusion. *Int Congr Ser* [Internet]. 2001;1230:689–94. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0531513101001121>
6. **Szentpetery A.** Computer-aided Dynamic Correction of Digitized Occlusal Surfaces. *J Gnatology.* 1997; 16(1):53–60.
7. **Moher D., Liberati A., Tetzlaff J., Altman D.G.** Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Med.* 2009 Jul; 6(7):e1000097.
8. **Kordaß B., Gärtner C., Söhnel A., Bisler A., Voß G., Bockholt U., et al.** The virtual articulator in dentistry: concept and development. *Dent Clin North Am* [Internet]. 2002; 46(3):493–506. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001185320200006X>
9. **Chen L., Zhang H., Feng H., Zhang C., Zhang F.** [The accuracy of occlusal simulation of virtual craniofacial movement simulation system]. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi.* 2010 Feb; 45(2):98–101.
10. **Maruyama T., Nakamura Y., Hayashi T., Kato K.** Computer-aided determination of occlusal contact points for dental 3-D CAD. *Med Biol Eng Comput.* 2006 May; 44(5):445–50.
11. **Stavness I.K., Hannam A.G., Tobias D.L., Zhang X.** Simulation of dental collisions and occlusal dynamics in the virtual environment. *J Oral Rehabil* [Internet]. 2016;43(4):269–78. Available from: <http://dx.doi.org/10.1111/joor.12374>
12. **DeLong R., Ko C.C., Anderson G.C., Hodges J.S., Douglas W.H.** Comparing maximum intercuspal contacts of virtual dental patients and mounted dental casts. *J Prosthet Dent* [Internet]. 2002; 88(6):622–30. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022391302002986>
13. **DeLong R., Knorr S., Anderson G.C., Hodges J., Pintado M.R.** Accuracy of contacts calculated from 3D images of occlusal surfaces. *J Dent.* 2007 Jun; 35(6):528–34.
14. **Solaberrieta E., Otegi J.R., Goicoechea N., Brizuela A., Pradies G.** Comparison of a conventional and virtual occlusal record. *J Prosthet Dent* [Internet]. 2015;114(1):92–7. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022391315000426>
15. **Arslan Y., Bankoglu Gungor M., Karakoca Nemli S., Kokdogan Boyaci B., Aydin C.** Comparison of Maximum Intercuspal Contacts of Articulated Casts and Virtual Casts Requiring Posterior Fixed Partial Dentures. *J Prosthodont.* 2016 Feb;
16. **Abduo J., Bennamoun M., Tennant M., McGeachie J.** Effect of prosthodontic planning on intercuspal occlusal contacts: Comparison of digital and conventional planning. *Comput Biol Med* [Internet]. 2015;60:143–50. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010482515000852>
17. **Kalman L., Chrapka J., Joseph Y.** Digitizing the Facebow: A Clinician/Technician Communication Tool. *Int J Prosthodont.* 2016; 29(1):35–7.
18. **Solaberrieta E., Minguez R., Barrenetxea L., Otegi J.R., Szentpetery A.** Comparison of the accuracy of a 3-dimensional virtual method and the conventional method for transferring the maxillary cast to a virtual articulator. *J Prosthet Dent.* 2015 Mar; 113(3):191–7.