Farklı dijital ölçü sistemlerinin dental implantın ölçü netliğine etkisinin değerlendirilmesi

Evaluation of the effect of different digital impression systems on the impression accuracy of dental implant

Nazmiye Şen*

İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye, **Orcid** : 0000-0003-2768-2112

Atıf/Citation: Şen, N. (2020). Farklı dijital ölçü sistemlerinin dental implantın ölçü netliğine etkisinin değerlendirilmesi. Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, 41(2), 77-82.

Öz

Giriş ve Amaç: Bu *in vitro* çalışmanın amacı; farklı dijital ölçü sistemlerinin dental implantın ölçü netliğine etkisinin değerlendirilmesidir.

Yöntem ve Gereçler: Standart olarak üretilen tam dişli üst çene modelinde, 26 nolu diş modelden çıkartılarak yerine bir implant analoğu yerleştirildi. Tarama işlemi ilk olarak referans tarayıcı ile gerçekleştirildi. Ağız içi tarayıcılar ile ölçü alınması işlemi; 3 farklı dijital tarayıcı [Trios 3, iTero Element 2 ve Medit i500] kullanılarak her bir grup için 10 kez tekrarlandı. Elde edilen görüntülerin STL (standard tessellation language) formatında çıktısı alındı ve 3 boyutlu inceleme yazılımı kullanılarak karşılaştırıldı. Ölçülerin gerçekliğini ve doğruluğunu belirlemek için elde edilen STL veri setleri çakıştırılarak ortalama sapma miktarları belirlendi. Elde edilen veriler Kruskal-Wallis testi ve Mann-Whitney U testleri ile istatistiksel olarak değerlendirildi. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p < .05$ olarak belirlendi.

Bulgular: Farklı dijital ölçü sistemleriyle elde edilen ölçülere ait gerçeklik değerleri arasında anlamlı farklar saptandı ($p < .05$). En yüksek gerçeklik bulguları Trios 3 ($32.81 \pm 11.65 \mu m$) grubunda elde edildi ve onu sırasıyla iTero Element 2 ($49.12 \pm 8.97 \mu m$) ve Medit i500 ($46.25 \pm 17.08 \mu m$) grupları izledi. Farklı dijital ölçü sistemlerine ait doğruluk verileri arasında ise anlamlı farklılık saptanmadı ($p > .05$).

Tartışma ve Sonuç: Farklı dijital ölçü sistemleri, dental implantın ölçü netliğini etkilemektedir.

Anahtar Kelimeler: Dijital ölçü, Dental implant, Ağız içi tarayıcı.

ABSTRACT

Introduction: The purpose of this *in-vitro* study is to evaluate the effect of different digital impression systems on the impression accuracy of dental implant.

Methods: In a standard full-arch maxillary model, the tooth 26 was removed and an implant analogue was placed. The scanning process was first performed with a reference scanner. Taking measurements with intra-oral scanners repeated 10 times for each group using 3 different digital scanners [Trios 3, iTero Element 2 and Medit i500]. Obtained images were output in STL format and compared using 3D inspection software. The mean deviation amounts were determined by overlapping the STL data obtained to determine the trueness and precision of the impressions. The data were statistically compared using Kruskal-Wallis test and Mann-Whitney U tests. Statistical significance was determined at $p < .05$.

Results: Significant differences were found among the trueness values of the groups obtained by different digital impression systems ($p < .05$). The highest trueness was obtained in the Trios 3 ($32.81 \pm 11.65 \mu m$) group followed by the groups iTero Element 2 ($49.12 \pm 8.97 \mu m$) and Medit i500 ($46.25 \pm 17.08 \mu m$). No significant difference was found among the different digital impression groups for the precision values ($p > .05$).

Discussion and Conclusion: The impression accuracy of dental implants is affected by the different digital impression systems.

Keywords: Digital impression, Dental implant, Intra-oral scanner.

GİRİŞ

Diş Hekimliği'nde ölçü alma işlemi, başarılı bir protetik restorasyon üretiminin en önemli aşamaları arasında yer almaktadır.¹⁻⁴ Ölçü; uygun materyaller ve yöntemler kullanılarak ağız ortamında bir bölgenin negatifinin oluşturulmasını ifade etmektedir.² Ölçü alma işlemi, geleneksel ya da dijital yöntemler kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir.^{3,4} Geleneksel yöntemlerde, farklı ölçü materyalleri ve ölçü teknikleri kullanılarak ölçü alma işlemi gerçekleştirilir.⁵ Günümüzde gelişen dental teknoloji, ölçü materyallerinin özelliklerinin iyileştirilmesine olanak tanıdığı gibi ölçü alma tekniklerinin de gelişmesini sağlamıştır.^{1,2}

Bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve bilgisayar destekli üretim (CAM) sistemlerinde yaşanan gelişmeler, Diş hekimliğinde de CAD/CAM sistemlerinin başarılı bir şekilde kullanımını yaygınlaştırmıştır.^{5,6,7} Güvenilir ve zaman kazandırıcı bu sistemler; teknikteki hataları en aza indirmesi ve indirekt restorasyon üretimindeki çapraz kontaminasyon riskini azaltması gibi avantajları ile protetik restorasyonların üretiminde kullanılan geleneksel kaybolan mum tekniğinin yerini almıştır.⁶ Benzer şekilde, geleneksel yöntemler ile elde edilen ölçülerde oluşabilecek hatalar, ölçü maddelerinin deformasyonu, model elde edilmesi sırasında yaşanan hacim değişiklikleri, verilerin depolanıp saklanmasıdaki güçlük, ölçü alma işlemi sırasında hastaların yaşadığı rahatsızlık, ölçünün ağız ortamında kan ve tükürük ile kontaminasyonu gibi dezavantajlar, dijital ölçü yöntemlerinin geleneksel yöntemlere alternatif olarak yaygınlaşmasını sağlamıştır.^{1-4,7} Dijital ölçü elde etmek amacıyla kullanılan ağız içi tarayıcılar vasıtasıyla ağız içerisinden direkt ölçü alınabilmekte ve elde edilen tarama verileriyle bilgisayar ortamında 3 boyutlu modeller oluşturulabilmektedir.⁸ Ağız içi tarayıcılar ile dental arkların, dişlerin ve implantların ölçüsü alınabilmektedir.^{8,9} Ancak, ağız içi tarayıcılar ile elde edilen ölçüler; ağız ortamındaki çeşitli faktörlerden (nem, kan, tükürük, hasta ve hekimin hareketleri), tarama alanının uzunluğu ve hekimin sistemi kullanma tecrübesinden etkilenebilmektedir.⁹⁻¹¹

Dayanaklar ile protetik üst yapılar arasındaki bağlantı hassasiyeti ve pasif uyum, restorasyonların uzun dönem klinik başarısını etkilemektedir.^{12,13} Bu uyumun elde edilemediği durumlarda çeşitli mekanik ve biyolojik komplikasyonlar gözlenmektedir.^{11,12} Dayanaklar ile uyumlu protetik restorasyonlar elde edilebilmesi, ölçü netliği ve kalitesi ile ilişkilendirilmektedir.¹⁰ Ölçü netliği; gerçeklik (trueness) ve doğruluk (precision) kavramları ile değerlendirilmektedir.¹⁰⁻¹² ISO 5725:1994 (Geneva:

ISO, 1994) standardına göre; doğruluk, tekrarlanan ölçümlerin birbirine ne kadar yakın olduğunu ifade etmektedir.¹³ Bu nedenle, daha yüksek hassasiyete sahip bir tarayıcı daha tekrarlanabilir ve tutarlı bir taramayla ilişkilendirilebilir. Gerçeklik ise ölçümün, ölçülen nesnenin gerçek boyutlarından ne kadar sapma gösterdiğini açıklar.¹³ Bu nedenle, yüksek doğrulukta bir tarayıcı, tarayıcının taramakta olduğu nesnenin gerçek boyutlarına yakın veya ona eşit değerlerde sonuçlar verdiğini gösterir.¹²

Giderek daha yaygın bir kullanım alanı bulan ve sıklıkla güncellenip geliştirilen ağız içi tarayıcıların ölçüm hassasiyetlerinin karşılaştırıldığı çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Bu nedenle, çalışmanın amacı; farklı dijital ölçü sistemlerinin dental implantın ölçü netliğine etkisinin değerlendirilmesidir.

GEREÇ VE YÖNTEMLER

Farklı ağız içi dijital tarayıcıların ölçüm netliklerinin karşılaştırılması amacıyla bir ana referans model oluşturuldu. Standart olarak üretilen tam dişli üst çene modelindeki (KaVo Dental, Biberach, Germany) 26 nolu diş modelden çıkartıldı ve yerine 1 adet 4.5 mm çapında implant analoğu (IBS implant, Daejeon, Korea) yerleştirildi (Resim 1). Tarama işlemi öncesinde tarayıcı cihazların, sprey veya toz kullanımına gerek duymadan mat ve şekilli bir yüzeyi taramalarına olanak sağlamak amacıyla implant analoğu üzerine aynı firmanın scanbody (IOS scan abutment, IBS implant, Daejeon, Korea) parçası manuel tork ile yerleştirilerek, model taramaya hazır hale getirildi.

Resim 1. Çalışma modeli.

Ana modelin tarama işlemi ilk olarak bir ‘dijital referans model’ (DRM) oluşturmak için güvenilirliği ve etkinliği belgelenmiş olan ATOS II Triple Scan (GOM Technologies, Almanya) ile gerçekleştirildi. Tarama hassasiyetinin artırılması amacıyla model üzerinde farklı bölgelere özel referans nokta işaretleyiciler yerleştirildi. Tarama işlemi, alanında deneyimli bir uzman tarafından gerçekleştirildi. Tarama işlemi tamamlandığında; elde edilen sanal modeldeki istenmeyen bölümler temizlendi ve ardından görüntünün STL (standard tessellation language) formatında çıktısı alındı (Resim 2).

Resim 2. Dijital referans model.

Ağız içi tarayıcılar ile ölçü alınması işlemi 3 farklı dijital tarayıcı sistem: Trios 3 (3Shape, Copenhagen, Denmark), iTero Element 2 (Align Technology, San Jose, USA) ve Medit i500 (Medit Corp, Seoul, Korea) kullanılarak gerçekleştirildi (Tablo 1). Tarayıcı cihaz, ölçümler arasında üretici firmaların talimatları doğrultusunda kalibre edildi.

Trios 3 tarayıcı, konfokal mikroskopi ve oldukça hızlı optik bölümlendirme prensibiyle çalışır. Saniyede 3000 görüntü üreten cihaz, tarama noktası ile dişler arasındaki göreceli hareketin etkisini azaltır ve çekilen tüm görüntüleri analiz ederek bir dijital model oluşturur.¹⁴

Tarama işlemi sırasında, hekimin tarayıcı ucu, tarama noktasından minimum 2-3 cm uzakta tutması istenir. Itero Element 2 tarayıcı, paralel konfokal görüntüleme teknolojisi ile çalışmaktadır. Bu tarayıcı ile ölçü elde edilmek istenen bölgenin önce oklüzalden daha sonra 45 derecelik açı ile palatinal ve bukkalden ve son olarak da interproksimal alanlardan görüntüsü alınmaktadır.¹⁵ Medit i500 tarayıcı ise aktif triangulasyon prensibiyle çalışır. Cihaz, tarama bölgesine mavi ışık demeti gönderir. Yüzeyden geri yansıyan ışık demeti yine tarayıcı kolun içindeki video sensörü tarafından algılanır. Elde edilen çok sayıda görüntü, sistem tarafından hassas bir şekilde birleştirilir ve dijital model elde edilir.^{14,15} Test edilen her 3 ağız içi tarayıcı sistemde de taranacak yüzeyin pudralanma gereksinimi yoktur. Tarama prosedürü, üretici firmaların talimatları doğrultusunda, her bir tarayıcı için 10 kez tekrarlandı. Görüntülerin karşılaştırma işlemleri için 3 boyutlu inceleme yazılımı (Geomagic Control X 2018, North Carolina, USA) kullanıldı. Her bir tarayıcıdan elde edilen STL verileri, ölçünün gerçekliğini (trueness) değerlendirmek için referans tarayıcıdan elde edilen DRM veri setiyle karşılaştırıldı. Görüntülerin karşılaştırılması için programın öncelikle ‘best fit alignment’ seçeneği işaretlendi ve sonrasında ‘X’, ‘Y’ ve ‘Z’ koordinatları aktif hale getirildi. Ölçünün doğruluğunu (precision) değerlendirmek için ise aynı tarayıcıdan elde edilen STL veri setleri karşılaştırılarak ortalama sapma miktarları belirlendi (Resim 3).

Resim 3. Çakıştırma işleminde referans alınan noktalar.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan dijital ölçü sistemleri ve özellikleri.

Dijital Ölçü Sistem	Üretici	Tarama Teknolojisi	Işık Kaynağı	Çalışma prensibi
Trios 3	3shape	Konfokal mikroskopi	Işık	Video dizisi
iTero Element 2	Align Technology	Paralel konfokal mikroskopi	Lazer	Fotoğraf
Medit i500	Medit	Aktif triangulasyon	Işık	Video dizisi

İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Çalışmada elde edilen veriler SPSS paket programı (IBM SPSS Statistics v21; IBM Corp) kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirildi. Verilerin normal dağılıma uygun olmadığının Kolmogorov-Smirnov testi ile belirlenmesinin ardından farklı tarayıcılara ait ölçülerin doğruluk ve gerçekliğine ait ortalama değerler, Kruskal-Wallis testi ile değerlendirildi. İkili karşılaştırmalar için ise Mann-Whitney U testleri kullanıldı. Anlamlılık düzeyi $p < .05$ olarak belirlendi.

BULGULAR

Farklı dijital ölçü sistemleri kullanılarak elde edilen

ölçülerin netliği; gerçeklik ve doğruluk verileri ile karşılaştırıldı.

Üç farklı dijital ölçü sistemiyle elde edilen ölçülere ait gerçeklik bulguları Tablo 2’ de yer almaktadır. Gruplara ait gerçeklik değerleri arasında anlamlı farklar saptandı ($p < .05$). En yüksek gerçeklik bulguları **Trios 3** ($32.81 \pm 11.65 \mu\text{m}$) grubunda elde edilirken **iTero Element 2** ($49.12 \pm 8.97 \mu\text{m}$) ve **Medit i500** ($46.25 \pm 17.08 \mu\text{m}$) grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmadı ($p > .05$).

Farklı dijital ölçü sistemlerine ait doğruluk bulguları Tablo 3’ de yer almaktadır. Yapılan istatistiksel değerlendirmede, farklı dijital ölçü sistemlerine ait doğruluk verileri arasında anlamlı farklılık saptanmadı ($p > .05$).

Table 2. Farklı dijital ölçü sistemleriyle elde edilen ölçülere ait Gerçeklik (Trueness) (μm) bulguları.

Dijital ölçü sistemi	Mean (SD)	Median	%95 Güven aralığı	Min.	Max.
Trios 3 (1)	32.81 (11.65)	27.03	23.61,41.57	19.07	68.13
iTero Element 2 (2)	49.12 (8.97)	48.05	40.83,56.19	10.14	71.38
Medit i500 (3)	46.25 (17.08)	41.59	39.24,61.03	24.95	87.43
⁺ <i>p</i>			0.042*		
⁺⁺ <i>1-2</i>			0.039*		
⁺⁺ <i>1-3</i>			0.021*		
⁺⁺ <i>2-3</i>			0.843		

⁺ Kruskal-Wallis testi; ⁺⁺ Mann-Whitney U testleri; * $p < .05$

Tablo 3. Farklı dijital ölçü sistemleriyle elde edilen ölçülere ait Doğruluk (Precision) (μm) bulguları.

Dijital Ölçü sistemi	Mean (SD)	Median	%95 Güven aralığı	Min.	Max.
Trios 3	19.04 (3.28)	18.71	17.95, 21.34	12.03	27.16
iTero Element 2	26.51 (1.82)	26.34	23.98, 30.17	24.21	30.08
Medit i500	23.09 (4.65)	22.89	19.06, 27.41	18.53	27.65
⁺ <i>p</i>			0.751		

⁺ Kruskal-Wallis testi.

TARTIŞMA

Bu çalışmada, farklı dijital ölçü sistemlerinin, dental implantın ölçü netliğine etkisi incelendi ve farklı ağız içi tarayıcı sistemlerinin netlik bulgularını etkilediği belirlendi.

Dijital ağız içi tarayıcı sistemler hızla gelişmektedir.⁵ Geleneksel ölçü yöntemleri ile karşılaştırıldığında hastaların ölçü alımı sırasında yaşadığı konfor, veri saklama kolaylığı, üretim kolaylığı ve tekrarlanabilirliği; dijital ölçü sistemlerinin kullanımını yaygınlaştırmaktadır.^{1-4,7} Sahip olduğu pek çok avantaj, gelecekte, dijital ağız içi ölçü sistemlerinin geleneksel ölçü sistemlerine iyi bir alternatif oluşturacağı düşünüldüğünü de kuvvetlendirmektedir.¹⁶

Dental implant tedavilerinde; implantların ölçüsü geleneksel yöntemler olan açık ölçü yöntemi veya kapalı ölçü tekniği ile alınmaktadır.¹⁷ Bu yöntemlerde, özellikle molar bölgede ölçü alımı için implantlar üzerine yerleştirilmesi gereken ölçü postlarına ait vidaların sıkıştırılması, ağız açıklığı kısıtlı olan bireylerde sorun teşkil edebilir.¹⁶⁻¹⁸ Ayrıca, silikon ölçü materyalleri kullanılarak ölçü alınması; bulantı refleksi bireylerde, mobil dişler ve trismus varlığında uygun olmayabilir.¹⁶ Böyle durumlarda; dijital ağız içi ölçü sistemleri, geleneksel yöntemlerden daha etkili ve net ölçü elde edilmesine olanak sağlayabilir.^{17,18} İmplant tedavisinde dijital ölçü kullanımı; abutment yüksekliği, rotasyonu önleme mekanizması için gerekli pozisyonel ilişki, abutment gövde genişliği gibi verilerin de hızlıca sistem tarafından değerlendirilmesine olanak sağlayarak tedavi süresini kısaltır.¹⁹ Bu teknikte, implanta ait scanbody parçasının taranması ile birlikte final restorasyonun üretimi için gerekli veri elde edilmiş olmaktadır.¹⁷⁻¹⁹ Başarılı protetik restorasyonlar üretilebilmesi için en temel koşulların başında; yüksek doğruluk ve netliğe sahip ölçülerin alınması gelmektedir.^{12,13} Yeterli netlikte olmayan ölçü, protetik üst yapı ile implant dayanağı arasında oluşturulması gereken hassas uyum ve pasif oturumu zorlaştırır.¹⁰ Bu durumun da başta vida gevşemesi olmak üzere çeşitli mekanik ve biyolojik komplikasyonlara neden olacağı bildirilmiştir.¹⁷

Bu çalışmada; farklı ağız içi tarayıcı sistemlerle elde edilen ölçüler referans tarayıcı ile elde edilen ölçü ile karşılaştırıldı. Tarayıcıların karşılaştırılması için gerçeklik ve doğruluk verileri değerlendirildi. Gerçeklik için farklı ağız içi tarayıcılardan elde edilen ölçülerin referans tarayıcıyla alınan ölçüden, üç boyutlu çıkıştırma programı yardımıyla ne kadar sapma gösterdiği belirlendi. Artan sapma miktarları, düşük gerçeklik ile ilişkilendirilir. Yapılan istatistiksel incelemede; en yüksek ortalama gerçeklik verileri; Trios 3 grubunda elde edilirken onu sırasıyla Medit i500 ve iTero Element 2 tarayıcılar izledi. Farklı ağız içi tarayıcı sistemlerin dental implantların

ölçü netliğine etkisine inceleyen çalışma sayısı oldukça sınırlıdır¹⁷⁻¹⁹ ve mevcut çalışmaların sonuçları değişkenlik göstermektedir.^{20,21} Çalışmalar arasında test edilen değişkenlerin ve tarayıcıların farklılığı nedeniyle birebir karşılaştırma yapılması da zordur. Ancak, 2019 yılında yapılan ve farklı dijital ölçü sistemlerinin ölçü netliklerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada Trios 3 tarayıcının iTero Element 2' den daha yüksek netliğe sahip olduğu bildirilmiştir.²⁰ Yine aynı araştırmacılar tarafından 2016 yılında gerçekleştirilen başka bir çalışmada ise aynı tarayıcılar için çok daha düşük doğruluk verileri rapor edilmiştir.²¹ Aynı araştırmacılara ait çalışmalar arasındaki bu farklılığın nedeni; bir çalışmanın in-vitro, diğerinin ise in-vivo şartlarda gerçekleştirilmiş olması ile açıklanabilir. Ayrıca taranan bölge (anterior, posterior veya tam ark), tarama mesafesi, hekimin tecrübesi, ortam ışığı, tarayıcının çalışma prensibi ve kullanılan yazılım gibi pek çok faktörün de doğruluk verileri üzerinde etkili olabileceği bildirilmiştir.^{11-14,17-20}

Ölçü netliğinin değerlendirilmesinde kullanılan bir diğer veri ise doğruluk'tur. Doğruluk, aynı tarayıcıya ait tekrarlanan ölçümlerin birbirine ne kadar yakın olduğunu ifade etmektedir.¹³ Bu çalışmada, farklı ağız içi tarayıcı sistemlere ait doğruluk verileri arasında anlamlı farklılık saptanmadı. Test edilen tarayıcılara ait doğruluk verileri 19,04µm ile 26,51µm arasında değişmektedir. Yapılan çalışmalarda doğruluk verilerinin taranan bölge ve tarama mesafesi ile ilişkili olduğu bildirilmiştir.¹⁷⁻¹⁹ Posterior bölge için yapılan ölçümlerde, daha yüksek doğruluk verileri bildirilirken anterior segment veya tam ark dijital ölçümün yapıldığı çalışmalarda ise tarayıcılar için düşük doğruluk verileri rapor edilmiştir.^{20,21} Doğruluk verilerinin de hekimin tecrübesi, ölçüm sırasında hastanın hareket etmesi, tarama stratejisi ve ortam değişkenlerinden etkilendiği bildirilmiştir.¹⁷⁻²¹

Farklı dijital ölçü sistemlerinin dental implantların ölçü netliğine etkisinin incelenmesi, kullanımı hızla yaygınlaşan ağız içi tarayıcıların klinik başarısı konusunda hekimlerin bilgi sahibi olması açısından oldukça önemlidir. Ancak, konuyla ilgili kapsamı farklı çalışmalara gereksinim duyulmaktadır. Tarayıcıların ağız ortamındaki değişkenlerin de simüle edildiği bir laboratuvar ortamında test edilmesi faydalı olacaktır. Ayrıca daha fazla sayıda tarayıcının test edildiği, farklı tarama mesafelerinin ve ölçüm stratejilerinin değerlendirildiği in-vivo veya in-vitro çalışmaların da faydalı olacağı düşünülmektedir.

SONUÇ

Kullanımı hızla yaygınlaşan ve sıkça güncellenen ağız içi dijital ölçü sistemleri ile tek üye implant ölçüsü alınırken; yeterli ve tekrarlanabilirliği yüksek ölçüler elde edilebilmektedir.

KAYNAKLAR

- Christensen GJ. Impressions are changing: deciding on conventional, digital or digital plus in-office milling. *J Am Dent Assoc* 2009;140:1301-4.
- Joda T, Brägger U. Patient-centered outcomes comparing digital and conventional implant impression procedures: a randomized crossover trial. *Clin Oral Implants Res* 2016;27:e185-9.
- Svanborg P, Skjerven H, Carlsson P, Eliasson A, Karlsson S, Ortorp A. Marginal and internal fit of cobalt-chromium fixed dental prostheses generated from digital and conventional impressions. *Int J Dent* 2014;53:438-2.
- Chochlidakis KM, Papaspyridakos P, Geminiani A, Chen CJ, Feng IJ, Ercoli C. Digital versus conventional impressions for fixed prosthodontics: a systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent* 2016;116:184-90.
- Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J* 2008;204:505-11.
- Miyazaki T, Hotta Y. CAD/CAM systems available for the fabrication of crown and bridge restorations. *Aust Dent J* 2011;9:97-106.
- Lin WS, Metz MJ, Pollini A, Ntounis A, Morton D. Digital data acquisition for a CAD/CAM-fabricated titanium framework and zirconium oxide restorations for an implant-supported fixed complete dental prosthesis. *J Prosthet Dent* 2014;112:1324-9.
- Lee SJ, Betensky RA, Gianneschi GE, et al: Accuracy of digital versus conventional implant impressions. *Clin Oral Implants Res* 2015;26:715-9.
- Ting-Shu S, Jian S: Intraoral digital impression technique: A review. *J Prosthodont* 2015;24:313-21.
- Goracci C, Franchi L, Vichi A, Ferrari M. Accuracy, reliability, and efficiency of intraoral scanners for full-arch impressions: a systematic review of the clinical evidence. *Eur J Orthod* 2016;38:422-8.
- Müller P, Ender A, Joda T, Katsoulis J. Impact of digital intraoral scan strategies on the impression accuracy using the TRIOS Pod scanner. *Quintessence Int* 2016;47:343-9.
- Ender A, Mehl A. Accuracy of complete-arch dental impressions: a new method of measuring trueness and precision. *J Prosthet Dent* 2013;109:121-8.
- International Organization for Standardization. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results Part 1: General principles and definitions (ISO 5725-1:1994). Berlin: Beuth Verlag GmbH; 1997.
- Ahlholm P, Sipilä K, Vallittu P, Jakonen M, Kotiranta U. Digital versus conventional impressions in fixed prosthodontics: A review. *J Prosthodont* 2018;27:39-41.
- Giménez B, Özcan M, Martínez-Rus F, Pradies G. Accuracy of a digital impression system based on active triangulation technology with blue light for implants: effect of clinically relevant parameters. *Implant Dent* 2015;24:498-504.
- Grünheid T, McCarthy SD, Larson BE. Clinical use of a direct chairside oral scanner: an assessment of accuracy, time, and patient acceptance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2014;146:673-82.
- Joda T, Lenherr P, Dedem P, Kovaltschuk I, Bragger U, Zitzmann NU. Time efficiency, difficulty, and operator's preference comparing digital and conventional implant impressions: a randomized controlled trial. *Clin Oral Implants Res* 2017;28:1318-23.
- Joda T, Brägger U. Digital vs. conventional implant prosthetic workflows: a cost/time analysis. *Clin Oral Implants Res* 2015;26:1430-5.
- Joda T, Bragger U. Time-efficiency analysis comparing digital and conventional workflows for implant crowns: a prospective clinical crossover trial. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2015;30((5):1047-53.
- Ender A, Zimmermann M, Mehl A. Accuracy of complete- and partial-arch impressions of actual intraoral scanning systems in vitro. *Int J Comput Dent* 2019;22:11-9.
- Ender A, Attin T, Mehl A. In vivo precision of conventional and digital methods of obtaining complete-arch dental impressions. *J Prosthet Dent* 2016;115:313-20.