

BÖLÜM 2

ÜÇ BOYUTLU STEREOFOTOGRAMETRİ

Mine GEÇGELEN CESUR¹

GİRİŞ

Günümüz dünyasında dış görünüşün hayatın her alanında büyük bir etkiye sahip olduğu herkesin bildiği bir gerçektir. Dış görünümün de en önemli parçası yüz estetiğidir. Geçmiş dönemlere baktığımızda ortodontik tedavinin asıl amacının dişlerin biyolojik ve fonksiyonel olarak uygun konumda olmasını sağlamak olduğu görüşü hakimdi. Tedaviyi bu hedeflere göre yaptığımızda estetiğin de sağlanacağı düşünülmekteydi. Ancak son yıllarda ortodontik tedavi açısından da estetiğin önemi anlaşılmış ve tedavi planlamasında fonksiyon ve biyolojiden önce, estetiğin öncelikli hedef olduğu belirtilmiştir (1,2). Hastada malokluzyon görülmesinin bir anomaliye işaret ettiğini ancak tedavi planlamasının yumuşak dokuya göre şekillenmesi gerektiği belirtilmiştir (3).

1. STEREOFOTOGRAMETRİ NEDİR

Stereofotogrametri, 3 boyutlu bir cismin aynı düzlem üzerinde farklı açılardan elde edilen görüntülerini kullanarak 3 boyutlu görüntü elde etme yöntemidir. Bu tekniğin temeli tüm canlılarda var olan stereoskopik görüş prensibine dayanmaktadır. Görüntüde derinlik algısını oluşturabilmek için beyin, farklı açılardan görüntü alan 2 gözden gelen görüntüleri kullanır. Gözlerin aynı düzlemde bulunması ve farklı açılardan görüntü alması, 3 boyutlu algıyı oluşturur. Nesneden eşit uzaklıkta, aynı düzlem üzerinde ve kalibre edilmiş en az 2 kamera ile elde edilen görüntülerin rekonstrükte edilmesiyle nesnenin 3 boyutlu görüntüsü elde edilmektedir (4,5).

Klinik açıdan değerlendirildiğinde özellikle yumuşak doku morfolojisinin incelenebilmesi için stereofotogrametri, günümüz teknolojisi çerçevesinde en ideal yöntem olarak gösterilmiştir. Geliştirilen sistemler sayesinde vücudun tamamı veya spesifik bir bölgesinin 3 boyutlu görüntüsünü çok kısa bir sürede elde etmek mümkündür (5-7).

¹ Doç. Dr., Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti AD.,
mine.gecgelen@adu.edu.tr

2. STEREOFOTOGRAMETRİNİN KLİNİK KULLANIM ALANLARI

3 boyutlu stereofotogrametri sistemlerinin çok geniş bir kullanım alanı vardır. Herhangi bir cismin 3 boyutlu görüntüsünün kullanılabileceği onlarca sektör saymak mümkündür. Ortodonti özelinde değerlendirdiğimizde ise kullanım amaçları şu şekilde sıralanabilmektedir:

- Ortodontik problem listesi ve tedavi planlaması hazırlığında,
- Yaş, cinsiyet ve ırk özelliklerine göre yumuşak doku farklılıklarının karşılaştırılması,
- Büyüme ve gelişimin incelenmesi, dönemsel takibin yapılması,
- Fasiyel estetiğin değerlendirilmesi,
- Yüz tipi ve fasiyal oranların değerlendirilmesi,
- Gülümseme estetiği ve gülümseme tiplerinin değerlendirilmesi,
- Ortodontik tedavi öncesi ve sonrası alınan görüntülerin karşılaştırılarak değerlendirilmesi,
- Hastanın 3 boyutlu görüntülerinin dijital olarak arşivlenmesi,
- Kraniofasiyal sendromların incelenmesi,
- Asimetrielerin değerlendirilmesi,
- DDY hastalarında dudaktaki deformitenin 3 boyutlu olarak değerlendirilmesi, yumuşak doku değişikliklerinin incelenmesi, operasyon öncesi ve sonrası karşılaştırılması, ilerleyen yaşlarda gelişimin takip edilmesi,
- Ortognatik cerrahi öncesi ve sonrasında yumuşak doku değişimlerinin karşılaştırılması, ödem tespitinin yapılması (5,7-11).

3. STEREOFOTOGRAMETRİNİN AVANTAJLARI

Stereofotogrametri sistemlerinde kullanılan yüksek teknoloji dijital kameralar sayesinde 1,5 milisaniyede görüntü almak mümkündür. Bu sayede hastanın hareket etmesi sonucu ortaya çıkabilecek olan bozulmalar engellenmekte ve hasta kooperasyonuna olan ihtiyaç azalmaktadır. Özel bakıma ihtiyacı olan çocuklar ve DDY'li bebekler gibi kooperasyonun zor olduğu hastalardan doğru ve güvenilir görüntüler alınabilmesi için sistemlerin hızlı çalışması büyük avantaj sağlamaktadır (5).

Stereofotogrametri sistemlerinin radyasyon kullanmayan non-invaziv sistemler olması etik ve hasta açısından avantajlı olduğu gibi sık aralıklarla görüntü alınarak yumuşak dokudaki değişimlerin daha detaylı incelenmesi ve gözlenebilmesi mümkündür (4).

3 boyutlu stereofotogrametrik görüntülerde anatomik noktaları belirlemek daha kolay ve daha güvenilirdir. Yapılan ölçüm ve analizler de daha doğru ve daha

güvenilir sonuçlar vermektedirler. Bu da tedavi planlamasında hekimlere daha detaylı inceleme ve daha doğru planlama yapma fırsatı verir. Tedavi öncesi ve sonrası karşılaştırılarak, uygulanan tedavinin yumuşak dokuda meydana getirdiği değişim net bir şekilde değerlendirilebilir (12).

DDY ve travma hastaları gibi yumuşak dokuda deformiteye sahip hastalarda, anomalinin morfolojisini tam olarak yansıtabilmek, hastaların yüzlerindeki asimetrik oluşumların derecelerinin tam olarak belirlenmesi stereofotogrametri sayesinde mümkündür. Operasyon geçiren hastalardan alınan pre-operatif ve post-operatif kayıtların karşılaştırılmasıyla da operasyonun planlanan tedaviye ne kadar uygun sonuçlandığı ve yüz morfolojisinde oluşan değişiklikler, stereofotogrametri ile belirlenebilmektedir (13).

Çağımızın en hızlı gelişen teknolojileri olan görüntüleme ve bilgisayar sistemleri sayesinde, 3 boyutlu stereofotogrametri sistemlerinin avantajları her geçen gün artmaktadır. Dijital kameralardaki gelişmeler elde edilen görüntülerin çözünürlüklerinin daha yüksek olmasını ve böylece daha detaylı inceleme yapılabilmesini sağlamaktadır. Bilgisayar sistemleri ve yazılım teknolojilerindeki gelişmeler 3 boyutlu görüntü oluşturmayı daha kolaylaştırmakta ve hızlandırmakta, analiz ve ölçümlerden daha kesin sonuçlar alabilmeyi sağlamaktadır. Veri depolama sistemlerinin de gelişimi ve ucuzlaması da daha sık kayıt alınıp, hastada oluşan değişiklikleri daha detaylı inceleme fırsatı sunmaktadır (14,15).

4. STEREOFOTOGRAMETRİNİN DEZAVANTAJLARI

Stereofotogrametri sistemleriyle ilgili olarak ilk akla gelen dezavantaj standart antropolojik ölçümlere göre bu sistemlerin maliyetinin yüksek olmasıdır. Bu sistemlerin rutin olarak tüm ortodonti kliniklerinde kullanılmamasının en büyük sebebi maliyet-fayda oranının yüksek olmasıdır. Tüm yüksek teknoloji sistemlerinde olduğu gibi stereofotogrametri sistemlerin de zamanla ucuzlayacağı düşünülmektedir (7).

Görüntülenmek istenen alana bağlı olarak farklı donanım özelliklerine ve markalara göre değişmekle birlikte genel olarak bu sistemler için büyük bir alana ihtiyaç vardır. Cihazı kontrol edecek kişinin rahat çalışabilmesi hem de cihazın ergonomik kullanılabilmesi için geniş alanda kurulması önemlidir. Bu yüzden standart muayenehane ve kliniklerde kurulum alanı bulmak neredeyse imkansızdır. Alan dezavantajı sebebiyle ancak fakülte ve araştırma merkezi gibi yerlerde kurulumu mümkün olmaktadır (16)

Çoklu kamera sistemi ile çalışan bu cihazlarda kameraların hassas kalibrasyonu da alınan görüntülerin güvenilirliği için çok önemlidir. Her çekimden sonra

üretici firmanın talimatları doğrultusunda kameraların kalibre edilmesi gerekmektedir. Bu sebeple sistemi çalıştıran kişinin kalibrasyon hakkında yeterli bilgi ve tecrübeye sahip olması gerekmektedir. Ayrıca sık çekim yapılması gerekecek olan yerlerde kalibrasyonun daha hızlı yapılmasına izin veren sistemlerin kurulması daha akıllıca olacaktır (16).

Stereofotogrametri sistemlerinde dudaklar arası bölge gibi karanlık, gözler ve kirpik bölgesi gibi gölgeli ve parlak, kulak içi gibi anatomik yapıların fazla girinti çıkıntı gösterdiği bölgelerde görüntü alımında bozulmalar görülebilmektedir. Bu duruma bağlı olarak bu bölgelerden yapılan ölçümlerin güvenilirliği de azalmaktadır (5).

3 boyutlu stereofotogrametri sistemleri sadece yumuşak doku kayıtları için kullanılabilir. Baş ve boyun bölgesinin bütün olarak 3 boyutlu modelini elde edebilmek için sert dokuların, dişlerin ve okluzyonun görüntülenebildiği sistemlerle kombinasyona ihtiyaç vardır (17)

5. STEREOFOTOGRAMETRİ SİSTEMLERİNİN ÖZELLİKLERİ

Stereofotogrametri sistemleri, genel olarak aktif ve pasif sistemler olarak ikiye ayrılırlar.

Aktif sistemler yapısal ışıklandırma yöntemine benzerlik gösterir şekilde nesne üzerinde taranan alana projeksiyon yardımıyla ışık demeti dağıtılır. Kau ve ark. (10) yaptıkları çalışmada bu özelliğinden dolayı aktif stereofotogrametri sistemlerini yapısal ışıklandırma başlığı altında değerlendirmişlerdir. Tzou ve Frey (4) ise aktif sistemde ışınlar odaklanılan cisim üzerine rastgele gönderildiği için, yapısal ışıklandırma kategorisinde değerlendirilmeyeceğini ve genel olarak literatürde de bu şekilde kabul edildiğini bildirmişlerdir. Rasgele gönderilen ışınların cisim üzerinde oluşturduğu görüntülerden, sistemin kameralarının mümkün olduğunca çok algoritma yakalaması ve bu algoritmaların birleştirilmesiyle de yüksek çözünürlüklü 3 boyutlu geometri elde edilir. Bu sistemlerde dışarıdan ekstra bir ışık kaynağına ihtiyaç yoktur ve dışarıdan gelen başka ışıkların da sistem üzerine herhangi bir etkisi yoktur.

Pasif sistemlerde ise, herhangi bir ışık kaynağına ihtiyaç yoktur. Cisimlerin doğal ortam ışığıyla aydınlık ve görülebilir durumda olması bu sistemlerde algılama için yeterlidir ve farklı açılardan elde edilen görüntülerle 3 boyutlu görüntü oluşturulur. Pasif sistemlerde genel olarak hatasız ve güvenilir görüntü elde etmek için yüksek çözünürlüklü dijital kameralara ihtiyaç vardır. Görüntülerde bozulmayı engellemek için ortam ışığının normal seviyelerde olması, taranan ci-

sim yüzeyinde parlama oluşmaması için ışık seviyesinin yüksek olmaması avantaj sağlayacaktır (4).

Her iki sistemde de taranan yüzey bölgesi ve özelliklerine göre değişiklik göstermekle birlikte genel olarak kullanılan donanım bileşenleri şunlardır:

- Kameraları ve flaş ünitelerini taşıyan çerçeve sistemi
- Harici flaş üniteleri
- Modüler kamera üniteleri
- Kalibrasyon kiti
- Güç kaynakları ve bağlantı üniteleri
- Bilgisayar ve donanımlar
- Ayarlanabilir hasta koltuğu.

Modüler kameralar ve bilgisayar, stereofotogrametri sistemlerin temel bileşeni olup kameralar görüntülerin algılanmasını, bilgisayar da yüklenen yazılım sayesinde görüntülerden 3 boyutlu görüntünün oluşturulmasını sağlar. Görüntüleme amacı, alanı ve açısına göre modüler kamera ihtiyacı da farklılıklar göstermektedir. Stereofotogrametri sistemlerinin en az 2 kameraya ihtiyacı vardır. 160° ile 360° arasında değişen görüntüleme açılarında göre kamera sayısı da değişmektedir. 160°'lik tarama yapılabilmesi için 2 modül ve 6 kamera kullanırken, 360°'lik taramalarda 5 modül ve 15 kamera ile görüntü sistemleri oluşturulmaktadır (16).

6. STEREOFOTOGRAMETRİ SİSTEMLERİ

Dünya çapında en çok satış yapan ve destek sağlayan stereofotogrametrik sistemler üreticisi 3 firma ve sistemleri şunlardır: 3dMD (www.3dmd.com) (18), Canfield (www.canfieldsci.com) (19), Di3D (www.di4d.com) (20). Bu sistemlerin gelişimi, kullandığı teknikler ve güvenilirlikleri ile ilgili değerlendirmeler aşağıda yer almaktadır.

6.1. 3dMD

1999 yılında ilk 3dMD sistemi geliştirilmiştir. Firma daha önce Birleşik Devletler'de kozmetik cerrahiler ve göğüs cerrahisi alanında kullanılan sistemler geliştirmekteydi. Pozitif geri dönüşler sebebiyle cihazlarında daha da geliştirmeler yapmışlardır ve 2005 yılında ilk 4 boyutlu görüntü yakalayabilen 3dMDface sistemini geliştirmişlerdir. 2007 yılında geliştirilen 3dMDvultus sistemi sayesinde elde edilen görüntüler, CT ve CBCT ile edilen 3 boyutlu sert doku görüntüleriyle birleştirilebilir hale gelmiştir. İlerleyen dönemlerde kullanımın kolaylaşabilmesi için donanımlar küçültülmüş, yazılımlar geliştirilmiş ve görüntü kalitesi artırılmıştır (4).

3dMDface sistemi, aktif ve pasif stereofotogrametrinin özelliklerini kullanan hibrit bir sistemdir. Cilt yüzeyinden doğal ışıkla görüntü olarak pasif sistem özelliğini kullanır, rasgele ışık yayılımı ile de aktif sistem özelliğini kullanır ve elde ettiği görüntüleri kombine ederek 3 boyutlu görüntüyü oluşturur. 3dMD (2015) internet sayfası verilerine göre bu sistemde en az 2 modül kamera yer alır, modüllerde 1 renkli 2 siyah-beyaz görüntü alan kamera bulunur. Kullanılan kameralar endüstriyel standartta yüksek çözünürlüklü kameralardır. Görüntü yakalama süresi sadece 1,5 milisaniyedir ve 3 boyutlu görüntü oluşturma işlemi yaklaşık 30 saniye sürmektedir. TSB formatında yaklaşık 20 MB boyutunda dijital dosyalar halinde 3 boyutlu görüntüyü vermektedir. Görüntü yakalama süresinin çok kısa olması sistemin en büyük avantajıdır. Elde edilen görüntülerde 0,2 mm hata payı bulunmaktadır. Görüntüler üzerinde simülasyonlar yapılabilmesi, tekrarlanabilmesi, CT ve CBCT görüntüleriyle birleştirilebilmesi de avantajlarından bazılarıdır. Bu sistemler genel olarak dayanıklı ve sağlam malzemelerden imal edilmiştir. Bu sayede taşınması, başka yere transfer edilmesi ve yeniden kurulumu kolaylıkla yapılabilir.

2012 itibariyle firmanın verilerine göre dünya çapında 1000'den fazla 3dMD sistemi kullanılmaktadır. Firmanın dünya çapında teknik destek vermesi de bu sistemin avantajıdır.

Sistemin kullanıldığı, yüz ve göğüs bölgeleriyle ilgili yapılan çalışmalarda, araştırmacılar genel olarak sistemin ölçüm sonuçlarının güvenilir olduğunu, yapılan ölçümlerin tekrarlanabilir olduğunu belirtmişlerdir (21-25).

6.2. Canfield

1988 yılında stereofotogrametri alanında sistemler geliştirmeye başlayan şirket, öncelikli olarak plastik cerrahi ve dermatoloji alanında çalışmaktadır. 2005 yılında ilk 3 boyutlu görüntüleme sistemini geliştirmişlerdir.

Canfield Vectra face sistemi, pasif stereofotogrametri tekniğini kullanmaktadır. Sistem farklı açılara konumlandırılmış 3 kamera modülü kullanır. Bu modüllerde SLR 2 renkli kamera bulunur. Görüntü yakalama süresi yaklaşık 3,5 milisaniyedir. Yüksek çözünürlükteki 3 boyutlu görüntülerin dosya boyutu ortalama 36 MB civarındadır.

Yapılan çalışmalarda sistemin güvenilir ve yapılan ölçümlerin tekrarlanabilir olduğu bildirilmiştir. Hata payının 1 mm'den az olduğu belirtilmiştir (26-29).

6.3. DI3D

2002 yılında üretilen sistem maksillofasiyal cerrahi, ortodonti, yanık tedavileri ve yüz estetiği alanlarında kullanılmaktadır. 4 boyutlu tarama olarak da adlandırılan 3 boyutlu hareketli tarama sistemini ilk kullanan sistemdir.

DI3D sistemi pasif stereofotogrametri tekniğini kullanmaktadır ancak görüntü taramalarını ultra yüksek çözünürlüklü kameralarla yapmaktadır. 4 kamera kullanan sistemde, elde edilen görüntülerden 3 boyutlu görüntü elde etme işlemi standart bir bilgisayarla 5 dakikadan az sürede gerçekleşmektedir.

Winder ve ark. (13)'nın yaptığı çalışmada 3 boyutlu taramalardaki hata payı 0,05 mm, tekrarlanabilirlik hata payı 0,001 mm, uzunluk ölçümlerindeki hata payı da 0,6 mm olarak bildirilmiştir.

Khambaya ve ark. (30) çalışmalarında sistemin ortalama hata payının 0,2 mm olduğunu ve bunun klinik olarak kabul edilebilir olduğunu bulmuşlardır.

Fourie ve ark. (31) yaptıkları çalışmada 7 kadavra başı kullanarak ve tüm 3 boyutlu tarama tekniklerini (stereofotogrametri, CBCT, lazer yüzey tarama ve antropolojik) karşılaştırmışlardır. Antropolojik ölçümün standart kabul edildiği sistemde 3 tekniğin de klinik olarak kabul edilebilir sonuçlar verdiğini ve 3 grup arasındaki ölçümlerde istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmadığını bildirmişlerdir.

6.4. Hangi Sistem Seçilmeli

Kullanılacak sisteme ve markaya karar verirken genel olarak 4 kriterin göz önünde bulundurulması önerilmektedir. İlk kriter olarak teknik özelliklere bakıldığında;

- Kalibrasyonun ne kadar sıklıkla gerektiği
- Hastadan görüntü alma süresi
- Alınan görüntülerin işlenme süresi
- Sistem yazılımının hangi analiz ve ölçümlerin kullanımını sağladığına dikkat edilmelidir.

2. kriter olarak sistemin klinikte veya çalışma ortamında ne kadar yer kapladığı, ne kadar efektif alana ihtiyacı olduğudur. Eğer yer sıkıntısı varsa daha küçük donanımlar tercih eden sistemlerin alınması mantıklı olacaktır.

3. kriter, sistemin doğruluğu ve güvenilirliğidir. Seçilecek marka ve model ne kadar çok bilimsel araştırmada kullanılıp doğru ve güvenilir sonuçlar verdiyse o kadar güvenilir olacaktır.

4. kriter sistemin üreticisi firmanın değerlendirilmesidir. Satışa sunduğu ürünlerin Dünya'da ne kadar kullanıldığı, ürettiği ürünlerin doğruluğu ve güvenilirliği, daha önce satış yaptığı klinik ve hastanelerin aldıkları ürünlerden memnuniyeti, satış sonrasındaki teknik desteği de göz önünde bulundurulmalıdır (4,5).

7. STEREOFOTOGRAMETRİDE GÖRÜNTÜNÜN ELDE EDİLMESİ

3 boyutlu stereofotogrametrik görüntünün elde edilmesi, genel olarak 2 aşama şeklinde değerlendirilebilir. Hastanın cihaza göre pozisyonlandırılıp görüntülerin alınması 1. aşaması iken, alınan görüntülerin bilgisayarda kombinasyonu 3 boyutlu hale getirilmesi bu işlemin 2. aşamasıdır.

İşlemin 2. aşaması uygun donanım, yazılım, sistem ve teknik kullanıldığında büyük oranda herhangi bir sorunla karşılaşmadan tamamlanabilir. Görüntünün elde edilmesiyle ilgili önemli detaylar ve dikkat edilmesi gerekenler genel olarak hastadan görüntülerin alındığı 1. aşama için geçerlidir.

İlk olarak hastanın pozisyonlandırılması cihazın kamera açılarına göre ayarlanmalıdır. Cihazın yönlendirmeleri ve merkez kameradan gelen görüntüye göre hastanın pozisyonlandırılması en doğru seçenektir. Konumlandırma sırasında yardımcı personelle çalışılması, bir kişinin ekrandan görüntüyü takip ederken diğer kişinin hastayı pozisyonlandırılmasını sağlar. Bu şekilde hem hasta hem de hekim için işlemin kolaylaşması sağlanmış olur. Hastanın sırtı destekli sandalyeye oturtulması pozisyonlandırmanın korunmasını ve hastanın hareketsiz kalmasını sağlar. Her ne kadar çekim süresi kısa da olsa hastanın hareketsiz olması net görüntü elde edebilmek için önemlidir. Özellikle 360°'lik kranial taramalarda sırt desteğinin görüntüye girmemesi de önemlidir. Baş boyun bölgesinden görüntü alınmasına engel olan giysiler çıkarılmalıdır (16).

3 boyutlu stereofotogrametri sistemlerinde doğru görüntü elde edilebilmesi için kameraların kalibrasyonu çok önemlidir. Sistemin yönlendirmelerine uygun şekilde sık sık kalibrasyon yapılması görüntü kalitesini arttırmaktadır. Hasta yoğunluğuna bağlı olarak mümkünse her çekimden sonra, mümkün değilse de en azından günde 1 kez sistemin kalibrasyonu yapılmalıdır. Sistemin kullanıldığı bilimsel araştırma durumlarında ise çalışmanın güvenilirliğini arttırmak için her çekimden sonra kalibrasyon yapılması gerekmektedir (16).

Yansıma ve distorsiyon sebepleriyle görüntünün yanlış alınmasına sebep olabilecek takı ve aksesuarlar çıkarılmalıdır. 3 boyutlu stereofotogrametri sistemlerinde saçlar net olarak görüntülenmemektedir. Bu sebeple hastaya bone taktırmak doğru bir yaklaşım olacaktır. Bone takılırken de herhangi bir anatomik noktayı kapatmamasına dikkat edilmelidir. Kulak bölgesi, göz bölgesi, çene altı bölge, istirahat durumunda dudakların iç bölgeleri, gülümseme de dudak kenarları gibi ışığın daha az ulaştığı bölgelerde görüntüde bozulma olabilmektedir. Bunları engellemek için çekim esnasında hasta başını biraz geriye yatırmalı, gözlerden de en iyi görüntüyü alabilmek için hastadan gözlerini mümkün olduğunca açık tutması

istenmelidir. Fakat stereofotogrametri sistemlerinde göz yapısının görüntüsünü elde etmek oldukça zordur çünkü gözlerden yansıyan ışık görüntüde bozulmalara sebep olur.

Görüntü alınırken parlamaya sebep olabilecek durumlar görüntüde bozulmalara sebep olmaktadır. Yağlı ciltler ve parlak makyaj ürünleri, yansıma sebebiyle bozulmalara örnektir. Bu yüzeylerden makyajın silinmesi, cilt çok yağlı ise üzerinin pudra ile kapatılması önerilebilir. Kullanılan pudranın çok olması veya cilt renginden çok farklı bir renkte olması da görüntüdeki doğal yapıyı bozacaktır.

1. aşama tamamlandıktan sonra görüntüler kontrol edilir ve bilgisayara yüklü yazılımda 3 boyutlu görüntü üretme süreci başlar. Görüntülerin dijital ortamda dış sınırları belirlenerek noktalar kümesine dönüştürülür. Her bir noktanın 3 boyutta da koordinatı belirlenir ve farklı görüntülerden elde edilen noktalar kümeleleri birleştirilerek noktalar bulutu (point cloud) olarak adlandırılan yapı elde edilir. Bu noktalar doğru parçalarıyla birleştirilerek üçgenler oluşur ve üçgenlerden de düzlemler elde edilir. Bu şekilde ağ (mesh) denen yapı oluşur ve ne kadar çok nokta olursa o kadar çok üçgen ve buna bağlı olarak o kadar çok düzlem oluşur. Böylece görüntü çözünürlüğü arttırılarak daha net görüntü elde edilmiş olur. Sistemlerin 2 boyutlu görüntü elde etme tekniği farklı olsa da 3 boyutlu görüntü üreten yazılımların büyük çoğunluğu stereofotogrametride olduğu gibi point cloud, mesh ve 3 boyutlu görüntü aşamalarıyla sonuca ulaşır. Stereofotogrametride, renk ve yüzeyin morfolojik bilgileri de görüntüye eklenir. Elde edilen 3 boyutlu geometrik şekil üzerine bu veriler eklenir ve 3 boyutlu görüntü elde edilmiş olur. 3 boyutlu görüntü genel olarak STL formatında olur ve bu dosya formatı birçok yazılım tarafından açılabilen, yaygın kullanılan bir dosya formatıdır (4,5,10).

8. ÜÇ BOYUTLU STEREOFOTOGRAMETRİK GÖRÜNTÜLERDE ÖLÇÜM VE ANALİZLER

Stereofotogrametrik görüntülerde ölçüm ve analizleri 2 gruba ayırabiliriz. Bunlar tek görüntü üzerinde direkt yapılan ölçümler ve iki veya daha fazla görüntünün karşılaştırılmasıyla yapılan karşılaştırmalardır.

Tek görüntü üzerinde standart olarak uzunluk ve açısal ölçümler yapmak mümkündür. Bu tip ölçümler genel olarak STL dosyalarını açabilen tüm yazılımlar kullanılarak yapılabilir. Kullanılan sistemin üretici firmasının gönderdiği yazılımlarda da bu tip ölçümler bulunmaktadır. Eğim, kalınlık, deviasyon, hacim gibi ölçümler ise genellikle yazılımlara spesifik ölçümlerdir. 3 boyutlu stereofotogrametrik görüntülerde bu ölçümlerin güvenilir yapılabilmesi için üreti-

cinin kendi yazılımının kullanılması tavsiye edilmektedir. Programlar arasında doğruluk ve güvenilirlik açısından karşılaştırmanın yapıldığı bir çalışma bulunmamaktadır.

Diğer analiz ve ölçümler ise farklı görüntülerin çakıştırılması tekniğidir. Ortodontistler tarafından tedavi öncesi, ara safhası ve tedavi bitiminde alınan 2 boyutlu sefalometrik radyografilerin çakıştırılması rutin yapılan bir işlemdir. Bu işlemde genellikle belli bir düzlem referans alınarak bu düzlem üzerinde radyografiler çakıştırılır ve oluşan değişimlerin ölçüm ve analizleri yapılır. Aynı mantık 3 boyutlu görüntüler için de geçerliliğini korumuştur. Belirlenen düzlem üzerinde görüntüler çakıştırılır ve 2 görüntü arasındaki değişiklikler gözlemlenebilir. Stereofotogrametri yazılımlarında genellikle görüntü üzerinde otomatik düzlem belirleme ve otomatik çakıştırma özellikleri bulunmaktadır. Çakıştırılan görüntüler arasındaki farkların gösterilmesi amacıyla da cilt rengi ve morfolojik yüzey özellikleri olmadan görüntünün 3 boyutlu geometrik hali kullanılır ve değişimler miktarlarına göre farklı renklerle gösterilerek görsel analiz elde edilmiş olur (5, 32).

9. STEREOFOTOGRAMETRİ YÖNTEMİNİN GEÇERLİLİĞİ VE GÜVENİRLİLİĞİ

Stereofotogrametri sistemlerinin diğer teknikleri kullanan sistemlere göre büyük avantajlarının bulunması sonucunda bu sisteme olan ilgi artmış ve kullanım alanları genişlemiştir. Ancak bu sistemlerde en önemli kriterlerden biri yapılan ölçüm ve analizlerin doğru, güvenilir ve tekrarlanabilir olmasıdır. Ölçüm ve analizlerin doğruluğu, bu alanda altın standart olarak kabul edilen ölçüm sistemleriyle karşılaştırılması sonucu elde edilen bulgularla uyum ve benzerliğine göre değerlendirilir. Güvenirlilik ise görüntüler üzerinde yapılan ölçüm setleri arasındaki uyum ve tutarlılık olarak değerlendirilebilir. Tekrarlanabilirlik ise aynı model üzerinde aynı yazılım kullanılarak aynı ölçümler yapıldığında sadece kullanıcı hatası veya farklılığı sebebiyle farklı değerler çıkması, onun dışındaki durumlarda aynı sonuçların elde edilmesi tekrarlanabilirlik olarak değerlendirilir.

3 boyutlu stereofotogrametrik sistemlerinin doğruluk ve güvenilirliği, birçok çalışmada farklı marka ve tipte cihazlar kullanılarak değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalarda 3 boyutlu görüntü elde etme teknikleri ve yöntemler arasındaki farklılıklar, aynı cihazda ölçüm yapan kişiler arasında ve kendi içinde tekrarlanan ölçümlerdeki farklılıklar olarak değerlendirilmiş ve genel olarak 2 mm'den daha düşük olarak bulunmuştur ve bu da klinik olarak anlamlı kabul edilmemiştir (10,33-35).

10. STEREOFOTOGRAMETRİNİN DİĞER 3 BOYUTLU GÖRÜNTÜLEME TEKNİKLERİYLE BİRLİKTE KULLANIMI

Stereofotogrametri, yumuşak doku görüntüleme günümüz teknolojisinde en avantajlı yöntem olsa da tek başına tüm verileri sunması mümkün değildir. Genel olarak tüm görüntüleme tekniklerinin bazı dezavantajları vardır ve bunların aşılabilmesi için görüntüleme tekniklerinden elde edilen verilerin birleştirilmesi araştırmacıları en doğru sonuçlara ulaştırır.

Stereofotogrametrinin sert dokuları gösterebilme özelliği yoktur ve bu eksikliği ortadan kaldırmak için diş hekimliğinde sert dokuların ayrıntılı şekilde incelenebilmesi amacıyla kullanılan CT ve CBCT'den elde edilen görüntüler kullanılabilir.

CT ve CBCT görüntüleme yöntemlerinden ayrıntılı ve güvenilir sert doku modellemesi alınabilirken, yumuşak doku ölçümlerinde yeterli veri sağlanamamaktadır. Saçlı deri sınırı, kaş ve göz kapağı bölgelerinde CBCT verileri yetersiz kalmaktadır. Ayrıca yumuşak doku yüzeyinin morfolojik özellikleri ve renk bilgisi CT ve CBCT'den elde edilemez.

Stereofotogrametri ve CBCT, yumuşak ve sert doku verilerinin birlikte değerlendirilmesi düşünüldüğünde, birbirlerinin eksikliğini kapatan uyumlu ikili gibi görünmektedir. Dişler ve okluzyonun görüntülenmesinde ise iki tekniğin de yetersizlikleri mevcuttur. Tüm maksillofasial dokuların doğru görüntülediği 3 boyutlu modelleme elde edebilmek için CBCT, stereofotogrametri ve dijital dental modellerin kombinasyonunun kullanılması en akılcı yöntem olacaktır. Özellikle ortognatik cerrahi vakalarında olduğu gibi hastanın dış görünüşünde değişiklik yapılacak tedavilerde, bu tekniğin tercih edilmesi doğru teşhis ve tedavi planlaması için gerekli bilgilerin edinilmesini sağlayacaktır.

Cerrahi operasyon ve sert dokularda büyük değişimler planlanmayan ortodonti hastaları için de özellikle istirahat ve gülümseme pozisyonundaki 3 boyutlu görüntülerde diş görünümünün doğru ve güvenilir olabilmesi için yine dijital dental modellerle kombinasyonu gerekmektedir. Diş yüzeylerinin parlak olmasından dolayı üzerine gelen ışığı fazla yansıtması ve dudakların dişler üzerinde gölge ve karanlık alanlar oluşturması sebebiyle stereofotogrametrik tarama ile dişlerin doğru ve güvenilir görüntüleri elde edilemez. Yüz estetiğinin belirlenmesinde önemli kriterlerden olan istirahat pozisyonundaki keser görünümü ve gülme görüntülerindeki gülme hattının doğru belirlenebilmesi için 3 boyutlu stereofotogrametrik tarama ile 3 boyutlu dijital dental modellerin kombinasyonunun kullanılması en doğru yöntem olacaktır (4,25,36).

SONUÇ

İdeal yüz estetiğinin, sosyal ilişkiler ve hayat kalitesi üzerinde ne kadar etkili olduğu birçok bilimsel araştırmayla ispatlanmış bir gerçektir. Bu nedenle psikiyatristler tarafından yapılan bazı araştırmalarda da yüzün yumuşak doku taramaları kullanılmıştır. İdeal yüz estetiği; cilt rengi, cildin morfolojik yüzey yapısı, yüz oranları gibi birçok etkene bağlıdır. İdeal yüz estetiğinin sağlanmasında ortodontistler tek başlarına rol almazlar, ancak multidisipliner yaklaşım içinde önemli bir role sahiptirler. Bu sebeple ortodontistler teşhis ve tedavi planlamasında, yumuşak dokular üzerinde dikkatle durmaları gerekmektedir.

Hastaları her an klinikte görmek mümkün olmadığı için, yumuşak doku incelemelerinde 3 boyutlu görüntüler çok büyük önem arz etmektedir. Bu ihtiyaca da en iyi cevap verebilen sistem 3 boyutlu stereofotogrametridir.

Stereofotogrametri, iyonize radyasyon kullanmaması ve ortalama 2,5 milisaniyede görüntü alabilmesi nedeniyle hasta-dostu bir sistem olarak değerlendirilebilir. Hastaya hiçbir zarar vermeden, hastayı uzun süren işlemlerden kurtararak yumuşak dokunun tam olarak doğru ve güvenilir bir şekilde incelenebilmesi, hem hasta hem de hekim açısından oldukça memnuniyet vericidir. Kısa süreli tedaviler için de, başlangıç ve bitim kayıtları alınarak hastanın yumuşak dokusuna ve dolayısıyla yüz estetiğine nasıl bir etki yapıldığını görmek tedavi kalitesini arttırabilmek açısından önemlidir.

3 boyutlu stereofotogrametri sistemlerinin gelişimi ve ucuzlamasıyla birlikte kliniklerde kullanımı da artacaktır. Bu da ortodonti alanında estetik üzerine yapılan çalışmaların ve estetiğin öneminin artmasını sağlayacaktır.

Stereofotogrametri, yumuşak dokular için çok ideal bir sistem olmasıyla birlikte sert dokularda yetersiz kalan bir sistemdir. Sert dokuların görüntülenmesinde yıllar içinde büyük gelişmeler olmuş olsa da sonuç olarak halen ilk günkü olduğu gibi yine radyasyon kullanılmaktadır. Bu alanda da ilerleyen dönemlerde radyasyon kullanılmayan sistemlerin geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

3 boyutlu stereofotogrametrinin sonraki aşaması ise günümüzde henüz yaygınlaşmayan ancak geliştirilmekte olan 4 boyutlu yani statik görüntülerin yanında dinamik (hareketli) 3 boyutlu görüntü alınabilmesini sağlayacak sistemlerdir. Hastanın dinamik kayıtlarının da 3 boyutlu ortama aktarılabilmesi, ortodontik tedavi planlama ve yöntemlerinin gelişimine büyük katkılar sunacaktır.

KAYNAKLAR

1. Ackerman JL, Proffit WR, Sarver DM. The emerging soft tissue paradigm in orthodontic diagnosis and treatment planning. *Clinical Orthodontics Research*. 1999;2:49–52.
2. Spear FM, Kokich VG, Mathews DP. Interdisciplinary management of anterior dental esthetics. *The Journal of the American Dental Association*. 2006;137:160–169.
3. Arnett GW, Gunson MJ. Facial planning for orthodontics and oral surgeons. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2004;126:290–295.
4. Tzou CHJ, Frey M. Evolution of 3D Surface Imaging Systems in Facial Plastic Surgery. *Facial Plast Surg Clin North Am*. 2011;19:591–602.
5. Görgülü S, Duran GS, Dindaroğlu F. 3 Boyutlu Stereofotogrametri. Erhan Özdiler (Ed.), *Güncel Bilgiler Işığında Ortodonti (1.Baskı)*. Ankara: Gümüş Kitabevi, 2015. p. 367-381.
6. Kau CH, Kamel SG, Wilson J, et al. New method for analysis of facial growth in a pediatric re-constructed mandible. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 2011;139 (4): e285–290. 17.
7. Karataş OH, Toy E. Three-dimensional imaging techniques: A literature review. *European Journal of Dentistry* 2014; 8 (1).
8. Gor T, Kau CH, English JD, et al. Three-dimensional comparison of facial morphology in white populations in Budapest, Hungary, and Houston, Texas. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 2010;137:424-432.
9. Tanikawa C, Zere E, Takada K. Sexual dimorphism in the facial morphology of adult humans: A three-dimensional analysis. *Journal of Comparative Human Biology*. 2015;1:94-3.
10. Kau CH, Richmond S, Zhurov A, et al. Use of 3-dimensional surface acquisition to study facial morphology in 5 populations. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 2010;137:S56.e1-S56.e9.
11. vander Meera WJ, Dijkstra PU, Visser A, et al. Reliability and validity of measurements of facial swelling with astereo photogrammetry optical three-dimensional scanner. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2014;52:922–927.
12. Weinberg SM, Kolar JC. Three-dimensional surface imaging: limitations and considerations from the anthropometric perspective. *Journal of Craniofacial Surgery*. 2005;16:847–851.
13. Winder RJ, Darvann TA, McKnightc W, et al. Technical validation of the Di3D stereophotogrammetry surface imaging system. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 2008;46:33–37.
14. Kochel J, Meyer-Marcotty P, Strnad F, et al. 3D soft tissue analysis-part 1: sagittal parameters. *Journal of Orofacial Orthopedics*. 2010;71:40–52.
15. Brons S, van Beusichem ME, Bronkhorst EM. Methods to quantify soft-tissue based facial growth and treatment outcomes in children: a systematic review. *PLoS One*. 2012;7:e41898.
16. Heike CL, Upson K, Stuhaug E, et al. 3D digital stereophotogrammetry: a practical guide to facial image acquisition. *Head Face Medicine*. 2010;28:6-18.
17. Rangel FA, Maal TJJ, Berge´ SJ, et al. Integration of digital dental casts in 3-dimensional facial photographs. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2008;134:820–826.
18. WEB_1. (2015). 3dMD Web Site. <http://www.3dmd.com> (28.12.2015)
19. WEB_2. (2015). Canfield Web Site. <http://www.canfieldsci.com> (28.12.2015)
20. WEB_3. (2015). <http://www.di4d.com> (28.12.2015)
21. Aldridge K, Boyadjiev SA, Capone GT, et al. Precision and error of three-dimensional phenotypic measures acquired from 3dMD photogrammetric images. *American Journal of Medical Genetics Part A*. 2005;138 (3):247–53.

22. Losken A, Fishman I, Denson DD, et al. An objective evaluation of breast symmetry and shape differences using 3-dimensional images. *Ann Plast Surg* 2005; 55 (6):571–575.
23. Lubbers HT, Medinger L, Kruse A, et al. Precision and accuracy of the 3dMD photogrammetric system in craniomaxillofacial application. *Journal of Craniofacial Surgery*. 2010;21 (3):763–767.
24. Plooij JM, Maal TJJ, Haers P, et al. Digital three-dimensional image fusion processes for planning and evaluating orthodontics and orthognathic surgery. A systematic review. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2011;40:341–352.
25. Maal TJ, van Loon B, Plooij JM, et al. Registration of 3-dimensional facial photographs for clinical use. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2010;68 (10):2391–401.
26. de Menezes M, Rosati R, Ferrario VF, et al. Accuracy and reproducibility of a 3-dimensional stereophotogrammetric imaging system. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2010;68 (9):2129–2135.
27. Quan M, Fadl A, Small K, et al. Defining pseudoptosis (bottoming out) 3 years after short-scar medial pedicle breast reduction. *Aesthetic Plastic Surgery*. 2011;35 (3):357–364.
28. Rosati R, De Menezes M, Rossetti A, et al. Digital dental cast placement in 3-dimensional, full-face reconstruction: a technical evaluation. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 2010;138 (1):84–88.
29. Sawyer AR, See M, Nduka C. Quantitative analysis of normal smile with 3D stereophotogrammetry an aid to facial reanimation. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*. 2010;63:65-72.
30. Khambaya B, Nairn N, Bell A, et al. Validation and reproducibility of a high-resolution three-dimensional facial imaging system. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2008;46:27–32.
31. Fourie Z, Damstra J, Gerrits PO, et al. Evaluation of anthropometric accuracy and reliability using different three-dimensional scanning systems. *Forensic Science International*. 2011;207 (1–3):127–134.
32. Khambaya B, Ullah R. Current methods of assessing the accuracy of threedimensional soft tissue facial predictions: technical and clinical considerations. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2015;44:132–138.
33. Metzger MC, Hohlweg-Majert B, Schon R, et al. Verification of clinical precision after computer-aided reconstruction in craniomaxillofacial surgery. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology Endodontics*. 2007;104:1–10.
34. Catherwood T, McCaughan E, Greer E, et al. Validation of a passive stereophotogrammetry system for imaging of the breast: A geometric analysis. *Medical Engineering & Physics*. 2011;33:900–905.
35. van Loon B, van Heerbeek N, Maal TJ, et al. Postoperative volume increase of facial soft tissue after percutaneous versus endonasal osteotomy technique in rhinoplasty using 3D stereophotogrammetry. *Rhinology*. 2011;49 (1):121–126.
36. Naudi KB, Benramadan R, Brocklebank L, et al. The virtual human face: superimposing the simultaneously captured 3D photorealistic skin surface of the face on the untextured skin image of the CBCT scan. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2013;42:393-400.