METODE DE EVALUARE A OSTEointegrării IMPLANTURILOR DENTARE

Methods used to assess the osseointegration of dental implants

Drd. Claudiu Ciortea, Drd. Mariana Cărmămidă, Prof. Dr. Ioan Sîrbu

*Departamentul de Implantologie Orală, Facultatea de Medicină Dentară,
Universitatea de Medicină și Farmacie „Carol Davila”, București*

REZUMAT

Stabilitatea implanturilor dentare constituie o condiție esențială pentru osteointegrare. Osteointegrarea reprezintă procesul prin care în jurul implantului dentar se formează țesut osos, având ca rezultat creșterea stabilității și integrarea în organism a acestuia. Prin urmare, o osteointegrare de succes contribuie la un tratament optim din punct de vedere funcțional. Este nevoie de o metodă clinică capabilă să aprecieze calitatea osului în momentul și consecutiv inserării unui implant dentar, gradul de osteointegrare, precum și capacitatea implantului de distribuție a forțelor la nivelul osului. Cercetările de până acum se concentrează pe găsirea unei metode sigure de stabilire a osteointegrării implanturilor dentare cu scopul de a îmbunătăți și de a extinde indicațiile clinice ale sistemelor de implanturi dentare.

Această lucrare își propune să furnizeze informații despre metodele actuale utilizate în evaluarea osteointegrării implanturilor dentare. În acest sens a fost analizată literatura de specialitate. Au fost incluse articole științifice full-text relevante pentru tema aleasă, publicate în limba engleză sau al căror conținut a putut fi accesat în această limbă.

Cuvinte cheie: osteointegrare, implanturi dentare, stabilitatea implanturilor

ABSTRACT

The stability of dental implants is a prerequisite for osseointegration. Osseointegration is the process that involves the formation of bone around the dental implant, resulting in increased stability and its integration in the organism. Therefore, successful osseointegration contributes to a functionally optimal treatment. There is a need for a clinical method capable of measurement of bone quality at the time and following implant placement, to measure the degree of osseointegration and the ability of the implants to distribute loads to the surrounding bone. Research to date focuses on finding an ideal method to assess the osseointegration of dental implants in order to improve and broaden the clinical indications of dental implant systems.

This paper aims to supply information about current methods used to assess the osseointegration of dental implants. In this regard, a literature review was conducted. Full-text scientific articles relevant to the chosen topic, written in English or whose text could be accessed in English were included.

Keywords: osseointegration, dental implants, implant stability

INTRODUCERE

Termenul „osteointegrare” a fost introdus pentru prima dată de Brånemark ca urmare a unei interpretări a observațiilor histologice conform cărora osul prezintă un contact direct cu implantul dentar (1). Brunski susține că există patru mecanisme de bază prin care implanturile dentare sunt ancorate în

os: interconectare mecanică, substrat bioactiv, atașamentul țesuturilor moi și osteointegrarea (2).

Osteointegrarea reprezintă un proces dinamic care implică o fixare mecanică și biologică (3). Termenii „anchiloză”, „fuziune osoasă” și „osteointegrare” sunt interschimbabili și se referă la interfața os-implant din punct de vedere microscopic (4). Osteointegrarea a mai fost definită drept un proces

Autor corespondent:

Dr. Claudiu Ciortea, Facultatea de Medicină Dentară, Universitatea de Medicină și Farmacie „Carol Davila”, Calea Plevnei nr. 19, București

E-mail: claudiu.ciortea@yahoo.com

prin care se realizează o fixare rigidă de materiale aloplastice, asimptomatică clinic și menținută la nivelul osului în momentul încărcării funcționale (5). „Fixarea rigidă” este un termen clinic care se traduce prin absența mobilității implantului dentar la aplicarea unei forțe de 1-500 g (4). Se pare că există și anumite rețele genetice complexe care sunt asociate cu osteointegrarea implanturilor (6).

În planificarea unui tratament cu implanturi dentare, factorii cheie de care trebuie să se țină cont pentru a obține și a menține o osteointegrare corespunzătoare sunt: starea generală de sănătate a pacientului, igiena orală și medicația (7).

STABILITATEA IMPLANTURILOR DENTARE

Principiile terapeutice de bază pentru obținerea osteointegrării implanturilor dentare sunt: intervenție chirurgicală atraumatică efectuată în condiții sterile, implanturi sterile realizate din materiale biocompatibile, stabilitate inițială bună la inserarea implanturilor, perioadă de vindecare neperturbată de 2-4 luni la mandibulă și de 4-6 luni la maxilar (8).

Stabilitatea implanturilor dentare are un rol esențial în succesul osteointegrării. Aceasta reprezintă un indice indirect al osteointegrării și presupune absența mobilității implantului. Stabilitatea poate fi primară sau secundară și depinde de mai mulți factori (5,9). (Tabelul 1) Gradul de stabilitate depinde și de starea țesuturilor înconjurătoare (10).

Stabilitatea primară este în mare parte obținută la nivelul părților marginale și apicale ale implantului angajat în corticala osoasă. Este un fenomen mecanic fundamental pentru succesul tratamentului cu implanturi dentare. Stabilitatea primară scade în timp odată cu remodelarea osului înconjurător (11). Dacă un implant nu este suficient de stabil în momentul inserării, procesul de vindecare poate fi perturbat prin formarea unei capsule de țesut fibros care duce la mobilizarea implantului și ulterior la un eșec terapeutic (5,6,12).

TABELUL 1. Factorii care influențează stabilitatea implanturilor dentare

Stabilitatea primară	Stabilitatea secundară
Cantitatea osoasă	Stabilitatea primară
Calitatea osoasă	Modelarea osoasă
Tipul de implant (design, lungime, diametru)	Remodelarea osoasă
Tehnica/protocolul chirurgical	Implant – condiții de suprafață
Experiența chirurgului	

Stabilitatea secundară se realizează la nivelul osului spongios și reprezintă creșterea stabilității implanturilor dentare atribuită formării și remo-

delării osoase la interfața os-implant și la nivelul osului înconjurător. Este deci rezultatul osteointegrării apărute după formarea de os nou în aria adiacentă implantului (11). Odată ce s-a format os la nivelul interfeței os-implant, implantul trebuie să fie capabil să distribuie eficient forțele transmise de lucrarea protetică de care este atașat (5).

ANALIZA HISTOMORFOMETRICĂ

Histomorfometria osoasă reprezintă o examinare histologică cantitativă a unei biopsii de os nedecalciat, efectuată pentru a obține date despre remodelarea și structura osoasă (13). Analiza microscopică și histologică a reprezentat standardul de aur pentru evaluarea nivelului de osteointegrare a implanturilor dentare (10). În implantologie, analiza histomorfometrică constă în calcularea cantității osoase periimplantare și a coeficientului BIC (Bone to Implant Contact) prin investigarea unui fragment din implant și din osul periimplantar (14). BIC reprezintă proporția din suprafața implantului ce este în contact cu osul la un nivel microscopic. În urma unei meta-analize ce raportează studii privind analiza histomorfometrică a BIC pe subiecți umani, s-a constatat faptul că BIC este mai mare la mandibulă decât la maxilar și că valoarea BIC este mai ridicată în zona anterioară față de zona posterioară (15).

Chiar dacă analiza histomorfometrică furnizează date fiabile cu privire la gradul de rezistență de la interfața os-implant și calitatea ancorajului implantului în os, această metodă este invazivă, distructivă și neadecvată pentru studiile de lungă durată, fiind folosită mai frecvent în experimente și în studii pe animale de laborator. Cele mai multe cercetări histologice ale osteointegrării implanturilor dentare s-au realizat pe câini, la mandibulă, și pe iepuri, la nivelul tibiei (16-22).

Succesul tratamentului cu implanturi dentare depinde și de vindecarea țesuturilor moi periimplantare. În timp ce osteointegrarea furnizează un succes inițial, atașarea biologică a țesutului moale periimplantar este decisivă pentru menținerea unui succes pe termen lung. Cea mai frecventă metodă folosită în investigarea interfeței implant-țesut moale este analiza histomorfometrică (23). Până în prezent au fost introduse mai multe metode de preparare a secțiunilor histologice în care implantul rămâne in situ. Avantajul acestora este faptul că interfața dintre implant și țesuturile moi poate fi examinată direct. În funcție de gradul de rezoluție a imaginii, sunt folosite diferite tipuri de microscopie: microscopia cu lumină polarizată, microscopia

electronică cu scanare (SEM), microscopia confo-cală cu laser (CLSM), sisteme cu fascicul focalizat de ioni (FIB) (23-26).

ANALIZA RADIOLOGICĂ

Analiza radiologică este o metodă neinvazivă de evaluare a osteointegrării implanturilor dentare și poate fi realizată în orice stadiu al vindecării. Aceasta oferă informații importante despre cantitatea osoasă înainte de inserarea implantului. Calitatea și densitatea osoasă nu pot fi însă estimate prin această metodă. Modificările structurale și morfologice ale interfeței os-implant pot fi detectate radiologic pentru pierderi osoase de minim 30-40% (27,28). Radiografia cu film mușcat (Bitewing) este utilă pentru analiza nivelului osos crestal, considerat un indicator radiologic important pentru succesul implantului dentar (29).

Utilizarea unei radiografii convenționale nu este suficientă pentru o evaluare precisă a stabilității implanturilor. Pentru a estima în mod fiabil schimbările de la nivelul osului periimplantar, radiografiile se pot repeta la diferite intervale observaționale, modificările fiind apreciate cu ajutorul riglelor sau măsurătorilor digitale și optice. Tehnicile computerizate sunt considerate cele mai sigure. Astfel, pentru analiza pierderilor osoase periimplantare sunt utilizate radiografii panoramice și intraorale, suplimentate de radiografii digitale (30). Chiar dacă precizia diagnosticului este scăzută, analiza radiologică este metoda cea mai comodă și accesibilă în evaluarea stabilității implanturilor dentare.

TESTUL DE PERCUȚIE

Testul de percuție este una dintre cele mai simple metode folosite pentru estimarea nivelului de osteointegrare, fiind bazată pe observații acustice și vizuale (3,10). Acesta constă într-o percuție cu mânerul unui instrument metalic la nivelul bontului implantar și evaluarea sunetului produs. Un sunet distinct, clar indică o osteointegrare bună, în timp ce un sunet mat ar putea indica absența osteointegrării unui implant. Într-un studiu elaborat de Pol et al (31), în care douăzeci de pacienți au primit implanturi dentare cu lungimi diferite, de 10 și 13 mm, la efectuarea testului de percuție s-a constatat faptul că sunetul mat a fost mai frecvent la implanturile de 10 mm, sugerând că o lungime mai mare a implanturilor determină o stabilitate mai bună.

Această metodă depinde semnificativ de experiența examinatorului. Este o metodă relativ subiectivă care poate da rezultate inexacte din cauza

rigidității crescute a implanturilor și lipsei ligamentelor parodontale (14). Testul de percuție nu se pretează pentru evaluarea modificărilor minore instalate în timp.

PERIOMETER

Periometer este un instrument de percuție care folosește energie mecanică pentru a aprecia stabilitatea dinților sau a implanturilor dentare în os, înregistrând și analizând răspunsul acestora la percuție. Percuția cu acest instrument implică lovituri ușoare orizontale cu o tijă cuplată la un accelerometru (senzor care măsoară accelerația) care măsoară randamentul energetic după percuție (32). Sistemul Periometer este compus din: piesă de mână, unitate de control, alimentator și un software pentru calculator care controlează examinarea, stochează informații și permite vizualizarea și analiza rezultatelor (33). Instrumentul este plasat direct pe implant, fapt ce permite o priză fermă a piesei de mână și asigură o poziționare orizontală precisă. O singură măsurare cu Periometer durează aproximativ 4 secunde.

Dispozitivul furnizează două variabile: coeficientul de pierdere („loss coefficient”), care indică stabilitatea generală a dintelui sau implantului, și factorul „normal fit error”, care indică defecte localizate precum implanturi integrate incomplet în os (32,34). Rezultatele unui studiu realizat de VanSchoiack et al (33) scot în evidență faptul că valorile coeficientului de pierdere determinat cu ajutorul instrumentului Periometer reprezintă indicatori preciși ai osteointegrării. Cu toate acestea, în literatura de specialitate există foarte puține informații cu privire la validitatea și aplicabilitatea clinică a acestui instrument.

PERIOTEST

Stabilitatea implanturilor dentare a fost deseori evaluată cu ajutorul dispozitivului Periotest (35-46). Inițial, Periotest a fost conceput de Schulte (47) pentru a aprecia mobilitatea dinților. De curând a fost introdusă și o versiune wireless a acestui sistem, denumită Periotest M (48). Prin activare electromagnetică și monitorizare electronică, vârful aparatului percutează dintele sau implantul de 16 ori în 4 secunde. Vârful este sensibil la presiune, înregistrând durata de contact cu implantul examinat sub forma unor semnale. Aceste semnale sunt apoi convertite într-o valoare unică denumită *valoarea Periotest* (PTV – Periotest value). Valorile variază de la -8 la +50. Cu cât PTV este mai mică,

cu atât stabilitatea implantului dentar este mai mare (Tabelul 2). Rezultatele unui studiu elaborat de Olivé și Aparicio (37) au scos în evidență valori Periotest cuprinse între -5 și +5 pentru implanturile din titan osteointegrate.

Măsurătorile se realizează întotdeauna vestibular sau oral, vârful aparatului fiind plasat la o distanță de 0,6-2 mm de implant. Dacă distanța este prea mare sau prea mică, înregistrările obținute nu vor fi valide.

TABELUL 2. Interpretarea valorilor Periotest

Valoarea Periotest (PTV)	Interpretare
- 8 → 0	Osteointegrare bună, poate fi aplicată presiune asupra implantului
+1 → +9	Este necesară o examinare clinică, aplicarea presiunii asupra implantului nu este de obicei indicată
+10 → +50	Osteointegrare insuficientă, nu este permisă aplicarea unei presiuni asupra implantului

Un avantaj al acestui instrument este faptul că poziția lui poate fi corectată în timpul efectuării măsurătorilor. Un studiu realizat de Derhami et al (38) a relevat mai mulți factori legați de poziția instrumentului care ar putea influența valorile Periotest: punctul de măsurare verticală la nivelul bontului implantar, angulația piesei de mână, distanța orizontală dintre piesa de mână și implant. Periotest poate fi aplicat pe bont sau pe lucrarea protetică, vârful venind în contact cu implantul într-un unghi și la o distanță corectă. Dacă unghiul de contact perpendicular este mai mare de 20 de grade, iar cel paralel mai mare de 4 grade, valoarea măsurată nu este validă (14).

Parametrii care trebuie să fie luați în considerare atunci când se înregistrează valorile Periotest pentru a evalua osteointegrarea implanturilor dentare sunt (39):

1. Diametrul implantului – un diametru mai mare presupune o suprafață de contact mai mare cu osul și deci o valoare a PTV mai mică.
2. Lungimea implantului – cu cât lungimea este mai mare, cu atât PTV va fi mai mică (31,40).
3. Lungimea bontului – cu cât lungimea este mai mare (înregistrarea se realizează la o distanță mai mare de interfața bont-implant), cu atât PTV va fi mai mare.
4. Localizarea anatomică – în zonele în care osul este mai dens, valorile PTV vor fi mai mici. (41)

Într-un studiu efectuat de Cranin et al (42) au fost înregistrate valorile PTV pentru 290 de implanturi. S-a constatat faptul că valorile cele mai

mici au fost la implanturile dentare localizate în zona anterioară mandibulară, urmate de cele din zona posterioară mandibulară, zona anterioară maxilară și zona posterioară maxilară. Un diametru mai mare al implantului a fost corelat cu o stabilitate mai mică în zona posterioară mandibulară, dar mai mare în zona posterioară maxilară. La o lungime mai mare a implantului, stabilitatea a fost mai mare în toate zonele în afară de zona posterioară mandibulară.

Winkler et al (43) au elaborat un studiu în care au analizat valorile PTV pentru 2.623 de implanturi dentare și 975 de dinți naturali ai unor pacienți edentați parțial. Dinții și implanturile au prezentat o stabilitate mai bună la mandibulă față de maxilar. Stabilitatea implanturilor a fost semnificativ mai bună în comparație cu dinții naturali. Rezultatele sugerează că există o corelație între implanturile și dinții naturali ai aceluiași individ și că valorile PTV sunt utile pentru a aprecia starea complexului-os implant.

Un studiu retrospectiv realizat de Mesa et al (44), în care stabilitatea a 1.084 de implanturi dentare provenind de la 316 pacienți a fost analizată cu dispozitivul Periotest, scoate în evidență faptul că un eșec în obținerea stabilității primare a implanturilor este mult mai probabil la sexul feminin și în alte zone decât în cea anterioară mandibulară.

Măsurătorile cu aparatul Periotest pot fi realizate în toate etapele tratamentului cu implanturi dentare: imediat după inserarea implantului pentru a măsura stabilitatea primară, consecutiv perioadei de vindecare, pentru a determina dacă s-a atins un nivel de osteointegrare care permite aplicarea unei presiuni asupra implantului și după finalizarea tratamentului protetic astfel încât orice evoluție negativă să fie depistată din timp. Gomez-Roman și Lukas (45) recomandă ca înregistrările cu Periotest să fie efectuate și în toate etapele tratamentului protetic, nu doar la final, pentru a urmări integritatea bontului protetic. Într-un studiu realizat pe 48 de implanturi, aceștia au constatat că valorile PTV au crescut în medie cu 1,8 unități ca urmare a încărcării funcționale.

În general, stabilitatea implanturilor scade ușor în primele 14 zile după inserare, PTV crescând cu 1-2 unități. Odată cu terminarea procesului de vindecare, valorile Periotest ar trebui să fie apropiate de cele obținute imediat după inserarea implantului. Creșterea semnificativă a valorilor poate indica faptul că implantul nu mai este stabil, înșurubarea a fost compromisă sau s-a instalat o infecție (peri-implantită). Este recomandată înregistrarea tuturor măsurătorilor pentru o monitorizare constantă a

osteointegrării implanturilor. Așadar, importanța metodei Periotest constă în compararea valorilor PTV ale unui implant la diferite momente în timp pentru consemnarea datelor referitoare la situația interfeței os-implant (46).

ANALIZA FRECVENȚEI DE REZONANȚĂ

Analiza frecvenței de rezonanță (RFA – Resonance Frequency Analysis) este o tehnică neinvazivă de evaluare a stabilității implanturilor dentare introdusă de Meredith et al (49) și influențată de mai mulți factori (Tabelul 3). Această metodă utilizează un traductor fixat la nivelul implantului printr-un șurub. Traductorul cuprinde două elemente piezoelectrice: unul determină vibrații asupra implantului printr-un semnal sinusoidal cu o anumită frecvență, iar celălalt receptează semnalul. RFA a fost îndelung studiată și este considerată o metodă eficientă de evaluare a stabilității implanturilor dentare (50,51). Rezultatele unui studiu realizat de Nienkemper et al (52) arată că RFA este utilă și pentru aprecierea stabilității mini-implanturilor ortodontice.

TABELUL 3. Factorii care influențează RFA

Stabilitatea primară
Stabilitatea secundară
Factori constanți
– diametrul implantului
– lungimea implantului
– sistemul de implant
– poziția implantului
– lungimea bontului
Factori variabili
– calitatea osoasă
– înălțimea osului
– contact os-implant (BIC)
– conexiunea traductorului

Osstell este un dispozitiv care folosește RFA ca metodă de măsurare, unitatea de măsură fiind ISQ (Implant Stability Quotient).

Scala ISQ are valori cuprinse între 1 și 100. O stabilitate implantară bună este confirmată pentru valori ISQ mai mari de 60 (53-55). Într-un studiu în care stabilitatea a 15 implanturi dentare a fost evaluată cu Osstell, s-a constatat că valorile ISQ scad după prima săptămână de la inserarea implantului, dar încep să crească ușor după a patra săptămână de la intervenția chirurgicală (56).

Karl et al (57) au evaluat stabilitatea a 385 de implanturi dentare și au constatat valori ISQ de 39-86 imediat după inserarea implanturilor și de 35-89 consecutiv perioadei de vindecare. Cele mai mari valori ISQ au fost observate în zona posterioară mandibulară.

Balleri et al (58) susțin faptul că valori ISQ mici determinate la două luni după intervenția de inserare a implanturilor indică un risc crescut de eșec al implantului, în timp ce valori ISQ de 57-82 obținute după un an confirmă un succes terapeutic. Similar, Huwiler et al (59) au utilizat RFA în primele stadii ale osteointegrării a 24 de implanturi și au raportat o stabilitate bună pentru valori ISQ de 57-70. Un studiu prospectiv realizat de Rodrigo et al (55) pe 4.114 implanturi a evidențiat o corelație semnificativă statistic între stabilitatea secundară și rezultatul tratamentului cu implanturi dentare, niciun implant cu ISQ > 60 nefiind sortit eșecului.

DISCUȚII

De-a lungul timpului au fost realizate mai multe studii care caută corelații și fac comparații între metodele de evaluare a osteointegrării implanturilor dentare. Cranin et al (42) au analizat stabilitatea a 290 de implanturi dentare și au comparat valorile obținute cu dispozitivul Periotest (PTV) cu o valoare radiologică de la 0 la 10 pe care au atribuit-o fiecărui implant în urma efectuării unei radiografii retroalveolare, 0 desemnând absența resorbției osoase și 10 o pierdere osoasă masivă. Autorii au descoperit o corelație semnificativă statistic între PTV și valoarea radiologică alocată, consemnând creșterea valorilor PTV în cazul unei pierderi osoase marcate vizibilă radiologic. Noguerol et al (60) susțin că evaluarea stabilității implanturilor cu instrumentul Periotest este mult mai eficientă decât analiza radiologică.

Nkenke et al (61) au evaluat stabilitatea a 48 de implanturi inserate la nivelul maxilarului și mandibulei provenite de la indivizi decedați recent, folosind dispozitivele Periotest și Osstell și analiza histomorfometrică. Examinatorii au constatat o corelație semnificativă între Periotest și înălțimea corticalei osoase vestibulare și între RFA și parametrul histomorfometric BIC. În schimb, un studiu in vitro realizat de Ito et al (62) nu a depistat o corelație între RFA și BIC.

Au mai fost elaborate cercetări care urmăresc existența unei legături între măsurătorile realizate cu Periotest și cele înregistrate cu Osstell. Într-un studiu in vitro comparând eficacitatea instrumentelor Periotest și Osstell, Lachmann et al (63) relatează faptul că orice valoare PTV poate fi atribuită unei valori ISQ cu o variație de +/- 7 unități ISQ și că orice valoare ISQ poate fi atribuită unei valori PTV cu o variație de +/- 3 unități PTV. De asemenea, autorii afirmă că Osstell este o metodă mai precisă în evaluarea stabilității implanturilor. Același lucru

este susținut și de Zix et al (64) într-un studiu realizat pe 213 implanturi dentare. Aceștia scot în evidență o corelație importantă între diametrul implantului și valorile ISQ și PTV.

CONCLUZII

Rezultatele studiilor analizate în această lucrare sunt inconsecvente în ceea ce privește precizia metodelor de analiză a stabilității implanturilor

dentare. Acest lucru se poate datora varietății mari legate de tipul de studiu, lotul de studiu și metodologia abordată.

În prezent nu există un mijloc ideal de evaluare a gradului de osteointegrare a implanturilor. Se pare că analiza RFA cu dispozitivul Osstell prezintă acuratețea cea mai mare. Utilizarea simultană a mai multor metode de apreciere a stabilității implanturilor dentare ar putea fi utilă pentru a estima succesul sau eșecul unui implant.

BIBLIOGRAFIE

1. Brånemark P.I., Hansson B.O., Adell R. et al. 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.
2. Brunski J.B. Biomechanical factors affecting the bone-dental implant interface. *Clin Mater* 1992;10(3):153-201.
3. Chang P.C., Giannobile W.V. Functional assessment of dental implant osseointegration. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2012; 32(5):147-53.
4. Misch C.E. Contemporary Implant Dentistry 3rd ed. St. Louis: Mosby; 2008.
5. Meredith N. Assessment of implant stability as a prognostic determinant. *Int J Prosthodont* 1998; 11(5):491-501.
6. Nishimura I. Genetic networks in osseointegration. *J Dent Res* 2013; 92(12):109S-18S.
7. Adell R., Eriksson B., Lekholm U., Brånemark P.I., Jemt T. Long-term follow-up study of osseointegrated implants in the treatment of totally edentulous jaws. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1990; 5(4):347-59.
8. Carranza F.A., Newman M.G., Takei H.H., Klokkevold P.R. Clinical Periodontology 10th ed. St. Louis: Elsevier; 2007.
9. Sennerby L., Roos J. Surgical determinants of clinical success of osseointegrated oral implants: a review of the literature. *Int J Prosthodont* 1998; 11(5):408-20.
10. Atsumi M., Park S.H., Wang H.L. Methods used to assess implant stability: current status. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2007; 22(5):743-54.
11. Cehreli M.C., Karasoy D., Akca K., Eckert S.E. Meta-analysis of methods used to assess implant stability. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009; 24(6):1015-32.
12. Lioubavina-Hack N., Lang N.P., Karring T. Significance of primary stability for osseointegration of dental implants. *Clin Oral Implants Res* 2006; 17(3):244-50.
13. Kulak C.A., Dempster D.W. Bone histomorphometry: a concise review for endocrinologists and clinicians. *Arq Bras Endocrinol Metabol* 2010; 54(2):87-98.
14. Park J.C., Lee J.W., Kim S.M., Lee J.H. Implant Stability - Measuring Devices and Randomized Clinical Trial for ISQ Value Change Pattern Measured from Two Different Directions by Magnetic RFA. *Implant Dentistry – A Rapidly Evolving Practice* 2011; 5:111-28.
15. Sagirkaya E., Kucukencenci A.S., Karasoy D., et al. Comparative assessments, meta-analysis, and recommended guidelines for reporting studies on histomorphometric bone-implant contact in humans. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2013; 28(5):1243-53.
16. Catharino P.C., Dominguez D.C., Pinto D.S., Morea C. Histologic, histomorphometric, and radiographic monitoring of bone healing around in-office-sterilized orthodontic mini-implants with or without immediate load: study in rabbit tibiae. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014; 29(2):321-30.
17. Park I.P., Kim S.K., Lee S.J., Lee J.H. The relationship between initial implant stability quotient values and bone-to-implant contact ratio in the rabbit tibia. *J Adv Prosthodont* 2011; 3(2):76-80.
18. Pak H.S., Yeo I.S., Yang J.H. A histomorphometric study of dental implants with different surface characteristics. *J Adv Prosthodont* 2010; 2(4):142-47.
19. Ahn S.J., Leesungbok R., Lee S.W. Histomorphometric analysis and removal torque of small diameter implants with alternative surface treatments and different designs. *J Oral Implantol* 2010;36(4):263-72.
20. Marin C., Granato R., Suzuki M., Gil J.N., Janal M.N., Coelho P.G. Histomorphologic and histomorphometric evaluation of various endosseous implant healing chamber configurations at early implantation times: a study in dogs. *Clin Oral Impl Res* 2010; 21(6):577-83.
21. Orsini E., Salgarello S., Bubalo M., et al. Histomorphometric evaluation of implant design as a key factor in peri-implant bone response: a preliminary study in a dog model. *Minerva Stomatol* 2009; 58(6):263-75.
22. Chung S.H., Heo S.J., Koak J.Y., Kim S.K., Lee J.B., Han S.J., et al. Effects of implant geometry and surface treatment on osseointegration after functional loading: a dog study. *J Oral Rehabil* 2008; 35(3):229-36.
23. Chai W.L., Moharamzadeh K., Brook I.M., Van Noort R. A review of histomorphometric analysis techniques for assessing implant-soft tissue interface. *Biotech Histochem* 2011; 86(4):242-54.
24. Nishikawa T., Masuno K., Mori M., Tajime Y., Kakudo K., Tanaka A. Calcification at the interface between titanium implants and bone: observation with confocal laser scanning microscopy. *J Oral Implantol* 2006; 32(5):211-7.
25. Manresa C., Bosch M., Manzanares M.C., et al. A new standardized-automatic method for bone-to-implant contact histomorphometric analysis based on backscattered scanning electron microscopy images. *Clin Oral Implants Res* 2014 Jun; 25(6):702-6.
26. Le Guehennec L., Goyenvalle E., Lopez-Heredia M.A., et al. Histomorphometric analysis of the osseointegration of four different implant surfaces in the femoral epiphyses of rabbits. *Clin Oral Implants Res* 2008; 19(11):1103-10.
27. Albrektsson T., Zarb G., Worthington P., Eriksson A.R. The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1986; 1(1):11-25.
28. Goodson J.M., Haffajee A.D., Socransky S.S. The relationship between attachment level loss and alveolar bone loss. *J Clin Periodontol* 1984; 11(5):348-59.
29. Hermann J.S., Schoofield J.D., Nummikoski P.V., et al. Crestal bone changes around titanium implants: a methodologic study comparing linear radiographic with histometric measurements. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2001; 16(4):475-85.
30. Serino G., Turri A. Extent and location of bone loss at dental implants in patients with peri-implantitis. *J Biomech* 2011; 44(2):267-71.
31. Pol K.G., Bhusari B.M., Sanadi R.M. Clinical evaluation of primary stability and osseointegration of endosseous root form implants of different dimensions using Periostest. *Indian J Applied Res* 2013; 3:281-83.

32. Ahmad O.K., Kelly J.R. Assessment of the primary stability of dental implants in artificial bone using resonance frequency and percussion analyses. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2013;28(1):89-95.
33. VanSchoiack L.R., Shubayev V.I., Myers R.R., Sheets C.G., Earthman J.C. In vivo evaluation of quantitative percussion diagnostics for determining implant stability. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2013; 28(5):1286-92.
34. Sheets C.G., Hui D.D., Bajaj V.B., Earthman J.C. Quantitative percussion diagnostics and bone density analysis of the implant-bone interface in a pre- and postmortem human subject. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2013; 28(6):1581-1588.
35. Meredith N., Friberg B., Sennerby L., Aparicio C. Relationship between contact time measurements and PTV values when using the Periotest to measure implant stability. *Int J Prosthodont* 1998; 11(3):269-75.
36. Aparicio C. The use of the Periotest value as the initial success criteria of an implant: 8-year report. *Int J Periodontics Restorative Dent* 1997; 17(2):151-61.
37. Olivé J., Aparicio C. The Periotest method as a measure of osseointegrated oral implant stability. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1990; 5(4):390-400.
38. Derhami K., Wolfaardt J.F., Faulkner G., Grace M. Assessment of the Periotest device in baseline mobility measurements of craniofacial implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1995; 10(2):221-9.
39. Drago C.J. A prospective study to assess osseointegration of dental endosseous implants with the Periotest instrument. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2000; 15(3):389-95.
40. Lachmann S., Laval J.Y., Axmann D., Weber H. Influence of implant geometry on primary insertion stability and simulated peri-implant bone loss: an in vitro study using resonance frequency analysis and damping capacity assessment. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2011; 26(2):347-55.
41. Salonen M.A., Raustia A.M., Kainulainen V., Oikarinen K.S. Factors related to Periotest values in endosseal implants: a 9-year follow-up. *J Clin Periodontol* 1997; 24(4):272-7.
42. Cranin A.N., DeGrado J., Kaufman M., Baraoidan M., et al. Evaluation of the Periotest as a diagnostic tool for dental implants. *J Oral Implantol* 1998; 24(3):139-46.
43. Winkler S., Morris H.F., Spray J.R. Stability of implants and natural teeth as determined by the Periotest over 60 months of function. *J Oral Implantol* 2001; 27(4):198-203.
44. Mesa F., Munoz R., Noguerol B., de Dios Luna J., Galindo P., O'Valle F. Multivariate study of factors influencing primary dental implant stability. *Clin Oral Implants Res* 2008; 19(2):196-200.
45. Gomez-Roman G., Lukas D. Influence of the implant abutment on the Periotest value: an in vivo study. *Quintessence Int* 2001; 32(10):797-9.
46. Faulkner M.G., Giannitsios D., Lipsett A.W., Wolfaardt J.F. The use and abuse of the Periotest for 2-piece implant/abutment systems. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2001; 16(4):486-94.
47. Schulte W., Lukas D. The Periotest method. *Int Dent J* 1992; 42(6):433-40.
48. Crum P.M., Morris H.F., Winkler S., DesRosiers D., Yoshino D. Wired/Classic and wireless/Periotest "M" instruments: an in vitro assessment of repeatability of stability measurements. *J Oral Implantol* 2014; 40(1):15-18.
49. Meredith N., Alleyne D., Cawley P. Quantitative determination of the stability of the implant-tissue interface using resonance frequency analysis. *Clin Oral Implants Res* 1996;7(3):261-7.
50. Huang H.M., Lee S.Y., Yeh C.Y., Lin C.T. Resonance frequency assessment of dental implant stability with various bone qualities: a numerical approach. *Clin Oral Implants Res* 2002; 13(1):65-74.
51. Herrero-Climent M., Santos-Garcia R., Jaramillo-Santos R., Romero-Ruiz M.M., et al. Assessment of Osstell ISQ's reliability for implant stability measurement: a cross-sectional clinical study. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2013; 18(6):e877-82.
52. Nienkemper M., Wilmes B., Panayotidis A., et al. Measurement of mini-implant stability using resonance frequency analysis. *Angle Orthod* 2013; 83(2):230-8.
53. Kokovic V., Jung R., Feloutzis A., Todorovic V.S., Jurisic M., Hammerle C.H. Immediate vs. early loading of SLA implants in the posterior mandible: 5-year results of randomized controlled clinical trial. *Clin Oral Implants Res* 2014; 25(2):e114-9.
54. Bornstein M.M., Hart C.N., Halbritter S.A., Morton D., Buser D. Early loading of nonsubmerged titanium implants with a chemically modified sand-blasted and acid-etched surface: 6-month results of a prospective case series study in the posterior mandible focusing on peri-implant crestal bone changes and implant stability quotient (ISQ) values. *Clin Implant Dent Relat Res* 2009; 11(4):338-47.
55. Rodrigo D., Aracil L., Martin C., Sanz M. Diagnosis of implant stability and its impact on implant survival: a prospective case series study. *Clin Oral Implants Res* 2010; 21(3):255-61.
56. Shokri M., Daraeighadikolaei A. Measurement of primary and secondary stability of dental implants by resonance frequency analysis method in mandible. *Int J Dent* 2013; 2013: Article ID 506968.
57. Karl M., Graef F., Heckmann S., Krafft T. Parameters of resonance frequency measurement values: a retrospective study of 385 ITI dental implants. *Clin Oral Implants Res* 2008; 19(2):214-8.
58. Balleri P., Cozzolino A., Ghelli L., Momicchioli G., Varriale A. Stability measurements of osseointegrated implants using Osstell in partially edentulous jaws after 1 year of loading: a pilot study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2002; 4(3):128-32.
59. Huwiler M.A., Pjetursson B.E., Bosshardt D.D., Salvi G.E., Lang N.P. Resonance frequency analysis in relation to jawbone characteristics and during early healing of implant installation. *Clin Oral Implants Res* 2007; 18(3):275-80.
60. Noguerol B., Munoz R., Mesa F., de Dios Luna J., O'Valle F. Early implant failure. Prognostic capacity of Periotest: retrospective study of a large sample. *Clin Oral Implants Res* 2006; 17(4):459-64.
61. Nkenke E., Hahn M., Weinzierl K., et al. Implant stability and histomorphometry: a correlation study in human cadavers using stepped cylinder implants. *Clin Oral Implants Res* 2003; 14(5):601-9.
62. Ito Y., Sato D., Yoneda S., Ito D., Kondo H., Kasugai S. Relevance of resonance frequency analysis to evaluate dental implant stability: simulation and histomorphometrical animal experiments. *Clin Oral Implants Res* 2008;19(1):9-14.
63. Lachmann S., Laval J.Y., Jäger B., Axmann D., Gomez-Roman G., Groten M., Weber H. Resonance frequency analysis and damping capacity assessment. Part 2: peri-implant bone loss follow-up. An in vitro study with the Periotest and Osstell instruments. *Clin Oral Implants Res* 2006 Feb; 17(1):80-4.
64. Zix J., Hug S., Kessler-Liechti G., Mericske-Stern R. Measurement of dental implant stability by resonance frequency analysis and damping capacity assessment: comparison of both techniques in a clinical trial. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2008; 23(3):525-30.