

Ion P tra cu Bogdan Mihai G l bina u

Catedra de Tehnologia Protezelor și Materiale Dentare, Facultatea de Medicină Dentară,  
Universitatea de Medicină și Farmacie „Carol Davila”, București, România

**ABSTRACT**

Implant osseointegration has not been accepted over time, considering that in fact the implant integration is performed only in the soft tissue of the host. For this reason, the implant has never been sufficiently integrated into the host tissue immediately after insertion. Experiments performed in Branemark laboratories in the early 1960s, with a new type of implant, which required a direct anchorage to bone tissue for clinical function, this anchorage was called osseointegration. It has been shown that it is possible to achieve direct osseointegration if the Branemark method is considered, which was published a few years later in the first clinical report. The authors of this article come up with new contributions that validate the implant osseointegration process. Inside this article we present our methodology for evaluating the osseointegration of endosseous implants: ESEM (environmental scanning electron microscope) studies of the implant-bone tissue interface.

**Keywords:** dental implant, biocompatibility, environmental scanning electron microscope (ESEM), bone integration

**REZUMAT**

Osteointegrarea implantară nu a fost acceptată de-a lungul timpului, considerându-se că, de fapt, integrarea implantului se realizează doar în țesutul moale al gazdei. Din acest motiv, implantul nu a fost niciodată integrat îndeajuns în țesutul gazdei imediat după inserare. Experimentele efectuate în laboratoarele Branemark la începutul anilor 1960, cu un nou tip de implant, ce avea nevoie de o ancorare directă la țesutul osos în scopul unei funcționări clinice, a condus la denumirea de osteointegrare. S-a demonstrat că era posibil să se realizeze o osteointegrare directă dacă se lua în considerare metoda Branemark, ce a fost publicată câțiva ani mai târziu în primul raport clinic. Autorii acestui articol vin cu noi contribuții care validează procesul de osteointegrare implantară. Pe parcursul acestui articol, prezentăm metodologia noastră de evaluare a osteointegrării implanturilor endosoase: studii ESEM (environmental scanning electron microscope) de interfață implant – țesut osos.

**Cuvinte cheie:** implant dentar, biocompatibilitate, ESEM, osteointegrare

**INTRODUCERE**

Un rol important pentru studiul prezentat pe parcursul acestui articol, dar și pentru cercetările ulterioare îl au observațiile unor autori consacrați cu privire la factorii esențiali ce determină osteointegrarea implanturilor dentare [1,2].

Din nefericire, menținerea și restaurarea unui ligament parodontal propriu în jurul implantului dentar nu au fost încă descoperite. Cele mai încu-

rajatoare cercetări au descris experimentele efectuate pe implanturi ortopedice ancorate printr-un tip particular de țesut fibros, înalt diferențiat, cu fibre aranjate într-un mod similar cu cele ale ligamentului parodontal. Oricum, această cercetare a fost de scurtă durată și a rămas incert dacă este posibilă o ancorare asemănătoare ligamentului parodontal înalt diferențiat în jurul implanturilor ce funcționează clinic [3]. Pe de altă parte, se dovedește a fi

Corresponding author:  
Bogdan Mihai Gălbinașu  
E-mail: bogdan.galbinasu@yahoo.com)

Article History:  
Received: 29 March 2021  
Accepted: 13 April 2021

esențială apariția unei zone periimplantare stabile care să se interpună atacului microbian din cavitatea bucală [4].

O analiză a răspunsului osos la majoritatea implanturilor folosite curent de stomatologi demonstrează că se pot întâmpla două incidente. Primul este respingerea tisulară, cu un răspuns inflamator acut sau cronic sau cu pierderea timpurie a implantului, iar cel de-al doilea, considerat frecvent ca un „răspuns de succes“, este producerea unei încapsulări fibroase neaderente, de grosime diferită, în jurul implantului. Unii autori insistă cu privire la obligativitatea dezvoltării unor astfel de răspunsuri tisulare fibroase [5], care sunt slab diferențiate la implanturile metalice, indicând că astfel de implanturi sunt mai sigure imediat după inserție și că, progresiv, ar deveni mai „relaxate“. Aceste eșecuri sunt raportate la tipul de material folosit, la localizarea implantului, la geometria lui [6,7], la stabilitatea fixării, iar la acestea se adaugă mulți alți factori.

Dacă inducerea formării osului în jurul unui astfel de implant ar fi clinic realizabilă, atunci s-ar putea prezice o metodă sigură de fixare sau ancorare și ar avea loc „osteogeneza interfacială“ sau „osteointegrarea“ pe suprafața implanturilor metalice [8], fără orice fel de țesut fibros interpus, verificate experimental în cadrul unor cercetări efectuate cu titan, oțel inoxidabil și vitallium (aliaj de tip Co-Cr).

Per-Ingvar Branemark a descris termenul de „osteointegrare“ pentru a evidenția contactul direct dintre os și suprafața solicitată în cazul implanturilor dentare [9,10]. O caracteristică foarte interesantă a interfeței osteointegrate este aceea că,

contrar interfețelor tisulare fibroase slab diferențiate, pare să stabilească o legătură mai puternică a implantului, odată cu trecerea timpului.

## SCOP

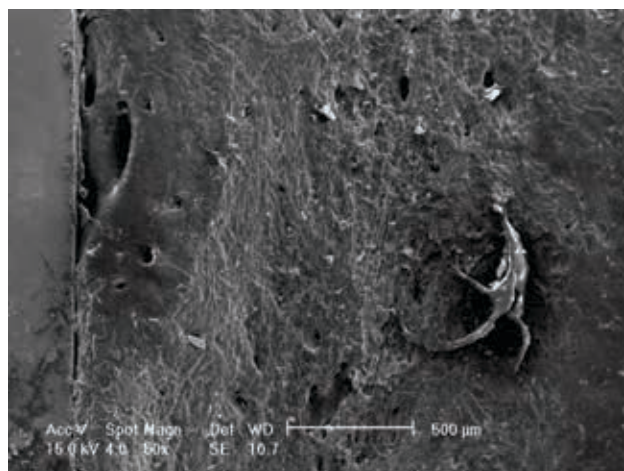
În articolul de față, ne-am propus o analiză a osteointegrării implantare din punctul de vedere al biocompatibilității materialului implantar.

## MATERIAL ȘI METODĂ

Cercetările efectuate au fost studii ESEM privind osteointegrarea implanturilor din biomateriale metalice [11,12]. Au fost analizate 4 probe diferite din punctul de vedere al materialului din care au fost confecționate: titan pur (99%), Ti6Al4V, aliaj inoxidabil austenitic 316L și Co-Cr-Mo. Forma sub care au fost pregătite pentru implantare a fost paralelipipedică. Studiile au fost efectuate pe animale de laborator, *in vivo* [6,13,14]. S-a practicat inserția implanturilor la nivelul tibiei, transcortical, conform standardului ISO 10993. După 2 luni de la implantare, s-a practicat prelevarea probelor biologice reprezentate de fragmentele osoase ce conțineau implanturile. Acestea au fost supuse investigațiilor de microscopie electronică cu ajutorul cărora au fost efectuate analize pe suprafață de tip mapping [15], prin care s-au identificat elementele chimice și s-a urmărit distribuția acestora la interfața implant – țesut osos.

## REZULTATE

Prima probă din titan pur (Ti 99%) a fost supusă analizei EDAX la interfața implant – țesut osos.



**FIGURA 1.** Analiza ESEM a interfeței implant-țesut (stânga); difuzia titanului în țesutul periimplantar (dreapta)

S-a identificat migrarea atomilor de titan de la suprafața implantului (figura 1). Deși se consideră că titanul pur are gradul cel mai ridicat de bioinertie, reacțiile redox cu lichidul fiziologic, deși de mică intensitate, se produc la nivelul interfeței acestuia.

La nivelul celei de-a doua probe, confecționată din aliaj tip Ti6Al4V, s-a constatat, prin analiză EDAX pe suprafață, o difuzie crescută a vanadiului și, în proporție mai redusă, a aluminiului în țesuturile adiacente. Dacă facem o comparație a rezultatelor obținute după analiza EDAX a celor 2 probe, se observă o instabilitate chimică a Ti din aliajul Ti6Al4V, cu o difuzie a oxizilor de titan în țesutul osos periimplantar mai ridicată. Acest aspect se consideră a fi consecința unor reacții chimice la interfață mult mai intense (figura 2).

Proba a treia a fost obținută din aliaj inoxidabil austenitic 316L. După prelevarea probei și analiza EDAX pe interfață (figura 3), s-au obținut rezultate care evidențiază migrarea mai multor elemente compoziționale. Elementul care a difuzat cel mai puțin a fost cromul, urmat de nichel. S-a constatat că, dintre toate elementele compoziționale, cromul a avut cea mai mare stabilitate. Elementul cu cel mai ridicat grad de migrație a fost fierul.

A patra probă luată în studiu a fost reprezentată de un aliaj Co-Cr-Mo. S-a efectuat și pentru aceasta o analiză EDAX pe suprafața interfeței implant – țesut osos periimplantar (figura 4). Analiza stabilității chimice a aliajului folosit pentru implant a evidențiat o difuzie crescută a molibdenului, cobaltul și cromul fiind mai stabile ca elemente compoziționale. Această migrare accentuată a molibdenului sugerează o prezență intensă a reacțiilor chimice de oxido-reducere.

## DISCUȚII

Indiferent de biomaterialul metallic din care a fost confecționat implantul, s-a constatat o migrare a elementelor acestuia, dar și invers [16,17]. Cel mai stabil chimic în mediul biologic a fost implantul din titan pur. Implantul din Ti6Al4V a pierdut în mediul biologic V, pierderile de aluminiu fiind corelate cu cele de Ti. Implantul din Co-Cr-Mo a generat o difuzie ridicată a cobaltului și molibdenului. Implantul din oțel inoxidabil a determinat difuzie în principal a fierului și secundar a nichelului, cromul fiind mult mai stabil.

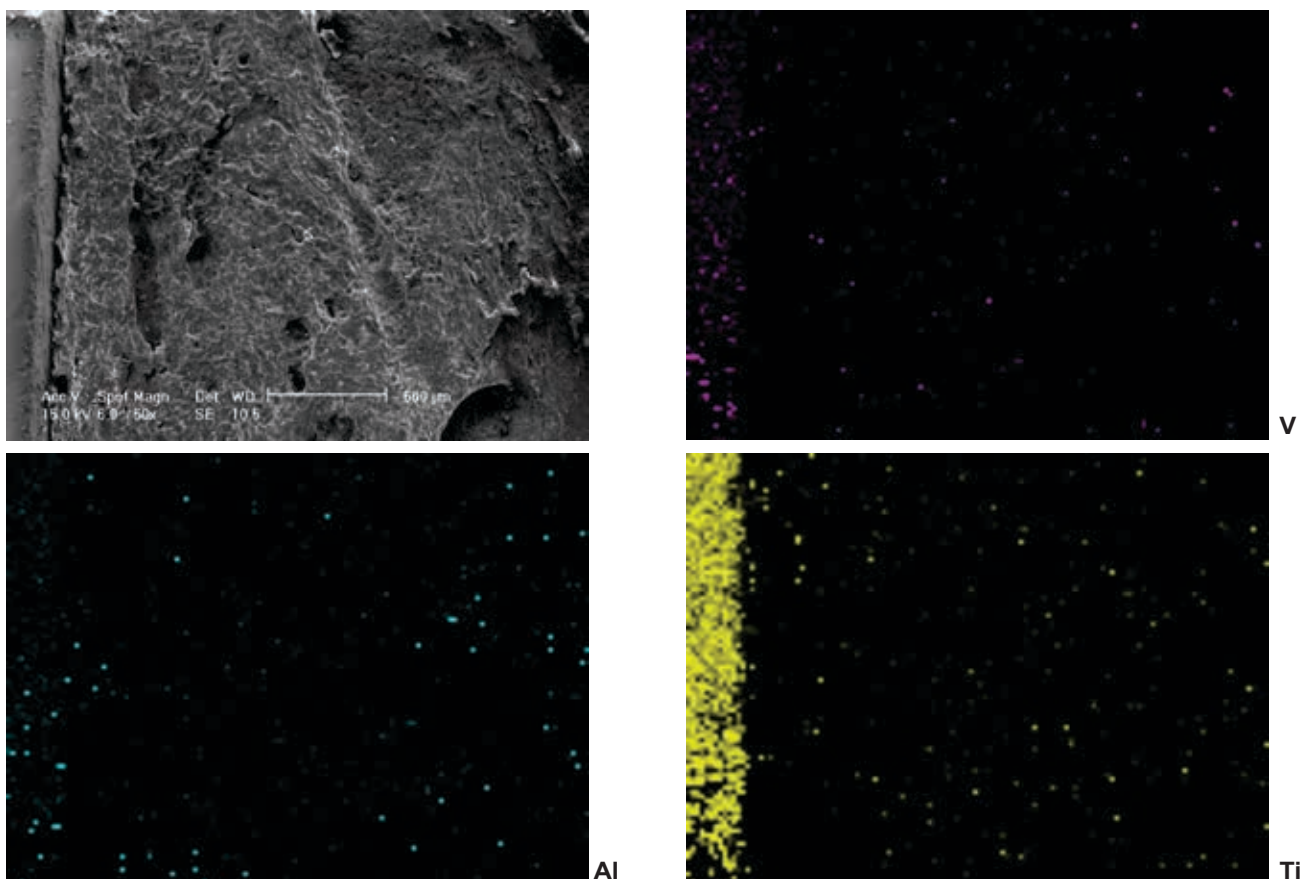
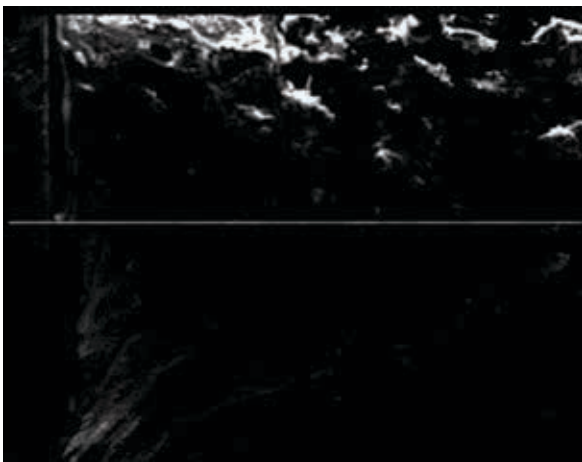
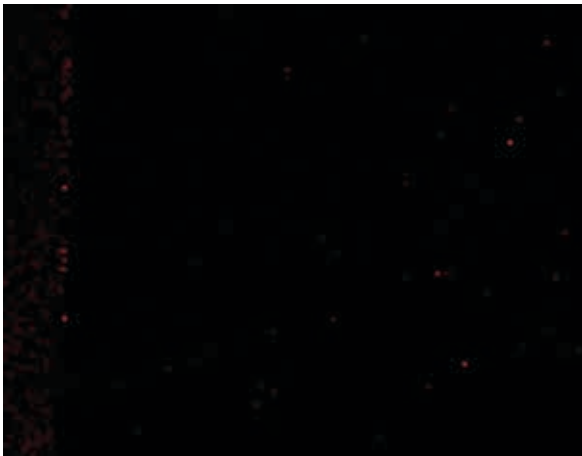


FIGURA 2. Difuzia elementelor din aliajul Ti6Al4V



Fe

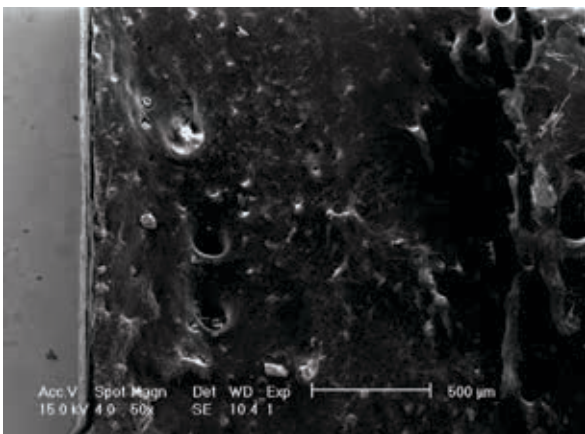


Ni



Cr

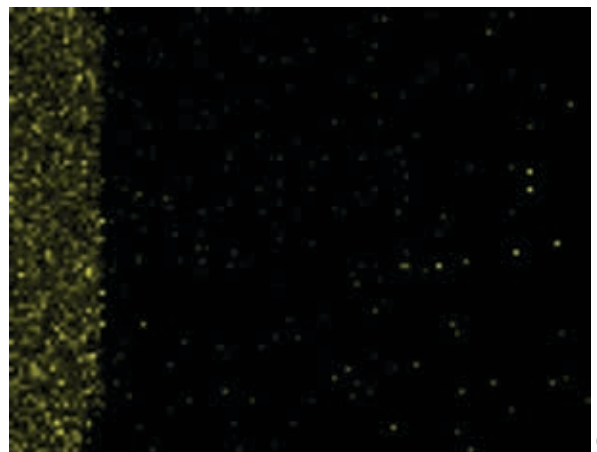
**FIGURA 3.** Analiza EDAX a aliajului 316L



Mo



Co



Cr

**FIGURA 4.** Analiza aliajului Co-Cr-Mo

Țesutul osos de neformație a fost intens mineralizat în cazul implantului din Ti pur, mai redus mineralizat în cazul implantului din TiAl64V, slab mineralizat pentru implantul din Co-Cr-Mo și aproape deloc mineralizat pentru implantul din aliaj inoxidabil.

Analiza de tip mapping a evidențiat interacțiunea chimică intensă între materialul implantat și mediul de implantare, indiferent de tipul biomaterialului metalic evaluat: titan pur (99%), Ti6Al4V, oțel inoxidabil austenitic tip 316L, aliaj Co-Cr-Mo. Pentru niciuna dintre probe nu au fost observate procese de osteoliză periimplantară, ceea ce dovedește existența unei interacțiuni favorabile între biomaterialul implantat și structura biologică (țesutul osos).

Gradul de dezvoltare și mineralizare a matricei organice periimplantare s-a aflat în strânsă relație cu modificările biochimice de la interfață.

## CONCLUZII

Studiile experimentale *in vivo*, privind interacțiunile care au loc la interfața biomaterial – țesut osos, au permis formularea unor concluzii elocvente. Studiile privind osteointegrarea sunt foarte importante pentru dezvoltarea perpetuă a terapiilor implantare. Stomatologia modernă e în strânsă relație cu utilizarea implanturilor dentare și, în consecință, e nevoie de o perfectare continuă a acestora. Se impun atât studii cu privire la materialele, forma și structura implanturilor, cât și studii de interfață, ce trebuie să definească interacțiunea cu țesuturile dure și moi. Cercetările în domeniu reprezintă o necesitate, iar gradul lor de complexitate trebuie să cunoască o creștere exponențială.

## BIBLIOGRAFIE

- Zarb CA, Albrektsson T. Nature of implant attachments. In: Branemark P-I, Zarb C, Albrektsson T (eds.). *Tissue-integrated prostheses osseointegration in clinical dentistry*. Chicago: Quintessence Publishing Co., 1985:88-98.
- Albrektsson T, Zarb G, Worthington P, Eriksson AR. The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1986 Summer;1(1):11-25.
- Zarb GA, Albrektsson T. Osseointegration: a requiem for periodontal ligament? *Int J Periodontal Restor Dent*. 1991;11:88-91.
- Linkevicius T, Apse P. Biologic width around implants. An evidence-based review. *Stomatologija*. 2008;10(1):27-35.
- Shemtov-Yona K, Rittel D. Random spectrum loading of dental implants: An alternative approach to functional performance assessment. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2016 Sep;62:1-9.
- Calvo-Guirado JL, Satorres M, Negri B, Ramirez-Fernandez P, Maté-Sánchez de Val JE, Delgado-Ruiz R, Gomez-Moreno G, Abboud M, Romanos GE. Biomechanical and histological evaluation of four different titanium implant surface modifications: an experimental study in the rabbit tibia. *Clin Oral Investig*. 2014;18(5):1495-505.
- Berglundh T, Abrahamsson I, Welander M, Lang NP, Lindhe J. Morphogenesis of the peri-implant mucosa: an experimental study in dogs. *Clin Oral Implants Res*. 2007 Feb;18(1):1-8.
- Kini U et al. Physiology of Bone Formation, Remodeling and Metabolism. In: Fogelman I, Gnanasegaran G, van der Wall H. *Radionuclide and Hybrid Bone Imaging*. Springer-Verlag, 2012:29-57.
- Brånemark PI, Hansson BO, Adell R, Breine U, Lindström J, Hallén O, Ohman A. Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10-year period. *Scand J Plast Reconstr Surg Suppl*. 1977;16:1-132.
- Brånemark PI. Osseointegration and its experimental background. *J Prosthet Dent*. 1983 Sep;50(3):399-410.
- Shah FA, Ruscsák K, Palmquist A. 50 years of scanning electron microscopy of bone—a comprehensive overview of the important discoveries made and insights gained into bone material properties in health, disease, and taphonomy. *Bone Res*. 2019 May 22;7:15.
- Gandolfi MG, Zamparini F, Iezzi G, Degidi M, Botticelli D, Piattelli A, Prati C. Microchemical and Micromorphologic ESEM-EDX Analysis of Bone Mineralization at the Thread Interface in Human Dental Implants Retrieved for Mechanical Complications After 2 Months to 17 Years. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2018 May/ Jun;38(3):431-441.
- Novaes AB Jr, Ramos UD, Scombatti de Souza SL, Muglia VA, Gonçalves de Almeida AL, de Moraes Rego Mandetta C. The Effect of Antimicrobial Photodynamic Therapy in the Osseointegration of Immediately Placed Implants in Sites with Ligature-Induced Periodontitis in Dogs. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2020 Nov/ Dec;40(6):917-923.
- Berglundh T, Abrahamsson I, Welander M, Lang NP, Lindhe J. Morphogenesis of the peri-implant mucosa: an experimental study in dogs. *Clin Oral Implants Res*. 2007 Feb;18(1):1-8.
- Prati C, Zamparini F, Botticelli D, Ferri M, Yonezawa D, Piattelli A, Gandolfi MG. The Use of ESEM-EDX as an Innovative Tool to Analyze the Mineral Structure of Peri-Implant Human Bone. *Materials (Basel)*. 2020 Apr 3;13(7):1671.
- Bigueti CC, Cavalla F, Silveira EV, Tabanez AP, Francisconi CF, Taga R, Campanelli AP, Trombone APF, Rodrigues DC, Garlet GP. HGMB1 and RAGE as Essential Components of Ti Osseointegration Process in Mice. *Front Immunol*. 2019 Apr 5;10:709.
- Bigueti CC, Cavalla F, Silveira EM, Fonseca AC, Vieira AE, Tabanez AP, Rodrigues DC, Trombone APF, Garlet GP. Oral implant osseointegration model in C57Bl/6 mice: microtomographic, histological, histomorphometric and molecular characterization. *J Appl Oral Sci*. 2018 Jun 11;26:e20170601.