

Dental implantlarda stabilite ölçüm yöntemleri

The methods of dental implant stability measurement

Arş. Gör. Dt. Gökçe Doğan

Kocaeli Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi A.D., Kocaeli

Yrd. Doç. Dr. Ayşe Koçak-Büyükdere

Kocaeli Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi A.D., Kocaeli

Geliş tarihi: 07 Mart 2017

Kabul tarihi: 24 Mayıs 2017

doi: 10.5505/yeditepe.2017. 36855

Yazışma adresi:

Arş. Gör. Dt. Gökçe Doğan

Kocaeli Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pro-

totetik Diş Tedavisi Ana Bilim Dalı, Paşadağ mah.

Akçakesme sk. No:1 41190 Başiskele, Kocaeli, Türkiye

Tel: 0262 344 22 22/ 5140 0554 776 88 69

Fax: 0262 344 21 09

E-posta: gkcdgr@hotmail.com

ÖZET

Dental implant stabilitesi, kemik ve yüklenmiş implant yüzeyi arasındaki yapısal ve fonksiyonel bağlantının sağlandığı başarılı bir osseointegrasyon ile gerçekleştirilir ve başarılı klinik sonuçların elde edilmesi için gereklidir. Bu nedenle implant stabilitesinin ölçümü, osseointegrasyonun başarısını değerlendirmede önemli bir yöntemdir. İmplant stabilitesi; primer ve sekonder olmak üzere iki aşamada gerçekleşmektedir. Primer stabilite, implant ve kortikal kemik arasındaki mekanik bağlantı sonucunda oluşmaktadır ve implantın yerleştirildiği kemiğin miktarı ve kalitesi, uygulanan cerrahi teknik, implantın boy, çap ve şekli gibi faktörlerden etkilenmektedir. Sekonder stabilite, implant yerleşimi sonrasında, implant çevresinde kemik ve yumuşak dokunun rejenerasyonu ve remodelingi ile gelişmektedir. Fonksiyonel yüklemenin zamanı sekonder stabilite ile ilgilidir. Bu nedenle çeşitli zamanlarda implant stabilitesinin miktarını belirlemek ve uzun dönem prognozunu tahmin edebilmek için implant stabilitesinin ölçümü temel alınmalıdır. Son zamanlarda implant stabilitesini belirlemek için çeşitli diagnostik analiz yöntemleri önerilmiştir. Bu yöntemlerden bazıları, gerek klinik uygulama zorluğu ve etik nedenler gerekse güvenilir diagnostik veri sağlama-
daki yetersizlikleri sebebi ile terkedilmiştir. Bu derlemede dental implantların uzun dönem sağkalım ve başarı değerlendirmesi için gerekli olan implant stabilitesinin belirlenmesinde kullanılan çeşitli yöntemlerden ve bu yöntemlerin klinik kullanımlarından bahsedilecektir.

Anahtar kelimeler: Dental implantlar, implant stabilitesi, rezonans frekans analizi

SUMMARY

Implant stability is a key factor for successful osseointegration, which has been sighted as a direct structural and functional connection existing between bone and the surface of a load-carrying implant. Achievement of implant stability is preliminary for successful clinical outcome. Therefore, measuring the implant stability is an important method for evaluating the success of an implant. Implant stability is achieved at two different stages: primary and secondary. Primary stability of an implant comes from mechanical connection with cortical bone. It is affected by the quantity and quality of bone that the implant is inserted into, surgical procedure, length, diameter, and form of the implant. Secondary stability is developed from regeneration and remodeling of the bone and tissue around the implant after insertion. The time of functional loading is dependent upon the secondary stability. It is, therefore, of an utmost importance to be able to quantify implant stability at various time points and to provide a long term prognosis based on the measured implant stability. Presently, various diagnostic methods have been suggested to identify implant stability. Some of these methods are not

in use because of their both clinical application difficulty and conflict of ethical values and poor diagnostic data. This review focused on the various methods for evaluating of the dental implant stability and the clinical practice of these methods which is important for the long-term success and survival rates of the dental implants.

Keywords: Dental implants, implant stability, resonance frequency analysis

GİRİŞ

İmmediat implant uygulamalarına artan ilgi ile bu alanda yapılan çalışmalar da artmaktadır. İmplantların hemen yüklemesi, geç yükleme ile benzer başarı ve sağ kalım oranları sağladığı için uygun tedavi seçeneği oluşturmaktadır.¹⁻⁴ İmmediat yüklemenin başarısı implant yerleşimi sırasında sağlanan primer stabilite ve iyileşme dönemindeki mikro hareketlerin önlenmesi ile yakından ilişkilidir.^{5,6} Osseointegrasyon olarak tanımlanan, canlı kemik ve fonksiyonel olarak yüklenmiş endo-osseöz implant yüzeyi arasındaki direk, yapısal ve fonksiyonel ilişki, implantların stabilitesi için çok önemlidir.⁷ Osseointegrasyon iki aşamada meydana gelmektedir. Primer stabilite, implant yerleşimi ile meydana gelen implant ve kemik yüzeyi arasındaki mekanik bağlantıdır ve iyileşme sürecinde bu bağlantı implant çevresinde yeni kemik oluşumu ile birlikte biyolojik bağlantıya dönüşüp sekonder stabiliteyi oluşturmaktadır.⁸ İmplant tedavisinin başarısı, iki aşamada gerçekleşen bu stabilite sürecinin ayrıntılı olarak değerlendirilmesi ile mümkündür. Bu amaçla primer ve sekonder stabilizasyonu belirleyebilmek için çeşitli diagnostik analiz yöntemleri tanımlanmıştır.⁹ Doğru klinik teşhisi sağlayabilmek için bu yöntemlerin sağladığı bilginin türü iyi değerlendirilmelidir. Literatürde yer alan teknikler incelendiğinde; perküsyon testi, radyografik değerlendirme, yerleştirme torku testi ve titreşim analizi yöntemleri klinik uygulanabilirlikleri sebebiyle kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden yerleştirme torku testi yalnızca implant cerrahisi sırasında oluşan primer stabilizasyonu değerlendirmede kullanılabilir. Perküsyon testi ise subjektif bir yöntemdir. İki boyutlu görüntü sağlayan radyograflar verdikleri yetersiz diagnostik bilgiye rağmen basit, hızlı ve non-invaziv bilgi sağlamaları nedeniyle halen çok kullanılmaktadır.¹⁰ Vibrasyon analiz yöntemlerinden biri olan Periotest® (Siemens AG, Bensheim, Germany) cihazı esas olarak, dişin mobilitesini, periodontal dokunun fiziksel durumu ile ilişkilendirerek ölçmek için geliştirilmiştir. Cihazın implant stabilitesini değerlendirmek için kullanılabilirliğini öne süren çalışmalar bulunmaktadır.^{11,12} İmplant stabilitesini rezonans frekans analizi yöntemi ile ölçme fikri ilk olarak Meredith ve ark. tarafından ortaya atılmıştır.¹³ Bu yöntem, dental implanta bağlanan bir aktarıcı sayesinde, implantın, gönderilen ses

dalgaları ile devamlı olarak uyarılarak kemik içerisindeki titreşiminin ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Son yıllarda bu yöntemle ilişkin cihazlar geliştirilmiş ve non-invazivlik, uygulama kolaylığı, sayısal veri sağlama gibi olumlu özellikleri sayesinde bu yöntem, implant tedavisinde rutin uygulamalar arasına girmiştir.^{14,15} Tüm bunlarla birlikte literatürde bu yöntemle ilişkin elde edilen verilerin implantın stabilitesi ile ilgili kesin diagnostik bilgi sağladığı konusunda tartışmalar halen sürmektedir. Bu derlemenin amacı, dental implant stabilitesini ölçmek için kullanılan yöntemler hakkında bilgi vermektir.

İmplant Stabilitesinin Ölçümü

İmplant stabilitesini belirlemek için kullanılan yöntemler temel olarak yıkıcı ve yıkıcı olmayan yöntemler olarak sınıflandırılabilir. Histomorfometrik analiz ve ters tork testi yıkıcı yöntemlerken, perküsyon testi, radyografik incelemeler, implant yerleşimi sırasında ölçülen yerleştirme torku, Periotest® ve rezonans frekans analizi yöntemleri yıkıcı olmayan yöntemlerdir.

1. Histomorfometrik Analiz

Histomorfometrik analiz yöntemi, implant ve implant çevresi dokudan alınan boyanmış örnekler üzerinden, implant çevresi kemik miktarını ve kemik-implant bağlantısını ölçmek için kullanılmıştır. Kesin diagnostik bilgi sağlaması bir avantaj olmasına rağmen, invaziv ve yıkıcı bir yöntem olduğu için uzun dönem çalışmalar için uygun değildir. Sadece klinik dışı çalışma ve deneylerde kullanılabilir.¹⁶

2. Ters Tork Testi

Johansson ve Albrektsson, tavşan kemiğinde deneysel implantların stabilite ve fiksasyonunu, geliştirdikleri tersine hareketli tork testi ile değerlendirmişlerdir. Bu testin temelini, implantı gevşetecek yönde implant kemik bağlantısı kopana kadar tork kuvveti uygulamak olarak açıklamışlardır. Ancak in vivo kullanımının zor olması, insan çalışmalarında etik nedenlerle kullanılmaması yöntemin en büyük dezavantajı olarak belirtilmektedir.¹⁷⁻¹⁹

3. Perküsyon

Perküsyon, dental el aletlerinin abutment ya da iyileşme başlığına dokundurulması ile oluşan sesin değerlendirildiği subjektif bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Yapılan birçok çalışmada,²⁰⁻²² insan kulağının rezonans frekansını ve oluşan tonun genişliğini belirlemede yeterince hassas olmaması, ayna sapının implanta yeterli enerjiyi iletememesi, iletilen kuvvetin uygulayıcıdan uygulayıcıya değişiklik göstermesi gibi nedenler ile bu testin güvenilir olmadığı belirtilmiştir.

4. Yerleştirme Torku Testi

Yerleştirme tork değerleri, çene kemiğinde implantın yerleştirildiği çeşitli bölgelerdeki kemiğin kalitesini ölçmek için kullanılmıştır.²³ Yerleştirme torku, genellikle cerrahi teknik, implant dizaynı ve implant bölgesindeki kemiğin kalitesi gibi faktörlerden etkilenen mekanik bir

parametredir ve implant çevresinde yeni kemik şekillenmesi ve remodelingi ile oluşan sekonder stabiliteyi değerlendirmede yetersizdir.²⁴ Bu nedenle implant yerleşimi sonrası oluşan stabilite değişiklikleri hakkında veri sağlayamamaktadır. Bununla birlikte yerleştirme sırasındaki tork artışı primer stabilitedeki artışı gösterebilir. Maksimum yerleştirme torku, implant boynunun alveol kemiğindeki yoğun kortikal kemikte meydana getirdiği basınç ile oluşmaktadır. Yapılan çalışmalarda 40 N/cm'nin üzerindeki tork değerleri yüksek, 30 ile 40 N/cm arası değerler orta, 30 N/cm'nin altındaki değerler ise düşük stabilizasyon olarak sınıflandırılmaktadır.²⁵

5. Radyografik İncelemeler

Radyograflar, implant yerleşimi öncesinde çalışılacak olan sahadaki kemik kalite ve miktarının değerlendirilmesinde yararlı bilgi sunmaktadır. Ayrıca osseointegrasyon sürecinde implant çevresindeki değişiklikler hakkında tahmin yürütmede yararlıdır.²⁶ Ancak görüntü çözünürlüğü ve X ışınlarının standardize edilememesi nedeniyle meydana gelen görüntü bozuklukları gibi sınırlamalar, sayısal ölçümleri zorlaştırmaktadır. İmplant ve kemik yüzeyi arasında kemik yapısı ve morfolojisindeki değişimleri radyograflarda net bir şekilde tespit etmek güçtür. Radyograflar, güvenilir veri sağlamada yetersiz kalmalarına rağmen uygulama kolaylığı nedeniyle günümüzde halen en sık tercih edilen diagnostik yöntemlerdir.²⁶ Birinci basamak cerrahiden sonra, implant çevresi bölgedeki kemik yoğunluğunun ve marjinal kemik kaybının radyograflarla takip edilmesinin gerekliliği bilinmektedir.²⁷ Önceki çalışmalarda uzun süreli başarıyı ve stabiliteyi ölçmek için en güvenilir yöntemin, radyografik muayene ve mobilite testi olduğu iddia edilmiştir. Ancak implant çevresindeki kemik kalitesinin klinik olarak belirlenmesinde non-invaziv metod olan radyografik incelemeler, ister panoramik ister periapikal olsun standardize edilme güçlüklerinden dolayı eleştirilmektedirler. Çalışmalarda özellikle periapikal radyograflar, implant çevresindeki kemiği 2 boyutlu olarak yansıtaacağı için, bu radyograflar üzerinde yapılacak milimetrik ölçümlerin yeterli olmayacağı belirtilmektedir. Çoğu araştırmacı radyografların standardize edilebilmesi için uzun kon paralel tekniğinin önemini vurgulamıştır. Bu çekim tekniği ile birlikte paralel film tutucuların kullanılmasını önermişlerdir. Standart çekim parametrelerinin geliştirilmesi ile elde edilen radyografik bulguların yüksek kalitede olması ve bilgisayarda kemik seviyesindeki değişiklikler açısından incelenip analiz edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.^{28,29} Daha hassas mobilite ölçümleri çeşitli implant bağlantı tipleri için zaman/integrasyon eğiminin belirlenmesine izin verir. Son yıllarda, implant mobilite miktarının belirlenmesinde belli bir kriterin geliştirilmesi için çalışmalar yapılmıştır.^{30,31} Bazı araştırmacılar implantlardaki mobiliteyi belirlemek için değişik metodlar geliştirmeye

çalışmışlardır. Ancak geliştirilen metodların birçoğu rutin klinik uygulamalarda kullanılacak kadar pratik değildir ve genellikle araştırmalarda kullanılmaktadır.¹⁷

6. Periotest®

Periotest® (Siemens AG, Bensheim, Germany) 'in geliştirilme amacı, doğal dişi çevreleyen periodontal dokulardaki destek azalmasını sayılabilir verilerle ölçmek ve mobilite açısından değerlendirmektir.³² Günümüzde Periotest® Classic, Periotest® S ve Periotest® M olmak üzere 3 ayrı tip cihaz bulunmaktadır.³³ Periotest®, dental implantların osseointegrasyonunu değerlendirmede, doğal dişlerdeki periodontal anomalilerin tanı ve değerlendirmesinde, oklüzal yüklerin değerlendirilmesinde ve tedavi sırasında iyileşme sürecinin izlenmesinde sayısal veri sağlamaktadır. Periotestte ölçüm değerleri -8 ile +50 arasındadır. Testte belirtilen değer ne kadar düşükse ölçülen dişin ya da implantın stabilitesi o kadar iyidir. Değerlerin -8 ile -6 arasında olması iyi stabilite olarak değerlendirilmektedir.³² Periotest® uygulaması elektromekanik bir uygulamadır. Elektrik ile çalışan ve monitörize edilen aletin hareketli ucu ölçüm yapılacak olan dişe ya da implanta 16 kere hafifçe vurur. Tüm ölçüm işlemi 4 saniyede tamamlanır. Hareketli ucun basınca duyarlı parçası ölçümü yapılan diş ya da implanta temas süresini ölçer ve kaydeder. Dişin ya da implantın stabilitesi ne kadar az ise, temas süresi o kadar uzun, ölçülen periotest değeri o kadar fazla olacaktır. Ters durumda yani stabil dişler ve implantlarda temas süresi kısadır, periotest değerleri düşüktür. Geçerli ve anlamlı ölçümler elde etmek için Periotest® cihazının ölçüm ucu doğru pozisyonda kullanılmalıdır. Dikey temas açısı 20 dereceden fazlaysa ya da paralel temas açısı 4 dereceden fazlaysa elde edilen ölçümler geçersizdir. Ayrıca ölçüm ucu ve test edilecek yüzey arasındaki mesafe 0,6 ile 2mm mesafede olmalıdır. Periotest® 16 vuruşu kendi içinde kaydeder, güvenilir ölçümlere ulaşabilmek için doğruluğundan emin olunmayan vuruşlar elimine edilir.^{20,32-35} Periotest®, implant stabilitesinin belirlenmesinde doğru ve tekrarlanabilen bir cihaz olarak sunulmuştur. Cihazın diş kronuna uygulanan dokunuşların geri tepmesini ölçtüğü ve implant ile dayanak ara yüzeyindeki stabiliteyi ölçmede de kullanılabilmesi ileri sürülmüştür.²⁹ Periotest değerlerinin; ölçüm noktası, vuruş yüksekliği, piyasemenin açılabilmesi, kontakt zamanı, dayanak uzunluğu parametrelerinden etkilenebileceği belirtilmiştir. Literatürden elde edilen bulgulara göre periotest, implant stabilitesinin teşhisinde güvenilir bir alettir.³⁶ Yine de cihazın, implantın stabil olduğu ancak horizontal kemik kaybı olan bazı durumlarda güvenilir ölçümler yapamadığı ve kemik kaybı derecesi çok fazla olmadıkça da bunu belirleyemediği belirtilmektedir.^{11,29}

7. Rezonans Frekans Analizi

Konvansiyonel tekniklerin çoğu zaman yetersiz kalması

ve tasarım değişikliklerine uğrayan implant markalarının klinik başarılarını ortaya koyabilecek non-invaziv yöntemlere ihtiyaç olması sayısal veri sağlayabilecek bir ölçüm cihazının gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu fikirler doğrultusunda rezonans frekans analizi (RFA) yöntemi ilk olarak 1996 yılında Meredith tarafından diş hekimliğinde kullanılmış ve daha sonra bu yöntem üzerinde çalışmalar yapılmıştır. İmplant stabilitesinin objektif ve non-invaziv bir şekilde ölçülmesi için geliştirilen cihaza Osstell™ (Integration Diagnostics AB, Göteborg, İsveç) adı verilmiştir. Çalışmalarda 3500'den 8500'e kadar değişen bir aralıkta kilohertz (kHz) ölçüm birimi kullanılmıştır.^{13,15} İlk üretilen RFA' nin dezavantajları; donanımın ağır ve büyük olması, çok miktarda kablo içermesi, kullanımının fazla zaman alması ve cihazın pahalı olmasıdır. Ayrıca her aktarıcının kendisine ait rezonans frekans değerinin olması nedeniyle ölçümlerden önce bir standart kullanılması gerekmektedir. Bu dezavantajlar nedeni ile hasta başında yorumu mümkün kılan, basit ve hızlı ölçümler yapabilen Osstell™ Mentor üretilmiştir. Osstell™ Mentor, batarya ile çalışan frekans yanıt analizörü ve üretici tarafından ön ayarları yapılmış yeni nesil aktarıcıya sahip bir cihazdır. Ölçüm sonucu, implant stabilite katsayısı (ISQ) gibi özel bir parametre ile sunulmaktadır. İmplant stabilite katsayısı birimi, temel rezonans frekansına dayanmaktadır ve 1'den (en düşük stabilite) 100'e (en yüksek stabilite) kadar dağılım göstermektedir.^{4,37-41} Bu neslin aktarıcısı, benzer tüm rezonans frekans analiz ölçümlerini yapabilen, implantın tipine bakmaksızın farklı implant sistemleri için de kullanılabilir. Aktarıcı, smartpeg adı verilen, implantta yaklaşık olarak 4-6 N/cm' lik kuvvetle vidalanan, uç kısmında manyetik taşıyıcı alüminyum bir çubuktan oluşmaktadır. Cihazın ölçüm ucu smartpege temas ettirilmeksizin yaklaştırılarak elektromanyetik olarak uyarılır. Gelen sinyaller smartpeg üzerinde, birbirine dik, 2 yönlü vibrasyon oluşturur. Osstell™'in ölçüm ucu, smartpeg ile olan açı farkı 90 derece olacak şekilde konumlandırılarak, birbirini takip eden 2 ayrı ölçüm alınması tavsiye edilmektedir.¹⁵ İmplant stabilite değerleri cihazın ekranından okunarak kaydedilir. Osstell™'den sonra ortaya çıkan yeni nesil rezonans frekans analizörleri sırasıyla; Osstell™ Mentor, Osstell™ ISQ ve en son Osstell™ Idx, Osstell™ ile benzer prensiplerle çalışır ve smartpeg üzerinden elektromanyetik sinyaller sayesinde ölçüm yapar.⁴² Araştırmalara göre cihazın çeşitli avantajları bulunmaktadır. Osstell™, hekimin yerleştirilen implantın stabilitesini ve kemik kalitesini ölçmesini sağlar ve implantın yükleme zamanı hakkında bilgi verir. Diş hekiminin implant çevresindeki iyileşmeyi ve değişiklikleri ölçmesini sağlayarak hatalardan kaçınmayı sağlar. Bu şekilde güvenilir bir restorasyon için uygun zaman belirlenebilir. Ayrıca olası hatalar önceden belirlenip gerekli önlemler alınabilir. Bu özellik direk olarak klinik başarısızlıkların sayısını da azaltır.^{29,43,44} Rezonans

frekans analizi metodu yaklaşık 20 yıldır geliştirilmekte ve metodla ilgili pek çok yayın bulunmaktadır. Ayrıca cihaz birçok ülkede klinik çalışmalar yapılmadan önce, laboratuvar ve hayvan deneyleri ile de kontrol edilmiştir.⁴⁵⁻⁵¹

SONUÇ

Son yıllarda, rezonans frekans analizi yönteminin diğer implant stabilitesi ölçüm yöntemlerine göre ön plana çıkmasına rağmen, implantların başarı, başarısızlık ya da uzun dönem prognozuna yönelik kritik bir değer saptayan yöntem bulunamamıştır. Bu nedenle uzun dönem implant stabilitesi hakkında güvenilir veri sağlayabilecek daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Attard NJ, Zarb GA. Immediate and early implant loading protocols: a literature review of clinical studies. *J Prosthet Dent* 2005; 94: 242-258.
2. Tarnow DP, Emtiaz S, Classi A. Immediate loading of threaded implants at stage 1 surgery in edentulous arches: ten consecutive case reports with 1-to 5-year data. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1997; 12: 319-324.
3. Al-Sawai A-A, Labib H. Success of immediate loading implants compared to conventionally-loaded implants: a literature review. *J Investig Clin Dent* 2016; 7: 217-224.
4. Bischof M, Nedir R, Szmukler-Moncler S, Bernard J-P, Samson J. Implant stability measurement of delayed and immediately loaded implants during healing. *Clin Oral Implants Res* 2004; 15: 529-539.
5. Östman P-O, Hellman M, Sennerby L. Direct implant loading in the edentulous maxilla using a bone density-adapted surgical protocol and primary implant stability criteria for inclusion. *Clin Implant Dent Relat Res* 2005; 7: 60-69.
6. Maló P, Rangert B, Nobre M. All-on-4 Immediate-Function Concept with Brånemark System® Implants for Completely Edentulous Maxillae: a 1-Year Retrospective Clinical Study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2005; 7: 88-94.
7. Brånemark P-I *et al.* Intra-osseous anchorage of dental prostheses: I Experimental studies. *J Plast Reconstr Surg* 1969; 3: 81-100.
8. Albrektsson T, Brånemark P-I, Hansson H-A, Lindström J. Osseointegrated titanium implants: requirements for ensuring a long-lasting, direct bone-to-implant anchorage in man. *Acta Orthop Scand* 1981; 52: 155-170.
9. Atsumi M, Park S, Wang H. Methods used to assess implant stability: current status. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2007; 22: 743-754.
10. Sunden S, Gröndahl K, Gröndahl H-G. Accuracy and precision in the radiographic diagnosis of clinical instability in Brånemark dental implants. *Clin Oral Implants Res* 1995; 6: 220-226.
11. Olivé J, Aparicio C. The Periotest Method as a Mea-

- sure of Osseointegrated Oral Implant Stability. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1990; 5: 88-105.
- 12.** 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: 525-530.
- 13.** 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: 261-267.
- 14.** Meredith N. A review of nondestructive test methods and their application to measure the stability and osseointegration of bone anchored endosseous implants. *Crit Rev Biomed Eng* 1998; 26: 275-291.
- 15.** Meredith N, Books K, Friberg B, Jemt T, Sennerby L. Resonance frequency measurements of implant stability in viva. A cross-sectional and longitudinal study of resonance frequency measurements on implants in the edentulous and partially dentate maxilla. *Clin Oral Implants Res* 1997; 8: 226-233.
- 16.** Martinez H, Davarpanah, M, Missika P, Celletti R, Lazara R. Optimal implant stabilization in low density bone. *Clin Oral Implants Res* 2001;12: 423-432.
- 17.** Ivanoff C-J, Sennerby L, Lekholm U. Reintegration of mobilized titanium implants: an experimental study in rabbit tibia. *Int J Oral Maxillofac Surg* 1997; 26: 310-315.
- 18.** Class L, Wilke H-J, Steinemann S. The influence of various titanium surfaces on the interface shear strength between implants and bone. *J Biomech.* 1991; 24: 461.
- 19.** Buser D *et al.* Influence of surface characteristics on bone integration of titanium implants: a histomorphometric study in miniature pigs. *J Biomed Mater Res* 1991; 25: 889-902.
- 20.** Van Scotter DE, Wilson CJ. The Periotest method for determining implant success. *J Oral Implantol* 1991; 17: 410-413.
- 21.** 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: 347-359.
- 22.** Arvidson K, Bystedt H, Frykholm A, Von Konow L, Lothigius E. Five-year prospective follow-up report of the Astra Tech Dental Implant System in the treatment of edentulous mandibles. *Clin Oral Implants Res* 1998; 9: 225-234.
- 23.** Johansson P, Strid KG. Assessment of bone quality from cutting resistance during implant surgery. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1994; 9: 279-288.
- 24.** Beer A, Gahleitner A, Holm A, Tschabitscher M, Homolka, P. Correlation of insertion torques with bone mineral density from dental quantitative CT in the mandible. *Clin Oral Implants Res* 2003; 14: 616-620.
- 25.** Friberg B, Sennerby L, Meredith N, Lekholm U. A comparison between cutting torque and resonance frequency measurements of maxillary implants: a 20-month clinical study. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 1999; 28: 297-303.
- 26.** 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; 1: 11-25.
- 27.** Bauman GR, Mills M, Rapley JW, Hallmon WH. Clinical parameters of evaluation during implant maintenance. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1992; 7: 6-20.
- 28.** Cranin AN *et al.* Evaluation of the Periotest as a diagnostic tool for dental implants. *J Oral Implantol* 1998; 24: 139-146.
- 29.** 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: 269-275.
- 30.** Schnitman PA, Shulman LB. Recommendations of the consensus development conference on dental implants. *J Am Dent Assoc* 1979; 98: 373-377.
- 31.** Zarb GA, Albrektsson T. Consensus report: towards optimized treatment outcomes for dental implants. *J Prosthet Dent* 1998; 80: 641-641.
- 32.** Lukas D, Schulte W. Periotest-a dynamic procedure for the diagnosis of the human periodontium. *Clin Phys Physiol Meas* 1990; 11: 65-75.
- 33.** Medizintechnik Gulden - Manufacturer of the Periotest. <http://www.med-gulden.com/periotest.php>.
- 34.** Chavez H, Ortman LF, DeFranco RL, Medige J. Assessment of oral implant mobility. *J Prosthet Dent* 1993; 70: 421-426.
- 35.** Engelke W, Stahr S, Schwarzwäller W. Enhancement of primary stability of dental implants using cortical satellite implants. *Implant Dent* 2002; 11: 52-57.
- 36.** Teerlinck J, Quirynen M, Darius P, van Steenberghe D. Periotest: an Objective Clinical Diagnosis of Bone Apposition Toward Implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1991; 6: 110-122.
- 37.** Balshi SF, Allen FD, Wolfinger GJ, Balshi TJ. A resonance frequency analysis assessment of maxillary and mandibular immediately loaded implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2005; 20: 584-594.
- 38.** da Cunha HA, Francischone CE, Fliho HN, de Oliveira RCG. A comparison between cutting torque and resonance frequency in the assessment of primary stability and final torque capacity of standard and TiUnite single-tooth implants under immediate loading. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004; 19: 578-585.
- 39.** Glauser R *et al.* Resonance frequency analysis of implants subjected to immediate or early functional occlusal loading. *Clin Oral Implants Res* 2004; 15: 428-434.
- 40.** Becker W, Sennerby L, Bedrossian E, Becker BE, Luc-

chini JP. Implant stability measurements for implants placed at the time of extraction: a cohort, prospective clinical trial. *J Periodontol* 2005; 76: 391-397.

41. Barewal, R. M., Oates, T. W., Meredith, N. & Cochran, D. L. Resonance frequency measurement of implant stability in vivo on implants with a sandblasted and acid-etched surface. *Int. J. Oral Maxillofac. Implants* 2003; 18: 641-651.

42. Osstell - Implant Stability: <http://www.osstell.com>.

43. Meredith N, Shagaldi F, Alleyne D, Sennerby L, Cawley P. The application of resonance frequency measurements to study the stability of titanium implants during healing in the rabbit tibia. *Clin Oral Implants Res* 1997; 8: 234-243.

44. Simunek A *et al.* Evaluation of stability of titanium and hydroxyapatite-coated osseointegrated dental implants: a pilot study. *Clin Oral Implants Res* 2002; 13: 75-79.

45. Gupta RK, Padmanabhan TV. Resonance frequency analysis. *Indian J Dent Res Off Publ Indian Soc Dent Res* 2011; 22: 567-573.

46. Huang H-L *et al.* Relation between initial implant stability quotient and bone-implant contact percentage: an in vitro model study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2013; 116: 356-361.

47. Marković A *et al.* Evaluation of primary stability of self-tapping and non-self-tapping dental implants: a 12-week clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2013; 15: 341-349.

48. Guler AU, Sumer M, Duran I, Sandikci EO, Telcioglu NT. Resonance frequency analysis of 208 Straumann dental implants during the healing period. *J Oral Implants* 2013; 39: 161-167.

49. Tözüm TF, Turkyilmaz, I, Bal BT. Initial stability of two dental implant systems: influence of buccolingual width and probe orientation on resonance frequency measurements. *Clin. Implant Dent. Relat. Res.* 2010; 12: 194-201.

50. Crismani AG *et al.* Ninety percent success in palatal implants loaded 1 week after placement: a clinical evaluation by resonance frequency analysis. *Clin Oral Implants Res* 2006; 17: 445-450.

51. Mayer L, Gomes FV, de Oliveira MG, de Moraes JFD, Carlsson L. Peri-implant osseointegration after low-level laser therapy: micro-computed tomography and resonance frequency analysis in an animal model. *Lasers Med. Sci.* 2016; 31: 1789-1795.