

DERLEME

Ortodontide üç boyutlu görüntüleme sistemleri: Literatür derlemesi

Kübra Gülnur Topsakal(0000-0002-2717-3492)^α, Yasemin Nur Korkmaz(0000-0003-2261-6925)^β

Selcuk Dent J, 2018; 5: 186-193 (Doi: 10.15311/selcukdentj.306153)

Başvuru Tarihi: 14 Nisan 2017
Yayına Kabul Tarihi: 19 Aralık 2017

ÖZ

Ortodontide üç boyutlu görüntüleme sistemleri: Literatür derlemesi

Üç boyutlu görüntüleme sistemleri son 20 yıldır ortodontide ve oral ve maksillofasiyal cerrahide popüler teşhis ve öngörü yöntemi olmaya başlamıştır. Bilgisayarlı Tomografi sistemleri üç boyutlu kesit görüntülerinin bilgi üretmek için kullanılabilmesini açıkça göstermiştir. 1980'lerin başlarında araştırmacılar üç boyutlu görüntülemeyi kraniyofasiyal deformiteler için geliştirmeye başlamışlardır. Ortodontide üç boyutlu görüntülemenin çeşitli kullanım amaçları vardır. Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG), diğer bir üç boyutlu görüntüleme tekniğidir ve çalışma prensibi açısından farklıdır, avantajı dokuların iyonize edici ışınlarla maruz kalmaması, görüntü için incelenmek istenen bölgeye radyo dalgaları gönderilmesi ve hidrojen atomlarının kullanılmasıdır. En son geliştirilen teknoloji ise 3dMD gibi üç boyutlu yüz tarama sistemleridir. Senkronize edilmiş görüntüler ile x,y ve z koordinat düzleminde 3 boyutlu olarak görüntü verilir. Yazılım aynı zamanda görüntü işleme, haritalama ve ölçümler için de kullanılmaktadır ve kusursuz 3 boyutlu görüntüler elde etmek için kamera sistemi ile kalibre edilmiştir. Sonuç olarak üç boyutlu görüntüleme sistemleri son teknolojilere paralel olarak gelişmektedir ve hem diş hekimliğinde hem de özel olarak ortodonti alanında popülerliğini uzun süre koruyacağı şimdiden öngörülmektedir.

ANAHTAR KELİMELELER

3dMD, bilgisayarlı tomografi, manyetik rezonans görüntüleme

ABSTRACT

3-Dimensional imaging systems in orthodontics: Review of literature

Three-dimensional imaging systems have become popular diagnostic and predictive methods in orthodontics and oral and maxillofacial surgery for the last 20 years. Computerized tomography systems have clearly shown that three-dimensional cross-sectional images can be used to derive knowledge. In the early 1980s, researchers began investigating three-dimensional imaging for craniofacial deformities. Three-dimensional imaging systems have several uses in orthodontics. Magnetic Resonance Imaging (MRI) is another three-dimensional imaging technique and differs in terms of operating principle, the advantage is that tissues are not exposed to ionizing radiation, radio waves are sent to the region to be examined for imaging and hydrogen atoms are used. The latest developed technology is 3D face scanning systems such as 3dMD. Synchronized images are displayed in 3D in the x, y, and z coordinate planes. The software is also used for image processing, mapping and measurements and has been calibrated with the camera system to produce perfect 3D images. As a result, three-dimensional imaging systems are developed in parallel with the latest technologies and it is already predicted that it will maintain its popularity in dentistry, especially orthodontics, for a long time.

KEYWORDS

3dMD, computer tomography, magnetic resonance imaging

Üç boyutlu görüntüleme son 20 yıldır ortodontide ve oral ve maksillofasiyal cerrahide kullanım alanı bulmaya başlamıştır. Sefalostatın başlangıcından itibaren Broadbent, kraniyofasiyal formun distorsiyonsuz haline ulaşabilmek için lateral ve anteroposterior sefalometrik filmlerin koordinasyonunun önemini vurgulamıştır.¹ Bu uygulama ile ilgili ilk rapor Singh ve Savara² tarafından kız çocuklarındaki maksiller gelişimin üç boyutlu analizini yaptıkları çalışmalarında verilmiştir. Bilgisayar programları o tarihten itibaren dijital sefalogram görüntülerinden doğrudan doğruya üç boyutlu koordinatları toplamak için geliştirilmiş, elle izleme ve fare tabanlı X-Y sayısallaştırma tabletlerine olan ihtiyacı ortadan kaldırmıştır.^{3,4}

Stereofotogrametri yöntemi, fotoğrafı çekilen objenin daha detaylı olmasını sağlamak için eski fotogrametrik tekniklerden geliştirilmiştir. Bu teknik, herhangi bir perspektiften izlenebilen ve herhangi bir yönden ölçülebilen bir üç boyutlu model oluşturmak için, bir veya daha fazla birleşen görüntü çiftini kullanır. Stereofotogrametri ile ilgili en erken klinik çalışma Thalmann-Degan tarafından 1944 yılında yapılan ortodontik tedavinin neden olduğu fasiyal morfolojik değişikliklerin kaydedildiği çalışma olmuştur.⁵ Bilgisayar teknolojilerindeki avantajlarla birlikte, yeni jenerasyon bilgisayarlı stereofotogrametri teknikleri, yakalama ve oluşturma prosedürlerini daha hızlı, doğru ve basit

^α Erciyes Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı, Kayseri

^β Abant İzzet Baysal Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı, Bolu

hale getirmiştir. Diğer taraftan ilk ticari Bilgisayarlı Tomografi (BT) 1972 de kullanıma sunulmuştur. Kısa süre sonra, üç boyutlu kesit görüntülerinin bilgi üretmek için kullanılabileceği açıkça görülmüştür. 1980'lerin başlarında araştırmacılar üç boyutlu görüntülemeyi kraniofasial deformatörler için araştırmaya başlamışlardır. İlk simülasyon programı 1986'da kraniofasial cerrahi için geliştirilmiştir. Kısa bir süre sonra ise BT ve Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG)'in temellerini ve tekniklerini anlatan ilk üç boyutlu görüntüleme ders kitabı çıkmıştır. Daha sonraları ise üç boyutlu görüntüleme, 'çok boyutlu tıbbi yapıların çeşitli görselleştirme, manipülasyon ve analiz şekilleri ile uğraşan' kendi disiplinine dönüşmüştür.⁶

Üç boyutlu medikal görüntüleme, anatomik data diagnostik görüntüleme malzemeleri kullanılarak kaydedilir ve bilgisayar tarafından işlenir, daha sonra ise iki boyutlu monitörlerle derinlik verecek şekilde görüntülenir. Bu derinlik algısı görüntülerin üç boyutlu görülmesini sağlar.⁷ Ortodontide üç boyutlu görüntülemenin uygulamaları arasında, diş-iskelet sistemi ilişkileri ve yüz estetiğinin öncesi ve sonrası ortodontik değerlendirmesi, yumuşak ve sert dokulara yönelik ortodontik sonuçların denetlenmesi, üç boyutlu tedavi planlaması ve üç boyutlu yumuşak ve sert doku tahmini bulunmaktadır. Üç boyutlu olarak hazırlanmış özelleştirilmiş ark telleri, tedavi öncesi planlama ve araştırma için üç boyutlu yüz, iskelet ve diş kayıtlarının arşivlenmesi ortodontide üç boyutlu modellerin faydalarındandır.

Yıllardır yüz yumuşak dokularını ölçmek için çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Direkt antropometri⁸, 2 boyutlu (2B) fotogrametri⁹, lateral sefalometri¹⁰, konik ışınli bilgisayarlı tomografi (KIBT) ve yüzey tarama yöntemleri (lazer tarama, Moire topografisi ve üç boyutlu 3D stereofotogrametrik yöntem) bunlardan bazılarıdır.¹¹ Direkt antropometrik ölçüm güvenilir ve uygun bir yöntemdir. Farkas ve ark.⁹ yüz ölçümleri için kullanılabilen doğrudan antropometrik ölçümlerin geniş bir veritabanını oluşturmak için önemli çalışmalar yapmışlardır. Bununla birlikte, yüz ölçümleri için altın standart olarak kabul edilen doğrudan antropometrinin bazı dezavantajları vardır; örneğin zaman alıcıdır ve hasta uyumluluğunu gerektirir.¹² Frontal ve profil fotoğrafları genellikle fotogrametrik ölçüm için kullanılır. İki boyutlu görüntüler (fotoğraf, lateral sefalometri) dinamik bir nesnenin anlık görüntüsüdür ve bu nedenle yalnızca edinim sırasında işbirliği gerektirirler ve doğrudan ölçmeden daha kolay elde edilebilirler.¹³ Öte yandan, iki boyutlu görüntüleme yöntemleri ile büyütme ve bozulma sorunları ortaya çıkabilir ve birçok değişken, aydınlatma değişiklikleri ve nesne-kamera mesafesi gibi, ölçme standardizasyonunu etkiler. Ayrıca, bir üç boyutlu nesnenin iki boyutlu enine kesit görüntülerinin değerlendirilmesinde önemli yetersizlikleri vardır.¹⁴

Bu derlememizde kraniofasial morfolojiyi ve bunların uygulamalarını kaydeden üç boyutlu teknikler üzerinde durulacak ve bu tekniklerin ortodonti branşındaki kullanım alanlarından bahsedilecektir.

Üç Boyutlu Görüntüleme Kullanılan Yöntemler

1. Bilgisayarlı tomografi (BT)

BT, orofasiyal yapıların incelenmesine imkân verdiği için geliştirildiği günden bu yana büyük ilgi görmektedir. Fakat yüksek radyasyona sahip olması, fazla alan kaplaması ve yüksek maliyeti olması diş hekimliğinde kullanımını sınırlamaktadır. Konik Işınli Bilgisayarlı Tomografi (KIBT) bu konuda daha avantajlıdır¹⁵, daha düşük doz radyasyon içerir ve daha uygun ekipmanlar kullanılarak sonuçlar elde edilir.¹⁶ İlk defa 1982'de anjiyografi için üretilmiştir.¹⁷ Diş hekimliği için üretilen ilk KIBT cihazı ise 1987'de geliştirilmiştir.^{18, 19}

KIBT, iki boyutlu bir detektöre merkezlenmiş koni şeklinde bir X-ışını demetini temel alan bir tıbbi görüntü toplama tekniğidir. Kaynak dedektör sistemi, bir dizi iki boyutlu görüntü üreten nesne etrafında bir rotasyon gerçekleştirir. Görüntüler, 1984 yılında Feldkamp ve ark.²⁰ tarafından geliştirilen orijinal koni ışını algoritmasının bir modifikasyonu kullanılarak üç boyutlu bir veri kümesinde yeniden oluşturulmuştur. Bu teknik, mikro-BT gibi farklı endüstriyel ve biyomedikal uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. İlk klinik uygulamalar arasında tek foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi (SPECT), anjiyografi ve görüntü kılavuzluğunda radyoterapi vardı. Oral ve maksillofasial bölge için adanmış KIBT tarayıcıları 1990'ların sonunda Japonya'da Arai ve ark.²¹ ve İtalya'da Mozzo ve ark.¹⁸ tarafından kullanılmaya başlanmıştır. O zamandan beri maksillofasial bölgedeki bu yeni görüntüleme tekniğine farklı araştırma grupları tarafından bir ilgi patlaması olmuştur. İlk prototiplerin daha hızlı ve daha iyi adanmış tarayıcılarla hızlı bir şekilde gelişmesi, yeni dedektör teknolojisinin geliştirilmesi ve piyasada bulunan yaygın kişisel bilgisayarların artan bilgi işlem gücü ile sağlanmıştır.

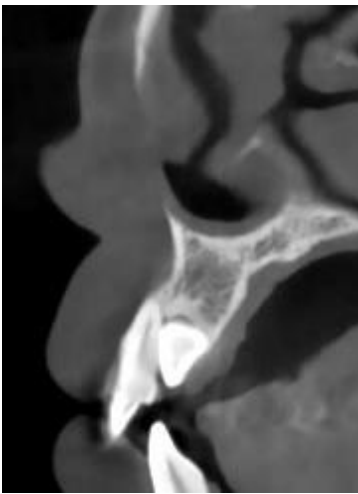
KIBT anatomik noktalar, dentoalveolar yapılar ve implant değerlendirmeleri, fasiyal travmalar ve fraktürler, kemik patolojileri, TME bozuklukları, paranazal sinüsler, maksillofasial yumuşak dokular, fasiyal büyüme bozuklukları, tükürük bezleri gibi diş hekimliği ile ilgili alanlarda teşhise yardımcı olması açısından konvansiyonel tekniklerden üstündür. Eğer rutin alınan radyografiler teşhise yardımcı olmazlarsa KIBT bu konuda teşhisi doğru koymak ve derinleştirmek için daha avantajlıdır.

Ortodontide de KIBT kullanım alanı bulmaktadır; sürme problemleri²², diş ve kemik mineralizasyonu²³, yaş tespiti²⁴, fasiyal büyümeler²⁵ yardımcı olacağı alanlardan bazılarıdır. Ortodontinin diğer ilgilendiği bir konu da gömülü dişlerdir, genellikle en sık olarak üçüncü molarlar gömülü kalırlar, daha sonra ise sırasıyla maksiler kanin ve maksiler santral dişler gelir. Bu dişlerin konumlarının tam olarak anlaşılması ve eğer çekilecekse de cerraha yol göstermesi amacıyla konvansiyonel tekniklerden ziyade yine KIBT kullanılmaktadır.²⁶ Ektopik olarak süren veya tam sürememiş gömülü kanin dişlerin doğru konumlarına alınabilmesi ve yapılacak cerrahi müdalenin en az invaziv olması için de iyi alınmış bir KIBT görüntüsü hem cerraha hem de ortodontiste yol gösterir.²⁷ Gömülü kanin dişin diğer bir olumsuz sonucu lateral dişin kökünde rezorpsiyona neden olmasıdır. Fakat KIBT kullanımının artması ile bu durumun ve ağız içi anomalilerin (oral kistler/süpernumererer dişler gibi) teşhisinin daha kolay olduğu görülmüştür (Şekil 1-Şekil 2).²⁸



Şekil 1.

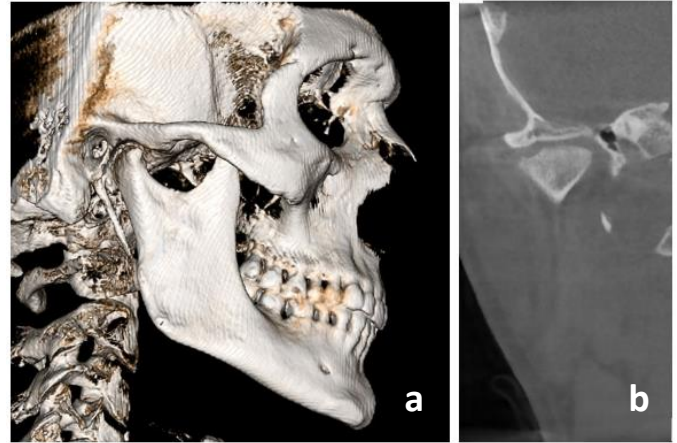
Gömülü kanin dişin üç boyutlu KIBT görüntüsü



Şekil 2.

Gömülü kanin dişin sagittal kesitteki KIBT görüntüsü görüntüsü

Yine hastaların ağrı ve disfonksiyonla sık sık ortodonti kliniğine başvurduğu temporomandibular eklem problemleri de konvansiyonel radyografik tekniklerle temporal kemiğin bölgeye yakın olması sebebiyle yeteri kadar görüntülenemez, bu konuda da KIBT düşük dozda ve yüksek kalitede görüntüler verir.^{15,29,30} Ayrıca lateral sefalometrik filmlerde kondil başı ve eklem çukuru sadece lateralden görüntülenebilirken, KIBT ile hem frontal hem de aksiyel kesit alınabilir (Şekil 3-a). Fakat yumuşak dokuları görüntülemeye KIBT yetersiz kaldığı için, TME bölgesindeki disk gibi yumuşak dokuların görüntülenmesi konusunda başarılı değildir (Şekil 3-b).³¹

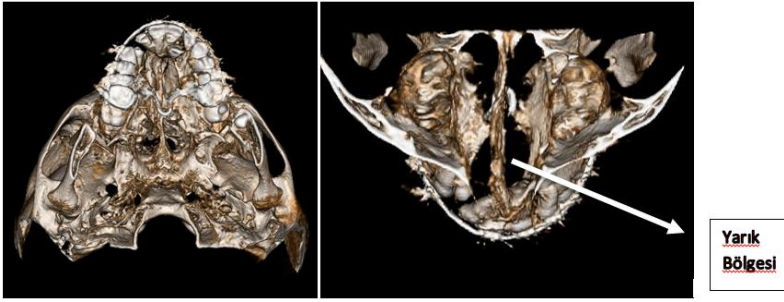


Şekil 3.

- a) Kondil başının lateralden 3 boyutlu görüntüsü
- b) Kondil başının frontal düzlemdeki 3 boyutlu görüntüsü

KIBT dudak ve damak yarığına sahip hastaların değerlendirilmesinde de önemli avantajlara sahiptir. Medikal alanda kullanılan BT'ler de bu amaçla kullanılabilir fakat tek bir doz ile fazla radyasyona sahip olmaları nedeniyle çocuklar için uygun olmayan bir kullanıma sahiplerdir.³² KIBT'ler ise hem radyasyon dozunu azalttığı hem de baş boyun bölgesine özel yapıları gösterebildiği için dudak damak yarığına sahip hastalarda popülerlik kazanmıştır. Ayrıca KIBT'ler daha detaylı görüntü verdikleri için bu hastaların cerrahi tedavisinde de önemli bir yere sahiptir (Şekil 4).³³

KIBT'nin avantajlarının yanında bazı dezavantajları da vardır. Görüntü kalitesini zayıflatan en önemli neden artefaktlardır. Artefakt, cisim ile alakası olmayan bozukluk anlamına gelir. Artefaktlar genellikle metal restorasyonlar veya braketler nedeniyle oluşur. Ayrıca radyasyon dağılımına bağlı olarak görüntünün izlenmesine engel olan dansite değişiklikleri (noise) de oluşabilir. KIBT'nin en önemli dezavantajı ise yumuşak dokuların görüntülenmesinin sınırlı olmasıdır.



Şekil 4.

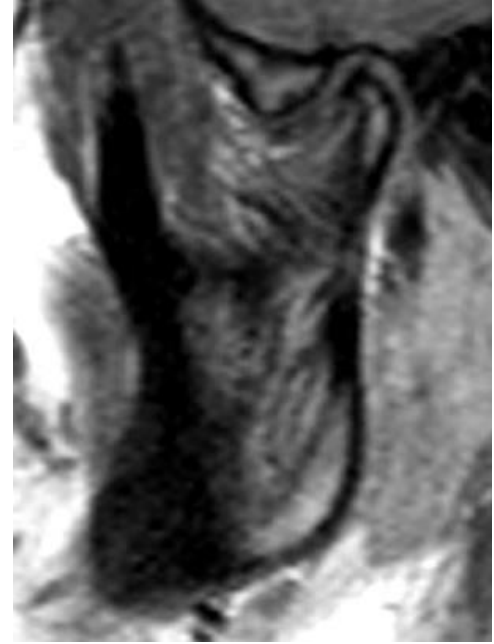
Dudak damak yarığına sahip bir hastanın KIBT görüntüsü

2. Manyetik rezonans görüntüleme (MRG)

MRG, diğer görüntüleme tekniklerinden çalışma prensibi açısından farklıdır. Örneğin BT dokuların radyasyonu emme gücünü kullanırken MRG dokulardaki su molekülü miktarlarını kullanır. MRG'nin en önemli avantajı dokuların iyonize edici ışınlarla maruz kalmaması, görüntü için incelenmek istenen bölgeye radyo dalgaları gönderilmesi ve hidrojen kullanılmasıdır.^{34,35} Su ve yağdan zengin olan bölgeler daha dansitesi yoğun bir görüntü verirler.³⁶ Bu yoğunluğa göre bilgisayar ortamında görüntü elde edilir. MRG noninvaziv bir teknik olduğu için diş hekimliğinde de diagnostik tanı amacıyla yer bulmuştur ve gitgide de önem kazanmaktadır. Tekniğin sensitivitesi yüksektir fakat spesifitesi bu derece yüksek değildir.

Bu tekniğin avantajları; noninvaziv olması, iyonize radyasyon salmaması, yumuşak dokuların değerlendirilebilmesi, doğrudan kesitsel görüntü elde edilebilmesi, doku karakterizasyonu yapabilmesi, bilinen biyolojik bir hasar oluşturmamasıdır.^{37,38} Yöntemin dezavantajları ise; disk perforasyonlarının görüntülenebilmesi ama artrografi kadar doğru sonuçlar alınamaması, kemik ve kalsifikasyonun iyi görüntülenememesi, erken degeneratif lezyonların net olarak seçilememesidir. Bunların yanında kalp kapağı protezi taşıyanlarda inceleme yapılamaması ve pahalı olması da diğer dezavantajlarıdır.^{36,39}

MRG'nin diş hekimliğinde en çok kullanıldığı alan ise temporomandibular eklem görüntülenmesindedir. Konvansiyonel röntgenler ve KIBT, kemik yüzeyleri mükemmel yakın gösterse de bu filmler eklem yumuşak doku kısımlarını net olarak göstermez. Ayrıca diskin pozisyonu ve fonksiyonu hakkında da detaylı bilgi vermez. MRG ise hem diskin yumuşak dokularını, hem kondil ve artiküler çıkıntıya bağlı anomalileri, hem de internal eklem anatomisini çok iyi tanımlar.³⁵ Birçok TME disfonksiyonu tanımlanmasına rağmen en yaygın olanı internal eklem bozukluğudur ve bu durum en iyi şekilde MRG ile saptanır.³⁵ Açık-kapalı ağız konumu görüntülerinde eklem ile birlikte disk konumu da değerlendirilebilir ve böylece eklem durumu hakkında oldukça değerli bilgiler verebilir. Ayrıca MRG çene-yüz bölgesindeki yarık damak dudak vakalarında, çene kistlerinde, sinüzitte ve malin lezyonların tanısında da başarıyla kullanılır. Fakat diş hekimliğinde en yaygın kullanıldığı alan TME rahatsızlıklarıdır (Şekil 5).³⁵



Şekil 5.

Disfonksiyonu bulunan bir hastanın MR görüntüsü

3. 3dMD kamera sistemi ve yazılımı

3dMD yüz tarama sistemi ilk olarak 1999'da tanıtılmış üçüncü nesil bir tarama sistemidir. Bu sistem sayesinde hastaların üç boyutlu görüntüleri tedavi öncesinde ve sonrasında hem hasta hem de hekim tarafından izlenebilir. Sağlam ve kompakt bir sistem olarak tasarlanmıştır. İki kızıl ötesi ve bir de renkli kamera olmak üzere toplam 6 kameradan oluşan bu sistem, kameraların belirli açı ve metrik değerlerde yerleştirilmesi ile 180 derece açıyı kapsayan kulaktan kulağa yüz çekimi yapar. Senkronize edilmiş görüntüler x,y ve z koordinat düzleminde 3 boyutlu poligonal yüzey ağı (mesh'i) yaratır. Seri halde veya tek çekim yapılabilir. Yazılım aynı zamanda görüntü işleme, haritalama ve ölçümler için de kullanılmaktadır ve kusursuz 3 boyutlu görüntüler elde etmek için kamera sistemi ile kalibre edilmiştir. 3dMD Face (3dMD, Atlanta, GA, ABD) (Şekil 6) görüntüleme sistemi ile elde edilen görüntüler 3dMDvultus (3dMD, Atlanta, GA, ABD) yazılım programı ile ölçülerek veriler elde edilir (Şekil 8). Bu yöntem ile yüz 1,5 milisaniye ile tarama yapar ve bu sayede hareketten kaynaklı görüntü bozulmalarının önüne geçilir (Şekil 7).⁴⁰



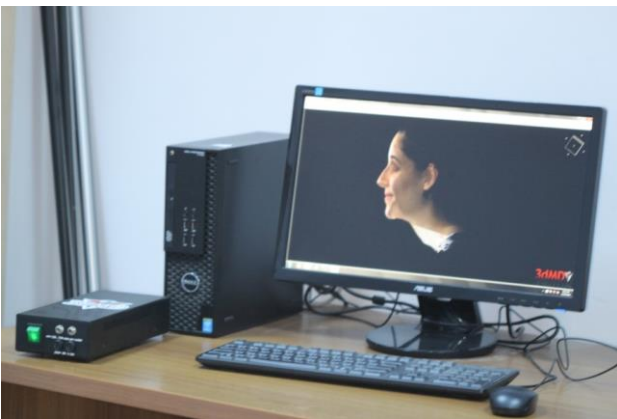
Şekil 6.

3DMD görüntüleme sistemi ve kameraları



Şekil 7.

Hasta kayıtlarının alınması



Şekil 8.

Yazılım programı ve alınan kayıtların yazılım programında görüntülenmesi

Bu tekniğin avantajları; yüksek duyarlıklı anatomi dokümantasyonu için kullanılan tahribatsız bir görüntüleme tekniği olması, cerrahi planlama süreçlerinde de kullanılabilmesi, hastanın yapılan tedaviye verdiği cevabın hem hasta hem de hekim tarafından görüntülenebilmesi, hasta doktor iletişimlerinin iyileştirilmesi, üç boyutlu radyografilerdeki yüzey bilgisinin düzeltilmesinde bir alternatif sağlaması, ortodontik tedavide teşhis, tedavi süresi ve sonucunun izlenebilmesi, daha önce taranan ağız içi modellerde program sayesinde analiz yapılabilmesi ve verilerin kayıt altında tutulabilmesi ve analiz edilebilmesidir.

Aldridge ve ark. yaptıkları çalışmalarında 3dMD sistemi tarafından yakalanan görüntülerin son derece tekrarlanabilir olduğunu ve üç boyutlu yer işareti verilerinin 3DMD sistemi kullanılarak yüksek hassasiyetle elde edilebileceğini göstermişlerdir.⁴¹ Genel olarak, 3dMD görüntüleri üzerindeki yer işaretlerinin yerleştirilmesi ile ilgili hata, diğer görüntüleme sistemlerinin çalışmalarında bulunanlara kıyasla, bu çalışmada milimetrenin altındadır.^{42,43} Dahası gözlemci hatası ve görüntüleme sisteminden kaynaklanan hatalar çok düşüktür ve yine diğer çalışmalarla karşılaştırılabilir.⁴²

Diğer bir çalışmada da Schendel ve arkadaşları, cerrahi sonrası yumuşak doku takibi ve öngörüsü için 3dMD vultus yazılımını kullanmışlar ve doğruluğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada gerçek yumuşak doku ile öngörülen yumuşak doku arasında 0.27 mm'lik ortalama bir fark bulunmuş ve en büyük farkın 0.6 mm ile mental foldun ekstremitelerinde olduğu rapor edilmiştir.⁴⁴

Ullah'ın yaptığı çalışmada cerrahi öncesi ve sonrası sert doku öngörüsü için uzayın her üç yönünde de maksilla ve mandibulanın hareketine izin verdiği için yine 3dMD Vultus yazılımı kullanılmış ve bu yazılımın hastalar için klinik olarak kabul edilebilir üç boyutlu yumuşak doku tahmini sunduğu rapor edilmiştir.⁴⁵

SONUÇ

Yeni jenerasyon bilgisayarlı stereofotogrametri teknikleri ile yakalama ve oluşturma prosedürleri daha hızlı, doğru ve basit hale getirilmiştir. Daha sonra geliştirilen Bilgisayarlı Tomografi sistemleri üç boyutlu kesit görüntülerinin bilgi üretmek için kullanılabilirliğini açıkça göstermiştir. Ortodontide üç boyutlu görüntülemenin çeşitli kullanım amaçları vardır: Diş-iskelet sistemi ilişkileri ve yüz estetiğinin öncesi ve sonrası ortodontik değerlendirmesi, yumuşak ve sert dokulara yönelik ortodontik sonuçların denetlenmesi, üç boyutlu tedavi planlaması ve üç boyutlu yumuşak ve sert doku tahmininde bulunmak bunlardan bazılarıdır. Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG), diğer bir üç boyutlu görüntüleme tekniğidir ve çalışma prensibi açısından farklıdır. Bu görüntüleme yöntemi ile temporomandibular eklem iyi bir şekilde görüntülenebilir. MRG hem disk

yumuşak dokularını, hem kondil ve artiküler çıkıntıya bağlı anomalileri, hem de internal eklem anatomisini çok iyi tanımlar. Birçok TME disfonksiyonu tanımlanmasına rağmen en yaygın olanı internal eklem bozukluğudur ve bu durum en iyi şekilde MRG ile saptanır. En son geliştirilen teknoloji ise 3dMD gibi üç boyutlu yüz tarama sistemleridir. 180 derece açıyı kapsayan kulaktan kulağa yüz çekimi yapabilmeleri sayesinde senkronize edilmiş görüntüler x,y ve z koordinat düzleminde 3 boyutlu olarak görüntü verirler. Yazılım aynı zamanda görüntü işleme, haritalama ve ölçümler için de kullanılmaktadır ve kusursuz 3 boyutlu görüntüler elde etmek için kamera sistemi ile kalibre edilmiştir. Sonuç olarak üç boyutlu görüntüleme sistemleri son teknolojilere paralel olarak gelişmektedir ve hem diş hekimliğinde hem de özel olarak ortodonti alanında uzun süre kullanım alanı bulacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Broadbent BH. A new X-ray technique and its application to orthodontia: the introduction of cephalometric radiography. *Angle Orthod* 1981; 51(2): 93-114.
2. Singh IJ, Savara BS. Norms Of Size And Annual Increments Of Seven Anatomical Measures Of Maxillae In Girls From Three To Sixteen Years Of Age. *Angle Orthod* 1966; 36(4): 312-24.
3. Dean D, Hans MG, Bookstein FL, Subramanyan K. Three-dimensional Bolton-Brush Growth Study landmark data: ontogeny and sexual dimorphism of the Bolton standards cohort. *Cleft Palate Craniofac J* 2000; 37(2): 145-56.
4. Subramanyan K, Dean D, Scanned bi-orthogonal radiographs as a source for 3D cephalometric data. *Medical Imaging* 1996; 1996: International Society for Optics and Photonics.
5. Burke P, Beard L. Stereophotogrammetry of the face: A preliminary investigation into the accuracy of a simplified system evolved for contour mapping by photography. *Am J Orthod* 1967; 53(10): 769-82.
6. Udupa JK, Herman GT 3D imaging in medicine: CRC press; 1999.
7. Seeram E. 3-D imaging: basic concepts for radiologic technologists. *Radiol Technol* 1997;69(2):127-49.
8. Farkas LG, Posnick JC, Hreczko TM. Anthropometric growth study of the head. *Cleft Palate Craniofac J* 1992; 29(4): 303-8.
9. Dimaggio FR, Ciusa V, Sforza C, Ferrario VF. Photographic soft-tissue profile analysis in children at 6 years of age. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007; 132(4): 475-80.
10. Canigur Bavbek N, Balos Tuncer B, Tortop T. Soft tissue alterations following protraction approaches with and without rapid maxillary expansion. *J Clin Pediatr Dent* 2014; 38(3): 277-83.
11. Zhao H, Du H, Li J, Qin Y. Shadow moiré technology based fast method for the measurement of surface topography. *Applied optics* 2013; 52(33): 7874-81.
12. Wong JY, Oh AK, Ohta E, Hunt AT, Rogers GF, Mulliken JB, et al. Validity and reliability of craniofacial anthropometric measurement of 3D digital photogrammetric images. *Cleft Palate Craniofac J* 2008; 45(3): 232-9.
13. Edler R, Wertheim D, Greenhill D. Comparison of radiographic and photographic measurement of mandibular asymmetry. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003; 123(2): 167-74.
14. McCarthy JG, Karron DB. Three-dimensional input of body surface data using a laser light scanner. *Ann Plast Surg* 1988; 21(1): 38-45.
15. White SC. Cone-beam imaging in dentistry. *Health Phys* 2008; 95(5): 628-37.
16. White SC, Pharoah MJ. The evolution and application of dental maxillofacial imaging modalities. *Dent Clin North Am* 2008; 52(4): 689-705.
17. Robb RA. The dynamic spatial reconstructor: an x-ray video-fluoroscopic CT scanner for dynamic volume imaging of moving organs. *IEEE transactions on medical imaging* 1982; 1(1): 22-33.
18. Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini PT, Andreis IB. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *Eur Radiol* 1998; 8(9): 1558-64.
19. Aktan Am, Güngör E, Çiftçi Me, İşman Ö. Diş Hekimliğinde Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi Kullanımı. *Atatürk Üniversitesi Diş Hek Fak Derg* 2015; 25(1).
20. Feldkamp L, Davis L, Kress J. Practical cone-beam algorithm. *JOSA A* 1984; 1(6): 612-9.
21. Arai Y, Tammisalo E, Iwai K, Hashimoto K, Shinoda K. Development of a compact computed tomographic apparatus for dental use. *practice* 1999; 12:15.
22. Aruna U, Annamalai P, Nayar S, Bhuminathan S. Primary failure of eruption-a case report with cone beam computerized tomographic imaging. *J Clin Diagn Res* 2014; 8(4): ZD14.
23. da Silva Campos MJ, de Albuquerque EG, Pinto BCH, Húngaro HM, Gravina MA, Fraga MR, et al. The role of orthodontic tooth movement in bone and root mineral density: a study of patients submitted and not submitted to orthodontic treatment. *Med Sci Monit* 2012; 18(12): CR752-CR7.
24. Sakuma A, Saitoh H, Suzuki Y, Makino Y, Inokuchi G, Hayakawa M, et al. Age estimation based on pulp cavity to tooth volume ratio using postmortem computed tomography images. *J Forensic Sci* 2013; 58(6): 1531-5.
25. Yoon S-J, Wang R-F, Na HJ, Palomo JM. Normal range of facial asymmetry in spherical coordinates: a KIBT study. *Imaging Sci Dent* 2013; 43(1): 31-6.
26. Pathak S, Mishra N, Rastogi MK, Sharma S. Significance of Radiological Variables Studied on Orthopantomogram to Predict Post-Operative Inferior Alveolar Nerve Paresthesia After Third Molar Extraction. *J J Clin Diagn Res* 2014; 8(5): ZC62.
27. Mah JK, Danforth RA, Bumann A, Hatcher D. Radiation absorbed in maxillofacial imaging with a new dental computed tomography device. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003; 96(4): 508-13.
28. Müller R, Van Campenhout H, Van Damme B, Van der Perre G, Dequeker J, Hildebrand T, et al. Morphometric analysis of human bone biopsies: a quantitative structural comparison of histological sections and micro-computed tomography. *Bone* 1998; 23(1): 59-66.

29. Tsiklakis K, Syriopoulos K, Stamatakis H. Radiographic examination of the temporomandibular joint using cone beam computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 2014.
30. Honda K, Larheim T, Maruhashi K, Matsumoto K, Iwai K. Osseous abnormalities of the mandibular condyle: diagnostic reliability of cone beam computed tomography compared with helical computed tomography based on an autopsy material. *Dentomaxillofac Radiol* 2014.
31. Cevidanes LH, Styner MA, Proffit WR. Image analysis and superimposition of 3-dimensional cone-beam computed tomography models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;129(5):611-8.
32. Domeshek LF, Mukundan Jr S, Yoshizumi T, Marcus JR. Increasing concern regarding computed tomography irradiation in craniofacial surgery. *Plast Reconstr Surg* 2009;123(4):1313-20.
33. Mah JK, Yi L, Huang RC, Choo H, editors. *Advanced applications of cone beam computed tomography in orthodontics*. Semin Orthod 2011: Elsevier.
34. Brooks S, Miles D. Advances in diagnostic imaging in dentistry. *Dent Clin North Am* 1993;37(1):91-111.
35. Edwards M. Magnetic resonance imaging of the head and neck. *Dent Clin North Am* 1993;37(4):591-611.
36. Kraus SL. *TMJ disorders: management of the craniomandibular complex*: Churchill Livingstone 1988.
37. Kondoh T, Westesson P-L, Takahashi T, Seto K-i. Prevalence of morphological changes in the surfaces of the temporomandibular joint disc associated with internal derangement. *J Maxillofac Oral Surg* 1998;56(3):339-43.
38. Nebbe B, Brooks S, Hatcher D, Hollender L, Prasad N, Major P. Interobserver reliability in quantitative MRI assessment of temporomandibular joint disk status. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1998;86(6):746-50.
39. Marguelles-Bonnet RE, Carpentier P, Yung J, Defrennes D, Pharaboz C. Clinical diagnosis compared with findings of magnetic resonance imaging in 242 patients with internal derangement of the TMJ. *J Orofac Pain* 1995;9(3).
40. Lane C, Harrell W. Completing the 3-dimensional picture. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;133(4):612-20.
41. Aldridge K, Boyadjiev SA, Capone GT, DeLeon VB, Richtsmeier JT. Precision and error of three-dimensional phenotypic measures acquired from 3dMD photogrammetric images. *Am J Med Genet A* 2005;138(3):247-53.
42. Kohn LAP, Cheverud JM, Bhatia G, Commean P, Smith K, Vannier MW. Anthropometric optical surface imaging system repeatability, precision, and validation. *Ann Plast Surg* 1995;34(4):362-71.
43. Weinberg SM, Scott NM, Neiswanger K, Brandon CA, Marazita ML. Digital three-dimensional photogrammetry: evaluation of anthropometric precision and accuracy using a Genex 3D camera system. *Cleft Palate Craniofac J* 2004; 41(5): 507-18.
44. Schendel SA, Jacobson R, Khalessi S. 3-dimensional facial simulation in orthognathic surgery: is it accurate? *J Maxillofac Oral Surg* 2013; 71(8): 1406-14.
45. Ullah R. The validity of 3dMD Vultus in predicting soft tissue morphology following orthognathic surgery: University of Birmingham 2014.

Yazışma Adresi:

Kübra Gülnur TOPSAKAL
Erciyes Üniversitesi
Diş Hekimliği Fakültesi
Ortodonti AD
Kayseri, Türkiye
E-mail: gulnurbarut@hotmail.com