

Derleme

Diş hekimliğinde fotogrametri: bir geleneksel derleme

Özge Mine Yüceer , ¹ Pınar Çevik ¹¹Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Diş Hekimliği Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

ÖZET

Diş hekimliği hassas çalışmanın ve yapılan restorasyonların pasif uyumunun son derece önemli olduğu bir bilim dalıdır. Özellikle protetik tedavilerde protezin dişe veya implanta ve bunların çevre dokularıyla doğru ilişkisini kurabilmek için çeşitli ölçü materyalleri ve ölçü metotları geliştirilmiştir. Geleneksel yöntemde, farklı ölçü materyalleri ile alınan ölçülerden çalışma modelleri elde edilip bu modeller üzerinde restorasyon bitirilmektedir. Ne var ki, geleneksel yöntemde ölçü veya model deformasyonu dezavantaj olabilmektedir. Teknolojinin gelişmesiyle dijital diş hekimliği önem kazanmıştır. Dijital yöntemlerde genellikle ağız içi tarayıcılar ile alınan ölçü üzerinde bilgisayar destekli tasarım ve üretim yapılır. Dijital diş hekimliği restorasyon yapım süresinin kısalması ve hasta ile hekimin sunduğu konfor anlamında öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, çok üyeli implant üstü restorasyonlarda implant konumlarını model üzerine üç boyutlu olarak doğru aktarmak ve dolayısıyla yapılan protezin uyumu konusunda eksikliklerin olduğu kabul edilmektedir. Bir nesnenin birçok açıdan çekilen fotoğraflarını birbirleriyle uyumlandırarak o nesnenin uzaysal konumunu ve üç boyutlu özelliklerini tanımlamayı amaçlayan fotogrametri, birçok alanda kullanıldığı gibi diş hekimliği alanında da son zamanlarda tercih edilmektedir. Fotogrametri ile elde edilen verilerin esas modeller arasında minimal farklılık olması ve doğruluk payının yüksek olması dijital yöntemlerin eksikliklerini gidermek için önemli bir gelişmedir. Bu derlemede, fotogrametrinin diş hekimliğinde kullanımı ile ilgili bilgiler ve güncel çalışmalara yer verilmiştir.

ANAHTAR KELİMELE: dental, ölçü tekniği; dijital teknoloji; diş implantı

KAYNAK GÖSTERMEK İÇİN: Yüceer ÖM, Çevik P. Diş Hekimliğinde Fotogrametri: Bir Geleneksel Derleme. Acta Odontol Turc 2026;43(1): 33-8

Editör: Duygu Karakiş, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

YAYIN HAKKI: © 2025 Atalay ve ark. Bu eserin yayın hakkı [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) ile ruhsatlandırılmıştır. Sınırsız kullanım, dağıtım ve her türlü ortamda çoğaltım, yazarlar ve kaynağın belirtilmesi kaydıyla serbesttir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI: Bulunmamaktadır.

GİRİŞ

Fotogrametrinin Tanımı

Fotogrametri (Photogrammetry) köken olarak Yunanca “Photos+Gramma+Metron” kelimelerinden oluşmaktadır. “Photos” kelimesi ışık, “gramma” kelimesi bir şeyin çizimi ya da yazımı, metron kelimesi ise ölçüm anlamına gelmektedir. Bu durumda fotogrametri ışık yardımıyla çizerek ölçme olarak tanımlanabilir.¹

Fotogrametri, cisimler ve oluşturdukları çevreden yayılan ışınların şekillendirdiği fotografik görüntülerin ve yaydıkları elektromanyetik enerjinin kayıt, ölçüm ve yorumlama işlemleri sonunda bu cisimler ve çevre hakkında güvenilir bilgilerin elde edildiği bir teknoloji ve bilim dalıdır.²

Fotogrametri, canlı veya cansız varlıkların biçim ve karakteristik özelliklerini saptamak, ölçmek ve yorumlamakta yüksek doğruluğa sahip olarak kullanılmaktadır. Fotogrametrinin diğer ölçüm yöntemlerine göre en büyük avantajı ölçümlerin doğrudan doğruya cisim üzerinde yapılması yerine cismin fotografik izdüşümü üzerinde yapılmasıdır. Bu dolaylı ölçüm özelliği fotogrametriye farklı alanlarda uygulama olanağı vermektedir.²

Fotogrametri tekniği ile ölçülmek istenen nesnenin ve yakın çevresinin fotoğrafları çekilir. Bunların fotoğraf üzerindeki görüntüleri ölçülerek istenilen bilgiler sağlanabilir ya da özel donanım ve yazılımlar kullanılarak bu fotografik görüntüler harita veya plan biçimine dönüştürülebilir. Başka bir ifadeyle, fotogrametri fotoğraflar üzerinde yapılan ölçümler ile güvenilir bilgiler elde etme bilimi ya da sanatı olarak da tanımlanabilmektedir.³

Fotogrametri, aynı nesnenin farklı açılarından elde edilen çoklu görüntülerde tekrarlanan noktaları tanımlayarak bir nesnenin uzamsal düzenlemesini tanımlamak için üç boyutlu (3B) koordinatların üretilmesine dayanan matematiksel bir tekniktir.⁴

Makale gönderiliş tarihi: 31 Ağustos 2023; Yayına kabul tarihi: 4 Temmuz 2024

*İletişim: Dt. Özge Mine Yüceer, Gazi Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, 06490, Ankara, Türkiye
E-posta: minyuceer@gmail.com

Fotogrametrinin Tarihçesi

Fotogrametrinin tarihçesi ilk fotoğrafın elde edildiği tarihten çok daha öncelerine kadar uzanır. Bu nedenle fotogrametrinin tarihsel gelişimini fotoğrafın bulunmasından önce ve fotoğrafın bulunmasından sonra günümüze kadar olan gelişmeleri içeren 4 döneme ayırarak incelemek gerekir.^{3,5}

a) Fotoğraftan önceki gelişmeler dönemi: Bu dönemde karanlık oda kavramı tanımlanmış ve sonrasında Leonardo da Vinci karanlık odayı bir görüntüyü odaklamak için bunu kullanmıştır. Bunun yanında stereoskop tanımlanmış ve en sonunda stereo çizim yapılmış ve 1600'lerde bunun üstünden ölçümler yapılmıştır.^{1,3}

b) Fotoğraf ve ilk gelişmeler dönemi: 1827 yılına gelindiğinde Joseph Niepce 8 saatlik pozlama süresi sonunda ilk fotoğrafı elde etmiştir. Buluştan sonra gelişmelere devam eden fotoğraf, 1849'da topoğrafik harita yapımı için yersel fotoğraflar olarak Aime Laussedat tarafından kullanılmıştır. Böylece fotogrametrinin temelleri atılmıştır.^{3,6}

c) Klasik fotogrametri dönemi: 1940'lı yıllardan itibaren fotogrametrik harita yapımı için çizici, analitik stereo, tek ve çift resim değerlendirme için gerekli olan kontrol noktalarının koordinatlarının fotogrametrik yöntemle elde edilmesi yöntemi gibi gelişmeler görülmüştür.^{1,3}

d) Çağdaş fotogrametri dönemi: 1990'larda sayısal fotogrametrinin gelişimiyle birlikte dijital fotogrametri geliştirilmiştir.^{3,5}

Fotogrametriyi değerlendirme yöntemine göre sınıflandırdığımızda; Grafik (Plançete) Fotogrametri (1850-1900): Fotoğraflar üzerinden açı (doğrultu) ve uzunluk ölçümleri ile projektif ve perspektif geometrinin kavramlarını kullanarak çizgisel harita üretimi için kullanılan fotogrametri tekniğidir.³

Analog Fotogrametri (1900-1980): Optik ve/veya optik mekanik değerlendirme aletlerinde stereo olarak çekilmiş fotoğraflar kullanılarak objenin 3B modelinin stereoskopi yoluyla tekrar elde edilmesi ve objenin çizimsel yollarla değerlendirildiği fotogrametri tekniğidir.³

Analitik Fotogrametri (1970-1990): Çözümlerin matematiksel yöntemlerle yapıldığı, stereo değerlendirme aletlerine bilgisayar ve elektronik ölçüm sistemlerinin eklenmesi suretiyle bazı yöneltme, ölçüm ve değerlendirme işlemlerinin otomatik ya da yarı otomatik yollarla değerlendirildiği fotogrametri tekniğidir.³

Sayısal (Digital) Fotogrametri (1990-): Sayısal forma dönüştürülmüş veya sayısal olarak elde edilmiş stereo görüntülerin tamamen grafik işlemcili bilgisayarlar ile bilgisayar ortamında tüm değerlendirme işlemlerinin yapıldığı fotogrametri tekniğidir.^{2,3}

Fotogrametri Kullanım Alanları

Birçok farklı çalışma alanında koordinatların, mesafelerin, alan veya hacimlerin ölçülmesi gereken

durumlarla karşılaşılabilir. Bu anlamda, eldeki verileri sayısallaştırması ve mesafeden bağımsız olarak ölçüm yapabilmesi gibi özellikleri sebebiyle fotogrametrinin farklı birçok alanda kullanılması mümkündür.^{1,7} Bu alanlar jeoloji, ormancılık, tarım, kent planlaması, arkeoloji, mimarlık, uçak ve gemi yapım endüstrileri, tıp ve diş hekimliği gibi sıralanabilir.^{1,3,8}

Diş Hekimliğinde Fotogrametri

Fotogrametri birçok alanda kullanıldığı gibi teknolojinin gelişmesi ile diş hekimliği alanında da kullanılmaktadır. Diş hekimliğinin cerrahi, ortodonti, periodontoloji ve protetik diş tedavisi gibi birçok alanında veri elde etmek ve elde edilen verilerin geliştirilip sayısallaştırılması için fotogrametri ve fotogrametrik kameralar alternatif oluşturmaya başlamıştır.

- Bjorn ve diğerleri⁹ tarafından bir metrik stereo kamera ve çizim makinesi kullanılarak, kısmen sürmüş ve sürmemiş alt üçüncü azı dişlerinin çıkarılmasını takiben postoperatif ağız dışı şişliği zamanla çizelgelemek için kullanılmıştır.
- Eick ve diğerleri¹⁰ yaptıkları çalışmada geçici restorasyonlarda distorsiyonu değerlendirmiştir.
- Wen ve diğerleri¹¹ fotoğrafı yumuşak doku yüz değişikliklerinin analizinde kullanmışlardır.
- Chitraa ve diğerleri¹² fotogrametrinin ortodontik teşhis ve tedavi değerlendirmesi için kullanmışlardır. Sonuç olarak fotogrametriyi, epidemiyolojik çalışmalarda veya sefalometri gibi geleneksel teşhis yardımcılarının pratik olmadığı durumlarda kullanımının nispeten kolay ve uygun maliyetli bir araç olduğunu belirtmişlerdir.
- Salazar-Gamarra ve diğerleri¹³ ise çene-yüz defektleri olan hastaların dijital yüz ölçülerini alma yöntemi olarak mobil bir cihaz ve ücretsiz bir yazılımla fotogrametri kullanarak 3 boyutlu modeller elde etmek için yeni bir teknik üzerinde çalışmışlardır.
- Yakar ve diğerleri¹⁴ diş hekimliğinde uygulanan iki farklı insizyon çeşidinin postoperatif ağrı ve şişlik üzerine etkisinin fotogrametrik yöntemlerle incelemişlerdir. Bunların yanında,
- Damak yarıklarının incelenmesinde,¹⁵
- Hareketli bölümlü protezlerin ve dayanak dişlerin hareketinin araştırılmasında,¹⁵
- Akrilik dişlerin ve posterior kompozit materyallerin aşınmasının incelenmesinde,¹⁶
- Klinikte harcanan zamanın ve ağız içi temasın azaltılması amacıyla, hasta konforu ve rahatlığını artırmak için ağız dokularının 3 boyutlu taranmasında,¹⁷
- Radyoloji alanında doğruluğu artırma amacıyla,¹⁸
- Dental implant cerrahi planlamasında implant konumu belirlemek ve sayısallaştırmak için,^{17,19,20}
- İmplant üstü protezlerin uyumunu değerlendirmek

ve konumsal sapmalarını saptamak amacıyla,¹⁷

- Periimplantitisin gerileme miktarını değerlendirmek amacıyla da fotogrametrinin kullanıldığı bildirilmiştir.^{17,21}

Tüm bunlara ilaveten implant diş hekimliğinde hem hataları ortadan kaldırabilmek hem de verileri sayısallaştırabilmek için bir araç olarak kullanılmaya başlanmıştır.

İmplant Diş Hekimliğinde Fotogrametri

İmplant üstü tam ark sabit protezlerin yapımı son derece hassasiyet ve doğruluk gerektiren bir tedavi şeklidir. Geleneksel sistem olarak uygulanan prosedür ağız içerisinde yerleştirilen ölçü postları ile alınan ölçü içerisine yerleştirdiğimiz implant analogları ile alçı model elde edilmektedir. Böylece implantın kemik içerisindeki konumu ve yumuşak dokunun kaydı alınmaktadır. Tüm bu aşamalar protezin pasif uyumu için önemlidir.¹⁸ Ölçü postlarının ölçü içine doğru yerleştirilmemesi, mikro sızıntı, çalışma modelinin elde edilmesi sırasında oluşabilecek hatalar gibi birçok değişken protezin başarısını etkileyebilir. Aynı zamanda ölçü materyalinde veya alçıda oluşabilecek distorsiyonlardan dolayı implant analogları ve ölçü ya da alçı arasında yetersiz kilitlemeye sebep olabilmektedir. Bununla birlikte, konvansiyonel tedavide klinik işlemlerin uzun sürmesi ve hasta konforunun düşük olması farklı alternatif tedavi seçenekleri arayışına neden olmuştur.²² Bu noktada, dijital dental teknolojilerin gelişimi ile konvansiyonel tedavilere alternatif seçenekler gündeme gelmiştir.

Dijitalin diş hekimliğine girişi 1980'lerde bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve bilgisayar destekli üretim (CAM) sürecinin ortaya çıkışıyla başlamıştır. Bu sayede ağız boşluğundan direkt olarak ölçülerin alınabileceği temassız optik sistemler geliştirilmiştir.²¹

CAD- CAM teknolojisi temel olarak; Veri toplama, Veri işleme ve tasarım, üretim olmak üzere üç farklı aşamadan oluşmaktadır.

Zaman içerisinde bilgisayar destekli tanı ve tedavi gelişerek diş hekimliğinin protetik tedavi, ortodonti ve cerrahi gibi birçok alanında kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemler tek diş restorasyonundan tam ark restorasyonlara kadar geniş bir kullanım alanı edinmiştir.²³

Dijital ölçü almak hasta konforunu artırırken ölçü materyallerinden kaynaklanan olumsuz etkileri de ortadan kaldırmaktadır. Bununla birlikte direkt sanal ortamda yapılan preparasyonu değerlendirmek veya implantın protezdeki alanını değerlendirmek gibi olumlu etkileri görülmektedir.²¹

Geleneksel dijital ölçü tekniklerinde nokta bulutu temeline dayanarak ölçü elde edilir. Bu nokta çıkışması algoritması ile alınan ölçülerde ne kadar çok hizalama yapmak gerekirse yani ne kadar çok implantın ölçüsü alınmak istenirse her implantta kümülatif olarak hata oluşması söz konusudur. Sonuç olarak konvansiyonel yöntemlere göre hatayı azaltabilen ağız içi tarayıcı sistemleri tam ark restorasyonlarda hata payını en

aza indirememektedir.^{24,25} Bunun sebebi olarak tam ark restorasyonlarda olan geniş dişsiz alanlardaki referansların sınırlı olması ve klinik kullanımı etkileyen faktörler gösterilebilmektedir.^{25,26}

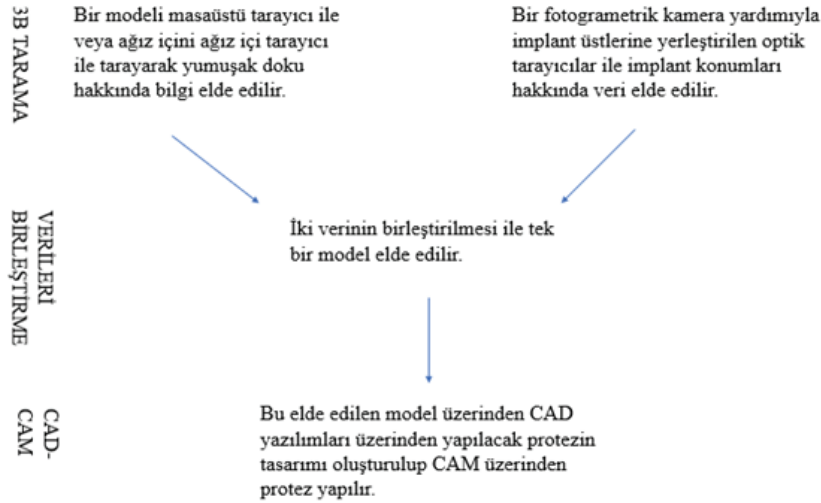
Tüm bu sistemlerdeki olumsuzlukları uygun koşullar altında 5- 5.6 µm (mikrometre) hatta 4 µm altına düşürebilen fotogrametri sistemleri; implant ölçülerinde başarıyı getiren ölçüm doğruluğu ve hassasiyeti sağlayabilmek için kullanılmaya başlanmıştır.^{18,24} Bu farklılıklar dijital ölçüde kullanılan sistemlere göre değişmekle birlikte 19-167 µm arasında değişmektedir.²⁷

İmplant Diş Hekimliğinde Fotogrametrinin Çalışma Mekanizması: Fotogrametri, belirli bir protokolü izleyerek dijital görüntüleri kaydederek nesnelerin geometrik özelliklerini ve bunların üç boyutlu uzamsal yönlerini belirlemeye yönelik bir tekniktir. Bu teknik ile hastanın ağızındaki implant konumunun sanal olarak CAD yazılım programına aktarılabilirdiği de rapor edilmiştir. Vidalı optik işaretleyiciler ile fotogrametri teknolojinin birleştirilmesinin, ağız içi implant konumlarını belirlemek ve implant destekli protezlerin yapımında kullanılabileceği bildirilmiştir.²⁸

Stereofotogrametri teknolojisinde, vida tutuculu optik belirteçlerle birlikte ağız dışı bir kamera kullanılır. Optik belirteçler her bir dayanağa konumlandırılır, ağız dışı kamera kullanılarak ve fiziksel temas olmaksızın implantların uzaysal konumları belirlenir. 3B ağız içi tarayıcılar için optik işaretleyiciler veya tarama gövdeleri, fotogrametri için optik işaretleyicilerden farklıdır. Dijital kameralarla elde edilen bir dizi iki boyutlu fotoğrafla birleştirilen bu tarama gövdeleri, ağız içi implant konumlarını sayısallaştırmak ve çok üyeli implant destekli protezlerin yapımı için kullanılmıştır.

İmplantların konumu, aralarındaki mesafe ve açılar 3B model elde edebilmenin arabirimi olarak açıklanabilen bir STL (stereolitografi) dosyası olarak saklanır; ancak bu STL dosyası yumuşak dokular veya olası dişler hakkında bilgi içermez. Bu nedenle, bir ağız içi tarayıcı ile doğrudan veya hidrokoloid ölçü maddesi ile alınan geleneksel ölçüden elde edilen modelin taranmasıyla, ayrı bir STL dosyası oluşturulur. Her iki STL dosyasının kombinasyonundan tam olarak doğru dijital ölçüler elde edilir. İmplant konumunu içeren bilgiler, sonrasında CAD yazılım programına aktarılır. (Şekil 1) ^{25,29,30}

İmplant Diş Hekimliğinde Kullanılan Fotogrametrik Kamera Tipleri: Temel cep telefonlarından karmaşık DSLR (digital single reflex camera) olarak bilinen görüntünün tek bir lensten geçip aynalı bir sistemle vizöre iletildiği fotoğraf makinelerine kadar farklı türde kameralar, fotogrametride sayısallaştırıcı olarak kullanılmıştır. Fotogrametrik kamera geniş açılı lense (24 mm f/3,5) ve iki yönlendirilmiş paralel aynaya sahip küçük formatlı bir kamera, aynı karede birden fazla görüntü yakalamak için kullanılmıştır. Doğruluğu artırmak için bir stereoskopik görüntü sistemi altına bir analitik çizici dahil edilmiştir. Yüksek kaliteli DSLR kameralar ve özel optik hedeflerden oluşan bir sistem kullanılmıştır.



Şekil 1: Fotogrametrinin implantüstü protez ölçü alımında kullanım şekli

İmplant pozisyonlarını ağız içi olarak yakalamak için ticari olarak doğru bir stereoskopik kamera tasarlanmış ve precise implants capture (PIC) kamera ismiyle üretilmiştir. Bu kamera, 2 dahili şarj bağlantılı cihaza yüksek bağlaşımlı cihaz (CCD- charge coupled device) ve 10 mm'den daha az bir hata payı ile 150 kare/dk'da PIC dayanaklarını yakalayabilen kızılötesi flaşa sahiptir.¹⁷ Araştırmacılar kolaylık, minimum ofis süresi, iyi radyografik sonuçlar ve hasta memnuniyeti için PIC kamerayı önermektedir.^{24,31,32}

Var olan kamera sistemlerinden farklı olarak dört kamera ve bir projektörden oluşan iCam4D (Imetric 4D Imaging Sârl) piyasaya sürülmüştür. İmplantların üstüne takılan özel optik işaretleyicilerin (ICamBody; Imetric 4D Imaging Sârl) görüntülerini yakalayabilmek için fotogrametri ve yapılandırılmış ışık gibi teknolojilerden faydalanmaktadır. Bu işaretleyiciler, implantların koordinatını belirlemek için kodlanmış yüksek hassasiyetli mekanik parçalardır.

Son zamanlarda, dental arkin ön kısmının 3 boyutlu konfigürasyonlarını kaydetmek için bir sayısallaştırıcı olarak FaceShape Maxi 6 (Polishape 3D) da başarıyla kullanılmıştır. Bu cihaz, çift dağılımı ve evrensel bir tetik ile farklı açılarda metal bir çerçeveye tutturulmuş altı adet yüksek kaliteli DSLR fotoğraf makinesinden oluşur.¹⁷

İmplant Diş Hekimliğinde Fotogrametrinin Değerlendirilmesi: İmplant diş hekimliğinde fotogrametrinin hassaslığının ve doğruluğunun araştırılması adına birçok çalışma yapılmıştır.^{17,33}

Zotti ve diğerleri³⁴ yaptıkları çalışmada fotogrametriyi dental model elde etmek için ağız içi ve ağız dışı tarama elde etme yöntemleri ile karşılaştırmıştır. Fotogrametrinin; kesinlik (aynı elde etme yönteminden veri kümeleri arasındaki sapma) ve doğruluk (farklı elde etme yöntemlerinden veri kümeleri arasındaki sapma) açısından değerlendirmişlerdir. Fotogrametriden elde edilen dijital modellerde yapılan ölçümler, referans alınan alçı modelde yapılan

ölçümlerle tutarlı bulunmuştur. Fotogrametri ile elde edilen her bir dijital model ve alçı model üzerinde alınan her bir ölçüm çifti arasındaki farkın ölçülmesi için gruplar arası korelasyon katsayısı 0,99'a eşit bulunmuş, bu da iki ölçüm arasında neredeyse mükemmel bir uyum olduğu anlamına gelmektedir. Bu nedenle modellerin ölçümünde hata olmadığını göstermiştir. Bu çalışmaya göre fotogrametri, bir alçı modelden başladığında elde edilen mükemmel kalite ile dijital modelleri elde etmek için iyi ve erişilebilir bir yöntem gibi görünmektedir.

Revilla leon ve diğerleri²⁸ implant pozisyonlarını geleneksel teknik fotogrametri ve ağız içi tarayıcı ile ölçerek karşılaştırmışlardır. Test edilen ticari olarak temin edilebilen fotogrametri sistemi, test edilen teknikler arasında en az doğru prosedürü temsil ederek, tüm grupların implant dayanak pozisyon çevirisi için en yüksek üç boyutlu tutarsızlığı vermiştir. Bu çalışmada tüm test gruplarında kesinlik düşük bulunmuştur ancak fotogrametri grubu, test edilen gruplar arasında en düşük kesinlik değerlerini tespit etmişlerdir.

Sallorenzo ve diğerleri³⁵ tamamen dışsız arka yerleştirilmiş implantların fotogrametrik PIC kamera ile ağız içi tarayıcısının doğruluklarını karşılaştırmışlar. Elde ettikleri veriler doğrultusunda PIC kameranın ağız içi tarayıcıdan daha iyi hassasiyete sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Gomez ve diğerleri³⁶ hazırladıkları klinik raporda çoklu implant destekli ani geçici restorasyonlar hazırlamak için üç boyutlu implant konumunu kaydetmek üzere fotogrametrinin kullanımını açıklamışlardır. Stereofotogrametrik tarama, implant destekli ani protezlerin ölçülerini almak için güvenilir bir yöntem gibi görüldüğü kanısına varmışlardır.

Peñarrocha-Diago ve diğerlerinin²⁴ yaptığı klinik çalışmada, tam ark implant destekli protezlerde geleneksel ölçülerin (kontrol grubu) ve dijital ölçülerin stereofotogrametri ile hasta ve diş hekimi memnuniyetini ve çalışma sürelerini karşılaştırmışlardır. Bununla birlikte protezin başarı oranı, implantın

sağkalımı, implantların etrafındaki marjinal kemik kaybı ve protezin devamlılığı da analiz edilmiştir. Stereofotogrametri kullanan dijital ölçülerin, geleneksel ölçülere bir alternatif olabileceği belirtilmiştir. Deney grubunda hasta ve diş hekimi memnuniyeti artmış ve çalışma süresi kısalmıştır. İki grup arasında implant başarı oranı, implant sağkalımı, marjinal kemik kaybı veya protezin devamlılığı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Sinada ve diğerleri³⁷ ise fotogrametri kullanımı ile dijital protetik protokol ile tedavi edilen hastanın klinik raporu sonucunda bu tekniğin süreci basitleştirerek verimli dijital bir iş akışı oluşturduğuna karar verilmiştir.

Hussein'in¹⁷ yaptığı sistematik derlemede yayınlar fotogrametrinin iki sebeple kullanılmasına bağlı olarak gruplandırılmıştır. Birincisi implant konumlarının transferi ikincisi ise protez planlamasında veya uyumunu gözetebilmek için doku görüntüleri elde etmektir. İmplant konum transferinde fotogrametrinin kullanılabileceği ilk olarak Lie ve diğerleri¹⁹ tarafından rapor edilmiştir. Hussein derlemesinde¹⁷ son on yılda PIC kamera ve iCam4D sistemlerinin kullanılmasıyla rutin klinik tedavi için fotogrametrinin geçerli olduğunu bildirmiştir. Derlemede belirtildiği gibi fotogrametrinin kullanılan ikinci alanı olan doku ve 3B taraması için üç makale değerlendirilmiştir. Bu değerlendirilen iki çalışmada^{38,39}, klinik kullanım için fotogrametriyi doğrulayan iyi sonuçlar bildirilmesine rağmen tek bir makalede⁴ ise düşük doğruluk bildirmiştir. Sonuçlardaki bu fark, esas olarak uygulanan sayısallaştırma araçlarının verimliliğindeki farklılıklara bağlanabilir.

Örtorp ve diğerleri³³ yaptıkları çalışmada implant konumlarını kaydetmek için üç boyutlu bir fotogrametrik tekniğin kesinliğini ve doğruluğunu *in vitro* olarak test etmek istemiş ve bu tekniği, implant modellerini imal etmek için rutin olarak kullanılan iki geleneksel ölçü tekniğiyle karşılaştırmışlardır. Mevcut çalışmada, fotogrametrinin implantların konumlarını kaydetmek için geçerli bir seçenek olduğu ve geleneksel ölçü teknikleriyle karşılaştırılabilir bir kesinliğe sahip olduğu bulunmuştur.

Pradies ve diğerleri⁴⁰ ise yaptıkları klinik çalışmada kızılötesi flaşlı bir stereo kamera, implantlara vidalanan özel işaretleyiciler ile implantların konumunu belirlenmiştir. Bu işlem, her bir implantın x, y ve z koordinatlarının ve aralarındaki mesafelerin kaydedilmesine dayanmaktadır. Bu bilgi bir stereolitografik (STL) dosyasına dönüştürülmektedir. Yumuşak doku bilgilerini eklemek için, kullanıcının ağız içi veya ağız dışı tarayıcı kullanarak başka bir STL dosyası alması gerekir. Sonuç olarak stereofotogrametrik teknolojinin, çoklu implant ölçüleri oluşturmak için uygulanabilir, doğru ve kolay bir teknik olduğunu tespit etmişlerdir.

SONUÇ

Teknolojinin gelişmesiyle fotogrametri kavramı birçok alanda olduğu gibi diş hekimliği alanında kendine yer edinmiştir. Hastaya ve hekime kolaylık sağlaması ve yapılan protetik tedavilerin başarı oranını artırdığı birçok çalışma ile kabul edilmiş olsa da farklı klinik durumlardaki hassasiyeti ve doğruluğu kanıta dayalı araştırmalarla değerlendirilmelidir.

KAYNAKÇA

1. Atkinson KB. Introduction to modern photogrammetry. The Photogrammetric Record; 2003.
2. Şeker DZ, Duran Z, Ege A. Digital fotogrametrinin tıp alanında uygulanmasına bir örnek. 30. Yıl Sempozyumu, Konya; 2002;382-8.
3. Yaşayan A, Uysal M, Varlık A, Avdan U. Fotogrametri. 1.Baskı. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları. 2011;2295.
4. Stuanı VT, Ferreira R, Manfredi GG, Cardoso MV, Sant'Ana AC. Photogrammetry as an alternative for acquiring digital dental models: A proof of concept. Med Hypotheses. 2019;128:43-9.
5. Granshaw S. Close-range photogrammetry and 3d imaging. Photogramm Rec 2014;29:125-7.
6. Şenatile B, Kavut İE. Fotoğraf teknolojisinin gelişimi ve mimari fotoğrafa etkisi: Geliştirilmiş dijital telefon kameraları ile mimari çekimlerin etkileşiminin incelenmesi. Journal of FSMVU Faculty of Architecture and Design. 2022;3:231-44.
7. Linder W. Digital photogrammetry: A practical course. 4th ed. Heidelberg: Springer-Verlag; 2009;111-40.
8. Mitchell HL. Applications of digital photogrammetry to medical investigations. ISPRS J Photogramm Remote Sens 1995;50:27-36.
9. Björn H, Lundqvist C, Hjelmsström P. A photogrammetric method of measuring the volume of facial swellings. J Dent Res 1954;33:295-308.
10. Eick JD, McGivern RF, Sorensen SE. A photogrammetric system for measuring topographical changes of anterior restorations. J Dent Res 1971;50:239.
11. Wen YF, Wong HM, McGrath CP. Longitudinal photogrammetric analysis of soft tissue facial changes: a systematic review of the literature and a summary of recommendations. J Craniofac Surg 2015;26:1830-4.
12. Chitra P, Prakash A. Photogrammetry as a tool to aid orthodontic diagnosis and treatment assessment. J Contemp Orthod 2017;1(2):46-51.
13. Salazar-Gamarra R, Seelaus R, da Silva JV, da Silva AM, Dib LL. Monoscopic photogrammetry to obtain 3D models by a mobile device: a method for making facial prostheses. J Otolaryngol Head Neck Surg 2016;45(1):1-3.
14. Yakar M, Yıldız F, Zeybek M, Kocaman E, Dolanmaz D, Böge S, Arıcıoğlu C, Özdemir B. Diş hekimliğinde uygulanan iki farklı insizyon çeşidinin postoperatif ağrı ve şişlik üzerine etkisinin fotogrametrik yöntemlerle incelenmesi. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı. 2011.
15. Chadwick RG. Close range photogrammetry-a clinical dental research tool. J Dent 1992;20:235-9.
16. Ogle RE, Ortman LF. Measuring wear of artificial teeth with stereophotography: Part I. J Prosthet Dent 1985;53:807-12.
17. Hussein MO. Photogrammetry technology in implant dentistry: A systematic review. J Prosthet Dent 2021;130:318-26.
18. Peñarocha-Oltra D, Agustín-Panadero R, Bagán L, Giménez B, Peñarocha M. Impression of multiple implants using photogrammetry: description of technique and case presentation. Med Oral Patol Oral Cir Bucal 2014;19:e366-71.
19. Lie A, Jemt T. Photogrammetric measurements of implant positions. Description of a technique to determine the fit between implants and superstructures. Clin Oral Implants Res 1994;5:30-6.

20. Frisardi G, Chessa G, Barone S, Paoli A, Razionale A, Frisardi F. Integration of 3D anatomical data obtained by CT imaging and 3D optical scanning for computer aided implant surgery. *BMC Med Imaging* 2011;11:1-7.
21. Bohner L, Gamba DD, Hanisch M, Marcio BS, Neto PT, Laganá DC, *et al.* Accuracy of digital technologies for the scanning of facial, skeletal, and intraoral tissues: A systematic review. *J Prosthet Dent* 2019;121:246-51.
22. Albayrak B, Sukotjo C, Wee AG, Korkmaz İH, Bayındır F. Three-dimensional accuracy of conventional versus digital complete arch implant impressions. *J Prosthodont* 2021;30:163-70.
23. Mizumoto RM, Yilmaz B. Intraoral scan bodies in implant dentistry: A systematic review. *J Prosthet Dent* 2018;120:343-52.
24. Peñarrocha-Diogo M, Balaguer-Martí JC, Peñarrocha-Oltra D, Balaguer-Martínez JF, Peñarrocha-Diogo M, Agustín-Panadero R. A combined digital and stereophotogrammetric technique for rehabilitation with immediate loading of complete-arch, implant-supported prostheses: A randomized controlled pilot clinical trial. *J Prosthet Dent* 2017;118:596-603.
25. Badur S, Sarıdağ S. Tam-ark implant-destekli sabit protezlerde fotogrametri tekniğinin değerlendirilmesi. *Dent & Med J-R* 2022;4:90-102.
26. Paratelli A, Vania S, Gómez-Polo C, Ortega R, Revilla-León M, Gómez-Polo M. Techniques to improve the accuracy of complete-arch implant intraoral digital scans: a systematic review. *J Prosthet Dent* 2021;129:844-54.
27. Amin S, Weber HP, Finkelman M, El Rafie K, Kudara Y, Papaspyridakos P. Digital vs. conventional full-arch implant impressions: A comparative study. *Clin Oral Implants Res* 2017;28:1360-7.
28. Revilla-León M, Att W, Özcan M, Rubenstein J. Comparison of conventional, photogrammetry, and intraoral scanning accuracy of complete-arch implant impression procedures evaluated with a coordinate measuring machine. *J Prosthet Dent* 2021;125(3):470-8.
29. Agustín-Panadero R, Peñarrocha-Oltra D, Gomar-Vercher S, Peñarrocha-Diogo M. Stereophotogrammetry for Recording the Position of Multiple Implants: Technical Description. *Int J Prosthodont* 2015;28:631-6.
30. Revilla-León M, Rubenstein J, Methani MM, Piedra-Cascón W, Özcan M, Att W. Trueness and precision of complete-arch photogrammetry implant scanning assessed with a coordinate-measuring machine. *J Prosthet Dent* 2021;129:160-5.
31. Penarrocha-Oltra D, Agustín-Panadero R, Pradies G, Gomar-Vercher S, Penarrocha-Diogo M. Maxillary full-arch immediately loaded implant-supported fixed prosthesis designed and produced by photogrammetry and digital printing: A clinical report. *J Prosthet Dent* 2017;26:75-81.
32. Romero L, Jiménez M, Espinosa MD, Domínguez M. New design for rapid prototyping of digital master casts for multiple dental implant restorations. *PloS One* 2015;10:e0145253.
33. Örtorp A, Jemt T, Bäck T. Photogrammetry and conventional impressions for recording implant positions: a comparative laboratory study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2005;7:43-50.
34. Zotti F, Rosolin L, Bersani M, Poscolere A, Pappalardo D, Zerman N. Digital dental models: is photogrammetry an alternative to dental extraoral and intraoral scanners?. *Dent J* 2022;10:24.
35. Sallorenzo A, Gómez-Polo M. Comparative study of the accuracy of an implant intraoral scanner and that of a conventional intraoral scanner for complete-arch fixed dental prostheses. *J Prosthet Dent* 2022;128:1009-16.
36. Gómez-Polo M, Gómez-Polo C, Del Río J, Ortega R. Stereophotogrammetric impression making for polyoxymethylene, milled immediate partial fixed dental prostheses. *J Prosthet Dent* 2018;119:506-10.

37. Sinada N, Papaspyridakos P. Digitally designed and milled verification jigs generated from photogrammetry data acquisition: a clinical report. *J Prosthodont* 2021;30:651-5.

38. Matsuda T, Goto T, Kurahashi K, Kashiwabara T, Ichikawa T. Development of a digital impression procedure using photogrammetry for complete denture fabrication. *Int J Comput Dent* 2016;19:193-202.

39. Lavorgna L, Cervino G, Fiorillo L, Di Leo G, Troiano G, Ortensi M, Galantucci L, Cicciù M. Reliability of a virtual prosthodontic project realized through a 2d and 3d photographic acquisition: An experimental study on the accuracy of different digital systems. *Int J Environ Res Public Health* 2019;16:5139.

40. Pradies G, Ferreiroa A, Özcan M, Giménez B, Martínez-Rus F. Using stereophotogrammetric technology for obtaining intraoral digital impressions of implants. *J Am Dent Assoc* 2014;145:338-44.

Photogrammetry in dentistry: a traditional review

ABSTRACT

Dentistry is a branch of science in which precision work and the passive and correct fit of the restorations are extremely important. Especially in prosthetic treatments, various impression materials and impression methods are developed to ensure the desired relationship of the prosthesis to the tooth or implant and their surrounding tissues. As a traditional method, restoration is made by obtaining a plaster model from the measurement taken with impression materials. With this method, there are disadvantages such as measurement or model deformation. There is a transition from traditional methods to digital methods with the development of technology. As digital methods, computer-aided design and computer-aided production are made on the impression taken with intraoral scanners. Although it is accepted that the restoration made in this way shortens the construction time and increases patient comfort, it is accepted that there are deficiencies in transferring the implant positions on the model in three dimensions, and thus placing the prosthesis in the mouth sensitively and passively, especially in implant-supported dental restorations. For this reason, photogrammetry, which aims to determine the spatial position and three-dimensional properties of an object by aligning the photographs taken from many angles, is a preferred method in the field of dentistry due to its versatile applications. Its high accuracy and minimal deviation from the actual model are significant advancements in precision-derived dental procedures. This review highlights the information about the use of photogrammetry in dentistry and current research.

KEYWORDS: impression technique; dental; digital technology; dental implant