

PERİDONTAL PATOLOJİLERİN TANISINDA KULLANILAN GÖRÜNTÜLEME TEKNİKLERİ Bölüm 2: Alternatif Görüntüleme Sistemleri ve Görüntü Analiz yöntemleri

IMAGING SYSTEMS USED FOR DIAGNOSIS OF PERIODONTAL PATHOLOGY Part 2: Alternative Imaging Systems and Image Processing Methods

Elif Soğur, B. Güniz Baksı

Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ağız, Diş Ve Çene Radyolojisi AD Bornova İzmir

Özet

Radyografiler, periodontal hastalıkların tanı ve tedavisinde kullanılan en önemli gereçlerdir. Periodontal dokuların değerlendirilmesinde rutinde kullanılan iki boyutlu görüntüleme sistemleri, alveoler kemikte ortaya çıkan erken dönem değişikliklerin saptanmasında yetersiz kalmaktadır. Her ne kadar, üç boyutlu görüntü oluşturan Bilgisayarlı Tomografi (BT) ve Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi (CBCT) gibi görüntüleme sistemleri kemik defektlerinin 3 boyutlu olarak değerlendirme imkanını bize sunsa da, maliyetlerinin yüksek olması ve hastaya ulaşan radyasyon dozunun konvansiyonel filmlere oranla daha yüksek olması gibi önemli dezavantajları vardır. Tuned aperture computed tomography (TACT) görüntüleme sistemi ya da Optik Coherence Tomografi (OCT) gibi alternatif görüntüleme sistemlerinin periodontitise bağlı olarak kemikte meydana gelen değişikliklerin saptanmasına yönelik yapılan çalışmalar umut vaat etmektedir. Bunun yanı sıra, kemikte meydana gelen değişikliklerin saptanması aşamasında görüntü analiz yöntemlerinin kullanımı, minör seviyedeki oluşan densite değişikliklerin bile kalitatif ve kantitatif olarak gözlemleyebilmemizi kolaylaştırmaktadır. Bu derlemenin amacı; periodontitise bağlı olarak alveoler kemikte meydana gelen değişikliklerin erken dönemde saptanmasında kullanılan alternatif görüntüleme ve analiz yöntemlerini değerlendirmektir.

Anahtar Kelimeler: Dijital radyografi, dental, görüntü analiz yöntemleri, periodontoloji

Abstract

Radiographs are the most accurate diagnostic aid available in the diagnosis and treatment of periodontal disease. 2 dimensional (2-D) systems imaging systems used routinely in periodontology are not effective to detect the early bone changes according to the periodontal disease. Even though 3-D systems available such as Computed Tomography (CT) and Cone Beam Computed Tomography (CBCT) has become a valuable imaging modality in periodontology to determine a three-dimensional (3D) architecture of osseous defects, they all have limitations like high cost and high radiation dose. Results of studies testing alternative methods such as Tuned Aperture Computed Tomography (TACT) or Optical Coherence Tomography (OCT) for the detection and localization of osseous changes associated with periodontitis are encouraging. In addition, digital image analysis are commonly used to quantify changes in oral bone facilitates both qualitative and quantitative visualization of even minor density changes in bone. The aim of this review is to evaluate the alternative methods using for the early detection and localization of osseous changes associated with periodontitis.

Key words: Digital radiography, dental, imaging processing methods periodontology

Giriş

Periodontal hastalık; dişleri çevreleyen destek dokuların mikrobiyal infeksiyonlara karşı verdikleri lokalize enflamatuvar reaksiyonlar ile başlayıp, devamında bu dokuların yapısının ve bütünlüğünün bozulması ile sonuçlanan bir patolojidir.¹ Sondalamada kanama

varlığı, sondalanabilir cep derinliği ölçümü ve klinik ataşman seviyesinin belirlenmesi gibi klinik yöntemlerin yanında, alveol kemiği kaybının doğru olarak saptanması da periodontal hastalığın tanı, tedavi planlaması ve takibi aşamasında önem taşımaktadır.²

Kolay ulaşılabilirliği ve yüksek görüntü çözünürlüğü özellikleriyle intraoral radyografiler, periodontal hastalıkların tanısında ve alveol kemiği kaybının saptanmasında sıklıkla tercih edilen yöntemlerdir.^{3,4} Dental radyoloji biliminde görüntü kalitesinin artırılması ve hastaya ulaşan radyasyon dozunun azaltılması amacıyla yönelik çalışmalar, farklı dijital sistemlerin piyasaya sürülmesi ile gelişmeye devam etmektedir. Dijital radyografi dişhekimliğinin birçok farklı disiplininde olduğu gibi periodontoloji alanında da rutin klinik uygulamalarda konvansiyonel radyografinin yerini almaya başlamıştır.^{5,6} Hem konvansiyonel radyografi hem de dijital sistemler ile elde edilen intraoral radyografiler; üç boyutlu anatomik oluşumların iki boyutlu görüntülerini oluşturan sistemlerdir. Bu nedenle alveol kemiğinde ortaya çıkan erken dönem değişikliklerin saptanmasında yetersiz kalmaktadır.⁷ Bunun yanı sıra, görüntülenen bölgedeki dokuların birbiri üzerine süperpoze olması ve ışınlama geometrisine bağlı olarak distorsiyona uğraması, mevcut alveol kemiği kaybının maskelenmesine neden olabilmektedir.⁸⁻¹⁰ Dental volümetrik tomografi (DVT) teknolojisi gibi 3. boyuta dair bize bilgi veren gelişmiş görüntüleme yöntemlerinin kullanımı birçok dezavantajı ortadan kaldırırsa da, hastaya ulaşan radyasyon dozu konvansiyonel ya da dijital 2 boyutlu görüntüleme sistemleriyle karşılaştırıldığında çok daha yüksektir. Bu aşamada araştırmacılar iyonize radyasyon kullanmadan dental dokuların incelenmesi ya da 2 boyutlu görüntülerden 3 boyutlu görüntülerin elde edilmesine olanak sağlayan alternatif görüntüleme sistemlerinin arayışına yönelmiştir.^{11,12}

Alternatif Görüntüleme Sistemleri

Tuned aperture computed tomography (TACT)

TACT tekniğinin konvansiyonel radyografiyle bilgisayarlı tomografi yöntemlerinin arasında bir noktada yer aldığı tarif edilmektedir. Teknik dijital reseptör ve X ışını kaynağı arasına yerleştirilen 1 mm çapındaki radyoopak küre ile beş derecelik açı değişiklikleri yapılarak arka arkaya alınan görüntülerin özel bir bilgisayar yazılımının yardımıyla birleştirilmesi esasına dayanır.¹³ Bu tekniği kullanan hekim, farklı açılandırmalarla elde edilen radyografik bilgileri bir araya getirerek incelenecek yapıların derinliğine, diğer bir deyişle 3. boyuta ait bilgi sahibi olabilmektedir.¹⁴ Elde edilen görüntüler, sadece 2 boyutlu görüntülerin üst üste çakıştırılarak birleştirilmesiyle oluşturul-

duğundan, bir röntgen cihazı ve bir seri radyografik reseptör ile basit bir bilgisayar sistemi sayesinde görüntü oluşumu hızlı ve etkili bir şekilde gerçekleşebilir.¹⁵

TACT, konvansiyonel radyografiye ve diğer gelişmiş görüntüleme sistemlerine göre çok sayıda avantaja sahiptir. En önemli avantajı konvansiyonel ışınlama tekniklerini kullanarak 3. boyuta ait bilgi elde edilebilmesidir. Konvansiyonel radyografiyle bilgisayarlı tomografi yöntemlerinin arasında bir noktada yer aldığı tarif edilen TACT tekniğinin, dişhekimliğinin birçok alanında tanınabilirliğinin ölçüldüğü çalışmalar yapılmış, bu çalışmaların çoğu bilimsel ve klinik açıdan olumlu sonuçlar vermiştir.¹⁶⁻¹⁸ Alveol kreti bölgesinde trabeküler kemikte meydana gelen değişikliklerin lokalizasyonu ve saptanmasına yönelik gerçekleştirilen çalışmaların sonuçları da, TACT tekniğinin periodontoloji alanında 3 boyutlu görüntüleme sistemlerine bir alternatif oluşturabileceği yönünde ümit vermektedir.¹⁹⁻²¹

Tüm bu olumlu sonuçlara rağmen, TACT tekniğinin dental patolojilerin tanısında çoğunlukla tek başına yeterli bir yöntem olmadığı savunulmaktadır. Bu görüntüleme tekniğinin uygulanmasında karşımıza çıkan en büyük problem, ışınlama geometrisinin zorluğu ve yazılım ile rekonstrüksiyon işlemini gerçekleştirebilmek için dijital reseptör ve X-ışını kaynağı arasına yerleştirilen radyoopak kürelerin anatomik dokular üzerine süperpoze olmasıdır. Bu sorun, cihazın kullanımını komplike hale getirdiği gibi, elde edilecek 3 boyutlu görüntünün kalitesini de bozmaktadır.²² **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** Farklı açılardan elde edilen 2 boyutlu görüntülerin bir araya getirilmesi ile 3. boyuta ilişkin kısmen de olsa bilgi sunan bu tekniğin BT ile kıyaslandığında maliyetinin de düşük olması bir avantaj olmakla birlikte, görüntü kalitesi diğer 3 boyutlu görüntüleme sistemlerine göre yetersizdir.²³

Optik Koherens Tomografi (Optical Coherence Tomography = OCT)

Oral kaviteye ait hem sert hem de yumuşak dokuya ait görüntülerin elde edilebildiği bu alternatif görüntüleme sistemi, ışığın değişik yüzeylerden geçerken gösterdiği yansıma farklarını belirleyerek biyolojik yapıların kesit görüntülerinin oluşturulması temeline dayanır. Bu teknikte BT'de kullanılan X ışınlarının yerine, doku penetrasyonu yüksek ve şimdiye kadar bildirilmiş bir biyolojik hasara neden olmayan geniş bantlı, kızıl ötesine yakın dalga boyundaki ışın kaynaklarından

yararlanılmaktadır.²⁴ Doku mikrostrüktüründeki detaylar dokuları geçen, yansıyan, ya da dağılan fotonların birbirinden ayırt edilmesiyle açığa çıkar.²⁵ Bu teknik sayesinde hem kemik dokusunun hem de bugüne kadar güvenilir olarak görüntülenmesi ve kantitatif olarak değerlendirilmesi mümkün olmayan yumuşak dokuya ait değişikliklerin görüntülenmesi mümkün olmaktadır.²⁶

OCT'nin dental tanı yönünden başlıca avantajı, alveoler kemik dokusuna ve yumuşak dokuya ait hem mikrostrüktüel yapıların hem de yüzey konturlarının görüntülenebilmesidir.²⁷ Bunun dışındaki avantajları arasında ise, iyonizan olmayan radyasyon kullanılması, yüksek aksiyel çözünürlüğe sahip olması, küçük ve pratik bir apacey olması nedeniyle çok yer tutmaması ve görüntülerin anında oluşması sayılmaktadır.^{28,29}

Günümüzde polarizasyona duyarlı OCT apaceyelerinin geliştirilmesi ise, başta çürük lezyonlarındaki demineralizasyon-reminealizasyon sürecine ilişkin bilgilerin elde edilmesine olanak sağlayıp OCT'nin dişhekimliğindeki tanısıl potansiyelini arttırmıştır.²⁹ OCT'nin dişhekimliğinde yarar sağladığı diğer bir alan ise gingival ve periodontal hastalıkların varlığında oluşan yumuşak ve sert doku değişikliklerinin değerlendirilmesidir. OCT tekniği, periodontal ataşman lokalizasyonu, gingival dokuda oluşan morfolojik değişiklikler, diş dokusuna ait dejenerasyonlar gibi birçok önemli konuda yüksek çözünürlükte görüntüleriyle bize bilgi verebilen bir yöntem olarak periodontal tanı açısından öne çıkmaktadır.³⁰ Periodontal hastalığın ilerlemesiyle bağ dokusu ataşmanında oluşan değişikliklerin ve alveoler kemik kaybının OCT ile görüntülenebilmesi, özellikle periodontal tanı konusunda kaydedilmiş önemli bir aşamadır.

Amerika Periodontoloji Akademisi'nin yayınladığı bildiride, önceden geçirilmiş periodontitis hikâyesi olan hastalarda progresif doku yıkımı gözlenebileceği ve yeni bir periodontal doku yıkımının ne zaman gerçekleşeceğini saptayacak bir diagnostik teknik bulunmadığı belirtilmektedir.³¹ Ancak, periodontal doku yıkımının erken dönemde saptanmasının major doku hasarını önleyeceği de akademinin bildiride vurgulanan faktörlerden biridir.

OCT'nin periodontal yumuşak dokulara ait mikro düzeydeki yapısal detayları gösterdiği düşünülecek olursa, bu yeni görüntüleme sisteminin büyük miktarda alveol kemiği kaybı gerçekleşmeden önce aktif periodontal hastalığın tanısındaki önemi ortaya çıkmaktadır. Hastalığın başlangıcındaki OCT

görüntüleri hasta kayıtlarında saklanabilmekte ve bu sayede hastalığın prognozu, tedaviye verdiği yanıt görsel olarak belgelenebilmektedir.²⁸

Tüm bu avantajlarına rağmen OCT görüntülerini günümüzde sıklıkla kullanılan diagnostik görüntüleme yöntemleriyle karşılaştıran geniş kapsamlı klinik çalışmalar yapılmamıştır.²⁷ Gelecekte bu konuda yapılan çalışmaların sonuçlarının ışığında, OCT tekniğinin dişhekimliğinde özellikle de periodontal dokuların görüntülenmesinde başta erken tanı ve tedavi planlaması olmak üzere birçok klinik uygulamaya önemli katkılar sağlayacağı açıktır.

Periodontal hastalıkların tanısı aşamasında 3. boyuta ilişkin ayrıntılı bilgi edinmemize olanak sağlayan gelişmiş görüntüleme yöntemlerinden rutinde yararlanmak, yüksek maliyetleri ve cihazların ulaşılabilirliğinin düşük olması gibi nedenlerle her zaman mümkün olmamaktadır.^{32,33} OCT ya da TACT gibi alternatif görüntüleme sistemlerinin periodontolojide daha yaygın kullanım alanı bulabilmesi için, rutinde kullanılan diagnostik görüntüleme yöntemleriyle karşılaştırmalı olarak gerçekleştirilecek geniş kapsamlı klinik çalışmalara ihtiyaç vardır.

Alternatif görüntüleme yöntemlerinin henüz klinik bilimsel çalışmalar ile desteklenmemiş olması dijital görüntüleme sistemleri ile elde edilen iki boyutlu görüntülerde gerçekleştirilen görüntü analiz yöntemleri, periodontal patolojilerden kökenli kemik değişikliklerinin erken dönemde saptanabilirliğini arttıran yöntemler olarak karşımıza çıkmaktadır.³⁴

Görüntü analiz yöntemleri

Günümüz dijital teknolojisi ile geliştirilen matematiksel görüntü analizi yöntemleri dişhekimliğinde yaygın kullanma alanı bulmaktadır. Periodontal kemik kaybının erken dönemde saptanması hekimin erken dönemde koruyucu önlemler alması ve tedavi uygulaması açısından önemlidir. Alveol kreti bölgesindeki kemikte densitedeki azalma, periodontal hastalığın ilk erken belirtisi olarak karşımıza çıkar. Fakat densitede meydana gelen küçük değişikliklerin konvansiyonel radyografik yöntemlerle saptanması, ışınlama parametrelerindeki değişikliklere bağlı olarak görüntünün densite ve kontrastında meydana gelen dalgalanmalar ve anatomik oluşumların süperpozisyonu nedeniyle oldukça güçtür. Periodontal hastalıklar sonucu ortaya çıkan alveol kemiği kaybının erken dönemde saptanması aşamasında en sık kullanılan görüntü analiz yöntemi dijital çıkartma (dijital subtraction) radyografisidir.³⁴⁻³⁶

1. Dijital Çıkartma (Digital Subtraction) Radyografisi

Çıkartma radyografisi, periyodik zaman aralıkları ile alınan farklı radyografilerdeki görüntülerin üst üste çakıştırılarak birbirinden çıkartılması ile görüntü üzerinde gözle seçilemeyen minör densite değişikliklerin saptanabilmesi ilkesine dayanan bir görüntü analiz yöntemidir.³⁵ Teknik, belli bir periyotta değişiklik göstermeyen anatomik oluşumların çıkartma işlemi ile görüntüden uzaklaştırılmasını sağlayarak bu süreçte kemikte meydana gelen en küçük densite değişikliklerini bile kalitatif ve kantitatif olarak değerlendirmemize olanak tanımaktadır. Bu yöntem sayesinde kemik dokusunda meydana gelen densite değişikliklerinin yüksek doğrulukta saptanması, yapılan değerlendirmenin hassasiyetini de arttırmaktadır.³⁶

İlk olarak medikal radyolojide kullanılan bu analiz yönteminin dişhekimliğinde kullanım alanı bulması 1980'li yıllarda gerçekleşmiştir.^{37,38} Önceleri dijital subtraction radyografisi (DSR) standart koşullarda elde edilen radyografilerin yüksek çözünürlüklü tarayıcılar ile bilgisayar ortamına aktarılarak dijitize edilmesi yöntemi (indirek yöntem) ile uygulanırken, 1980'li yılların sonlarında görüntü elde edilmesinde CCD ya da fosfor plakların kullanıldığı direk dijital radyografi yöntemlerinden yararlanılmaya başlanmıştır. Direk dijital radyografi sistemlerinin kullanımı, hastaya ulaşan radyasyon dozunun azaltılması, görüntünün doğrudan ekranda izlenebilmesi ve görüntü üzerinde geliştirici/iyileştirici işlemlerin yapılabilmesi gibi avantajlar sağlamıştır.³⁹

Dijital görüntüler piksel denilen resim elemanlarından oluşur. Her pikselin grilik derecesini belirten sayısal bir değer bulunmaktadır. Her intraoral dental görüntü 256 gri gölgelenme içerir. Çıkartma radyografisinde yazılım her pikselin gri skala değerlerini birbirinden çıkarır. İşlem sonrası grilik değeri eşit olan bölgeler görüntüden uzaklaştırılırken (silinirken) grilik değerleri değişikliğe uğrayan alanlar öne çıkmaktadır. Eğer iki görüntü arasında fark yoksa her piksel bölgesinde değer 0 olmakta; fark varsa değişiklik olan bölge gözle görünür hale gelmektedir. İlk radyografi ile takip radyografisi arasındaki fark çıkartılan görüntüde beyaz (opak) olarak görülüyorsa kazanılmış doku, siyah (lüsent) olarak görülüyor ise kaybedilmiş doku olarak yorumlanmaktadır.⁴⁰

Çıkartma radyografisi, alveol kemiğindeki erken dönem mineral değişikliklerin saptanıp izlenmesini sağlar. Konvansiyonel radyografi yöntemleriyle kemik dokusunda %30-60 oranında mineral kaybı olmaksızın radyografik olarak tanı koymak mümkün değilken, bu

konuda yapılan çalışmalar çıkartma radyografisi kullanılarak %5'den daha az mineral kayıplarının %90 doğrulukta saptanabileceğini göstermektedir.⁴¹ Çıkartma radyografisinin mineral değişikliklerin saptanmasındaki yüksek sensitivite oranı, interdental kemiği radyografik olarak sıklıkla inceleyip yorumlayan periodontoloji uzmanları için özellikle önem taşımaktadır. Örneğin, periodontal tedavi gören bir hastada alveoler kemik dokusunda oluşan kayıpların erken dönemde çıkartma radyografisi kullanılarak saptanması sayesinde geç kalınmadan müdahale edilmesi tedavinin başarı şansını artıracaktır.⁴²

Alveol kemiğindeki değişikliklerinin kalitatif ve kantitatif olarak saptanmasını sağlayan çıkartma radyografisinden başarı elde edebilmek için ilgilenilen bölgenin aynı ışınlama parametrelerinde (densite ve kontrast) ve projeksiyon geometrisinde elde edilmiş seri radyografilerine ihtiyaç duyulmaktadır. İdeal olan ilk radyografideki standart görüntüleme tekniğini takip radyografilerinde de aynen tekrarlayabilmektir. Fakat ideal radyografik geometrinin değişmeden her çekimde sağlanması her zaman mümkün değildir. Standart görüntülemenin yapılamaması, temel grafinin takip grafisinden çıkartılabilmesi için üst üste çakıştırılması aşamasında problem oluşturmakta kısaca iki radyografide yer alan benzer oluşumların farklı konumlarda görüntülenmesine neden olmaktadır. Bu durumda çıkartma işlemi ideal şartlarda gerçekleştirilememekte/hatalı gerçekleşmekte dolayısı ile kemik kayıp ya da kazancından kaynaklanan değişiklikler ayırt edilememekte ya da yanlış yorumlanabilmektedir.^{10,43}

Gelişen teknoloji ile birlikte piyasaya sürülen yazılımlardan yararlanılarak DSR'de kullanılan radyografik görüntülerin densite değerlerinin eşleştirilmesi ya da geometrik hizalama işlemlerinin yapılabilmesi mümkündür. Densite ve kontrast eşleştirmeye yönelik problemler yazılımlar ile başarılı bir şekilde çözülebilirken, projeksiyon geometrisine yönelik farklılıkların düzeltilmesi daha komplike bir işlemdir ve bu konuda yapılan girişimler bulunmakla birlikte sorun tam olarak çözülememiştir.^{44,45}

Hastalara özel akrilik plaklar hazırlanması ya da silikon ölçülerle diş okluzal kayıplarının alınmasının yanında; hastanın pozisyonunu ve ışın kaynağı obje mesafesini sabitlemek için sefalostat kullanımı projeksiyon geometrisini standardize etmeye yönelik alınan önlemler arasındadır.^{46,47} Radyografi üzerinde belirlenen 4 noktanın işaretlenmesi ve sonraki radyografilerde bu dört noktanın çakıştırılması temeline dayanan "referans

nokta metodu” ile standardizasyon için başarı elde edilse de, daha kompleks görüntü distorsiyonlarını düzeltebilmek için en az 9 farklı referans noktasından yararlanılan daha komplike algoritmaların kullanılmasının gerektiği bildirilmektedir.^{44,48} Fakat, söz konusu algoritmalar kullanılarak açı değişikliklerinden kaynaklı distorsiyonları ancak 1-5 derecelik hatalar için gidermek mümkündür.^{49,51}

Projeksiyon geometrisine ait standardizasyonu sağlamak adına alınan tüm önlemler ve girişimlere rağmen, tam bir çözüm bulunamamıştır. Çıkartma radyografisi tekniğinin rutin klinik uygulamalarda kullanılmasının çok sayıda zorluklar içermesi, dişhekimleri tarafından rutin ve geniş çapta benimsenmesini güçleştirmektedir. Artık çoğu serbest dişhekiminin muayenehanesinde dijital görüntüleme sistemi kullanılıyor olması gelecekte bu analiz yönteminin yaygınlaşacağını düşündürse de tekniğe ait işlemlerin zorluğu bunun gerçekleşmesini engellemektedir. Çıkartma radyografisi için kullanılan analiz sistemlerinin şu an komplike ve çok basamaklı olan aşamalarının ilerde otomatik hale getirilip (örneğin çıkartma öncesinde görüntülerin hizalandırılması işleminin otomatik olarak yapılması) basitleştirilmesi ile, serbest dişhekimleri arasında bu görüntü analiz yönteminin kullanımının yaygınlaşacağı görüşü bazı araştırmacılar tarafından benimsenmektedir.⁵²

Dijital çıkartma radyografisi tekniğinin tüm olumsuzlukları göz önünde bulundurulduğunda ışınlama geometrisindeki farklılıklardan etkilenmediği iddia edilen fraktal analiz yöntemi, hastalardan elde edilen radyografik görüntüler kullanılarak trabeküler kemikte oluşan erken dönem değişikliklerin saptanmasında kullanılabilecek bir alternatif görüntü analiz yöntemi olarak önerilmektedir.^{53,54}

2. Fraktal Analiz Yöntemi

Kemik sağlığının değerlendirilmesi aşamasında alveoler trabeküler kemik stürüktürünün analizi, birçok medikal alanda önemli uygulama alanları bulmuştur.⁵⁵ Bunun temelinde yatan neden, trabeküler kemiğin metabolik açıdan aktif olması ve kompakt kemik ile karşılaştırıldığında yenilenme oranının oldukça yüksek olmasıdır. Dolayısıyla, alveoler trabeküler kemiğin yapısının incelenmesi tüm vücut kemiklerine ait metabolik aktiviteyi iyi yansıtmaları, kemik yapısındaki değişikliklerin gözlenmesi ve diagnostik açıdan bilgi edinilmesi aşamalarında büyük yarar sağlamaktadır.⁵⁶

Günümüz dijital teknolojisi ile geliştirilen matematiksel görüntü analiz yöntemleri yardımıyla, dijital görüntüleme sistemleri ile elde edilen görüntüler

üzerinde kemik densitesi ve alveoler kemik yapısına ilişkin kalitatif ve kantitatif analizler yapılabilmektedir. Trabeküler kemik yapısının değerlendirilmesi için geliştirilen yöntemlerden biri de fraktal analiz yöntemidir. Fraktal analiz yöntemi, kompleks şekillerin ve yapıların analizinde kullanılan matematiksel bir yöntemdir ve nümerik olarak “fraktal boyut” olarak tanımlanır. Fraktal boyut, geometrik yapının karmaşıklığını temsil etmektedir ve yapılan çalışmalar bu nümerik değer artışının yapının daha kompleks (karmaşık) olduğuna işaret ettiğini ortaya koymaktadır.^{53,57}

Tıp radyologları, fraktal analiz yönteminin kemikte erken dönemde meydana gelen değişikliklerin saptanmasına yardımcı olan bir yöntem olduğunu bildirmekte ve bu yöntemin ışınlama geometrisi, açılardırma ve radyodensite gibi değişkenlerden bağımsız bir yöntem olduğunu iddia etmektedir.⁵⁸⁻⁶⁰

Alveol kemiğinin trabeküler ağı, fraktal boyutlarla karakterize edilebilen bir yapı sergiler. Periodontal hastalığı ya da osteoporozu olan bireylerde trabeküllerde meydana gelen rezorpsiyon, fraktal boyutta değişikliklerle sonuçlanabilmektedir.^{60,61} Kemik yapısına ilişkin hassas değerlendirmeler yapabilmemize olanak sağlayan ve kemiğin trabeküler yapısını objektif olarak belirleyebilen fraktal analiz yönteminden; alveol kemiğinde oluşan erken dönem periodontal değişikliklerin saptanmasında da yararlanılabilmektedir. Bu özellikleri ile fraktal analizin önemli bir tanı yöntemi olduğu gerek medikal gerekse dental alanda yapılan çalışmalarla vurgulanmaktadır.^{58,59,62}

Fraktal analiz yöntemi, osteoporozla bağlı olarak ortaya çıkan patolojilerin tanısı ve implant bölgelerine komşu kemik dokusunun değerlendirilmesi gibi dişhekimliğinin birçok farklı dalında kullanım alanı bulmaktadır.⁶³⁻⁶⁵ Dişhekimliği alanında gerçekleştirilen çalışmalarda; ışınlama parametreleri ve açılardırma değişikliklerinin fraktal analiz yöntemi ile elde edilen fraktal boyut değerlerini değiştirmediği belirtilmektedir.^{66,67} Shroot ve ark.’nın periapikal filmlerin elde edilmesi aşamasında kullanılan ışınlama parametrelerinin ve açılardırma değişikliklerinin fraktal analiz yöntemi ile elde edilen fraktal boyut değerlerine olan etkisini araştırdıkları çalışmada, ışınlama parametre değişikliklerinin fraktal boyutta istatistiksel olarak anlamlı bir fark yaratmadığı saptanmıştır.⁶⁸ Jolley ve ark.’nın 2006 yılında yaptıkları çalışmanın sonuçları da bu bulguları destekler niteliktedir.⁵⁵ Bu durum, standardizasyonu sağlamak için özel ekipmanlar gerektiren “dijital çıkartma radyografisi” gibi

yöntemlerle karşılaştırıldığında, fraktal analiz yöntemine ilişkin bir kullanım kolaylığı oluşturmaktadır.⁵²

Dişhekimliğinde fraktal analiz yönteminden periodontal dokulardaki değişikliklerin saptanmasında da yararlanılabileceği ortaya konmuştur.⁶⁶⁻⁶⁸ Shrou ve ark. periodontitis tanısı konmuş hastalardan alınan periapikal radyografiler kullanılarak hesaplanan fraktal boyut değerlerinin gingivitisli ya da sağlıklı bireylerden elde edilen değerler ile karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı farklılık gösterdiğini saptamışlardır.⁶⁸ Updike ve ark. fraktal analiz yöntemi kullanarak periodontitis hastalarını sağlıklı periodontal dokuları olan bireylerle karşılaştırmalı olarak değerlendirdikleri çalışmada, hem orta derecedeki hem de şiddetli periodontitis olgularının fraktal analiz değerlerinin sağlıklı bireylere ait değerlerden istatistiksel olarak anlamlı farklılık gösterdiğini saptamıştır.⁶⁹ Cha ve ark.'nın 2001 yılında yaptıkları çalışmanın sonuçları da bu bulguları desteklemektedir.⁷⁰ Bu çalışmalarda; fraktal analiz yönteminin sağlıklı, gingivitisli ve periodontitisli bireylerin ayırımında kullanılabilecek bir yöntem olduğu ve bu analizin gerçekleştirilebilmesi için standart koşullarda çekilmiş filmlere gerek duyulmadığı da vurgulanmaktadır.⁶⁶⁻⁷⁰

SONUÇ

Bilimsel araştırmaların sonuçları iki boyutlu görüntüleme sistemleri ile elde edilen dental grafiler üzerinde gerçekleştirilen görüntü analiz işlemlerinin; kemik yoğunluğunda meydana gelen değişikliklerin saptanmasında güvenilir bir yöntem olduğunu göstermektedir. İki boyutlu sistemlerle elde edilen görüntüler 3 boyutlu sistemler ile karşılaştırıldığında hastaya ulaşan radyasyon dozunun da göreceli olarak düşük olduğu göz önünde bulundurulursa, iki boyutlu görüntüler kullanılarak 3 boyutlu yöntemler ile elde edilebilen bilgilere ulaşılmasının avantajı açığa çıkmaktadır. Alveol kemiğinin ilerleyen yıkımıyla karakterize periodontitis hastalarında kemik yüksekliği ve/veya yoğunluğunda azalma olduğu bilinmektedir. Kemik yoğunluğu ve trabeküler bütünlük, radyografiler üzerinde kemik kaybı gözlemlenebilir aşamaya gelmeden çok önce bozulmaya başlayabilir. Bu aşamada fraktal analiz gibi görüntü analiz yöntemlerinden yararlanılması; ileri derecede kemik kaybı gerçekleşmeden kemik dokusunda meydana gelen minör değişikliklerin saptanabilmesine olanak sağlayacaktır. Periodontitisin alveol kemiğinde erken dönemde meydana getirdiği değişikliklerin fraktal analiz yöntemi ile ortaya konulabilmesi durumunda, bu

hastaların erkenden tedavisine başlanabilmesi ve hastalık ileri düzeyde yıkım oluşturmaktan tedaviye başlanarak uzun vadede oluşabilecek diş kayıplarının önüne geçilmesi mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Brown LJ, Loe H. Prevalence, extent, severity and progression of periodontal disease. *Periodontol* 2000 1993; 2: 57-71.
2. Langen HJ, Fuhrmann R, Diedrich P, Gunther RW. Diagnosis of infra-alveolar bony lesions in the dentate alveolar process with high-resolution computed tomography: experimental results. *Invest Radiol* 1995; 30: 421-426.
3. Jeffcoat MK. Current concepts in periodontal disease testing. *J Am Dent Assoc* 1994; 125: 1071-1078.
4. Reddy MS. Radiographic methods in the evaluation of periodontal therapy. *J Periodontol* 1992; 63(12 Suppl): 1078-1084.
5. Brettle DS, Workman A, Ellwood RP, Launders JH, Horner K, Daves RM. The imaging performance of a storage phosphor system for dental radiography. *Br J Radiol* 1996; 69: 256-261.
6. Yoshiura K, Kawazu T, Chikui T, et al. Assessment of image quality in dental radiography, part 2. Optimum exposure conditions for detection of small mass changes in 6 intraoral radiography systems. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1999; 87: 123-29.
7. Christgau M, Hiller KA, Schmalz G, Kolbeck C, Wenzel A. Quantitative digital subtraction radiography for the determination of small changes in bone thickness: an in vitro study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1998; 85: 462-72.
8. Mol A, Balasundaram A. In vitro cone beam computed tomography imaging periodontal bone. *Dentomaxillofac Radiol* 2008; 37: 319-324.
9. Misch KA, Yi ES, Sarment DP. Accuracy of cone beam computed tomography for periodontal defect measurements. *J Periodontol* 2006; 77: 1261-1266.
10. Eickholz P, Kim TS, Benn DK, Staehle HJ. Validity of radiographic measurement of interproximal bone loss. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1998; 85: 99-106.
11. Webber RL, Horton RA, Tyndall DA, Ludlow JB. Tuned-aperture computed tomography (TACT). Theory and application for the three-dimensional dento-alveolar imaging. *Dentomaxillofac Radiol* 1997; 26: 53-62.

12. Huang D, Swanson EA, Lin CP, et al. Optical coherence tomography. *Science* 1991; 254:1178-81.
13. Nance R, Tyndall D, Levin LG, Trope M. Identification of root canals in molars by tuned-aperture computed tomography. *Int Endod J* 2000; 33: 392-6.
14. Barton DJ, Clark SJ, Eleazer PD, Scheetz JP, Farman AG. Tuned-aperture computed tomography versus parallax analog and digital radiographic images in detecting second mesiobuccal canals in maxillary first molars. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003; 96: 223-8.
15. Webber RL, Horton RA, Underhill TE, Ludlow Jb, Tyndall DA. Comparison of film, direct digital, and tuned-aperture computed tomography images to identify the location of crestal defects around endosseous titanium implants. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1996; 81: 480-90.
16. Nair MK, Webber RL, Johnson MP. Comparative evaluation of Tuned Aperture Computed Tomography for the detection of mandibular fractures. *Dentomaxillofac Radiol* 2000; 29: 297-301.
17. Nair MK, Nair UP, Gröndahl HG, Webber RL. Accuracy of tuned aperture computed tomography in the diagnosis of radicular fractures in non-restored maxillary anterior teeth-an in vitro study. *Dentomaxillofac Radiol* 2002; 31: 299-304.
18. Nair MK, Tyndall D, Ludlow JB, May K, Ye F. The effects of restorative material and location on the detection of simulated recurrent caries. A comparison of dental film, direct digital radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 1998; 27: 80-4.
19. Chai-U-Dom O, Ludlow JB, Tyndall DA, Webber RL. Comparison of conventional and TACT (Tuned Aperture Computed Tomography) digital subtraction radiography in detection of pericrestal bone-gain. *J Periodontal Res* 2002; 37: 147-53.
20. Nair MK, Seyedain A, Agarwal S, et al. Tuned aperture computed tomography to evaluate osseous healing. *J Dent Res* 2001; 80: 1621-4.
21. Ramesh A, Ludlow JB, Webber RL, Tyndall DA, Paquette D. Evaluation of tuned aperture computed tomography (TACT) in the localization of simulated periodontal defects. *Dentomaxillofac Radiol* 2001; 30: 319-24.
22. Hayakawa Y, Yamamoto K, Kousuge Y, Kobayashi N, Wakoh M. Clinical validity of the interactive and low-dose three-dimensional dento-alveolar imaging system, tuned-aperture computed tomography. *Bull Tokyo Dent Col* 2003; 44: 159-67.
23. Nair MK. Diagnostic accuracy of Tuned Aperture Computed Tomography (TACT). *Swed Dent J* 2003; 159: 1-93.
24. Delpy DT, Cope M, van der Zee P, Arridge S, Wray S, Wyatt J. Estimation of optical pathlength through tissue from direct time of flight measurement. *Phys Med Biol* 1988; 33: 1433-42.
25. Schuman JS, Pedut-Kloizman T, Hertzmark E, et al. Reproducibility of nerve fiber layer thickness measurements using optical coherence tomography. *Ophthalmology* 1996; 103:1889-98.
26. Colston BW Jr, Everett MJ, Sathyam US, DaSilva LB, Otis LL. Imaging of the oral cavity using optical coherence tomography. *Monogr Oral Sci.* 2000; 17: 32-55.
27. Otis LL, Everett MJ, Sathyam US, Colston BW Jr. Optical coherence tomography: a new imaging technology for dentistry. *J Am Dent Assoc* 2000; 131: 511-4.
28. Otis LL, Colston BW Jr, Everett MJ, Nathel H. Dental optical coherence tomography: a comparison of two in vitro systems. *Dentomaxillofac Radiol* 2000; 29: 85-9.
29. Baumgartner A, Dichtl S, Hitzemberger CK, et al. Polarization-Sensitive Optical Coherence Tomography of Dental Structures. *Caries Res* 2000; 34: 59-69.
30. Huang D, Swanson EA, Lin CP, et al. Optical coherence tomography. *Science* 1991 22; 254: 1178-81.
31. Position paper: Diagnosis of periodontal diseases. Research, Science and Therapy Committee. *J Periodontol* 2003; 74: 1237-1247.
32. Saini S, Sharma R, Levine LA, Barmson RT, Jordan PF, Thrall JH. Technical cost of CT examinations. *Radiology* 2001; 218: 172-5.
33. Frederiksen NL, Benson BW, Sokolowski TW. Effective dose and risk assessment from computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 1995; 24: 55-8.
34. Lee SS, Huh YJ, Kim KY, et al. Development and evaluation of digital subtraction radiography computer program. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2004; 98: 471-5.
35. Mol A, Dunn SM. The performance of projective standardization for digital subtraction radiography.

- Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003; 96: 373-82.
36. Nummikoski PV, Steffensen B, Hamilton K, Dove SB. Clinical validation of a new subtraction radiography technique for periodontal bone loss detection. *J Periodontol* 2000; 71: 598-605.
 37. Gröndahl HG, Gröndahl K. Subtraction radiography for the diagnosis of periodontal bone lesions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1983; 55: 208-13.
 38. Gröndahl HG, Gröndahl K, Webber RL. A digital subtraction technique for dental radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1983; 55: 96-102.
 39. White SC, Pharoah MJ. *Oral Radiology Principles and Interpretation*, 5th ed. Mosby, St Louis, 2004.
 40. Christgau M, Wenzel A, Hiller KA, Schmalz G. Quantitative digital subtraction radiography for assessment of bone density changes following periodontal guided tissue regeneration. *Dentomaxillofac Radiol* 1996; 25: 25-33.
 41. Ortman LF, Dunford R, McHenry K, Hausmann E. Subtraction radiography and computer assisted densitometric analyses of standardized radiographs. A comparison study with 125I absorptiometry. *J Periodontal Res* 1985; 20: 644-51.
 42. Shrouf MK, Jett S, Mailhot JM, Potter BJ, Borke JL, Hildebolt CF. Digital image analysis of cadaver mandibular trabecular bone patterns. *J Periodontol* 2003; 74: 1342-7.
 43. Wenzel A, Sewerin I. Sources of noise in digital subtraction radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1991; 71: 503-8.
 44. Webber RL, Rüttimann UE, Groenhuis RA. Computer correction of projective distortions in dental radiographs. *J Dent Res* 1984; 63: 1032-6.
 45. Rüttimann UE, Webber RL, Schmidt E. A robust digital method for film contrast correction in subtraction radiography. *J Periodontal Res* 1986; 21: 486-95.
 46. Corbet EF, Ho DK, Lai SM. Radiographs in periodontal disease diagnosis and management. *Aust Dent J* 2009; 54 (Suppl 1): S27-43.
 47. Hausmann E, Allen K, Loza J, Buchanan W, Cavanaugh PF Jr. Validation of quantitative digital subtraction radiography using the electronically guided alignment device/impression technique. *J Periodontol* 1996; 67: 895-899.
 48. Wenzel A. Effect of manual compared with reference point superimposition on image quality in digital subtraction radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 1989; 18: 145-50.
 49. Davis M, Allen KM, Hausmann E. Effects of small angle discrepancies on interpretations of subtraction images. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1994; 78: 397-400.
 50. Hausmann E, Kutlubay ME, Odrobina D, et al. Studies on the angular reproducibility of positioning patients adjacent to an x-ray tube. 2. A new electronically guided, force-sensitive sensor-based alignment system. *J Periodontal Res* 1995; 30: 294-7.
 51. Shrouf MK, Weaver J, Potter BJ, Hildebolt CF. Spatial resolution and angular alignment tolerance in radiometric analysis of alveolar bone change. *J Periodontol* 1996; 67: 41-5.
 52. Hausmann E. Digital subtraction radiography: then (1983) and now (1998). *J Dent Res* 1999; 78: 7-10.
 53. Law AN, Bollen A-M, Chen S-K. Detecting osteoporosis using dental radiographs: a comparison of four methods. *J Am Dent Assoc* 1996; 127: 1734-42.
 54. Alman AC, Johnson LR, Calverley DC, Grunwald GK, Lezotte DC, Hokanson JE. Diagnostic capabilities of fractal dimension and mandibular cortical width to identify men and women with decreased bone mineral density. *Osteoporos Int* 2012; 23: 1631-6.
 55. Jolley L, Majumbar S, Kapila S. Technical factors in fractal analysis of peripical radiographs. *Dentomaxillofac Radiology* 2006; 35: 393-97.
 56. Frost HM. Dynamics of bone remodeling. In: *Bone biodynamics*. Ed. Frost HM. Little Brown & Co. Boston, MA, p: 315-333, 1964.
 57. Chen J, Zheng B, Chang YH, Shaw CC, Towers JD, Gur D. Fractal analysis of trabecular patterns in projection radiographs. An assessment. *Invest Radiol* 1994; 29: 624-629.
 58. Lynch JA, Hawkes DJ, Buckland-Wright JC. Analysis of texture in macroradiographs of osteoarthritis knees using fractal signature. *Phys Med Biol* 1991; 36: 709-722.
 59. Buckland-Wright JC, Lynch JA, Rymer J, Fogelman I. Fractal signature analysis of macroradiographs measures trabecular organization in lumbar of postmenopausal women. *Calcif Tissue Int* 1994; 54: 106-112.
 60. Lynch JA, Hawkes DJ, Buckland-Wright JC. A robust and accurate method for calculating fractal

- signature of texture in macroradiographs of osteoarthritic knees. *Med Inform* 1991; 16: 241-251.
61. Lundahl T, Ohley WS, Kay SM, Siffert R. Fractional Brownian-motion: a maximum likelihood estimator and its application to imaging texture. *IEEE Trans Med Imaging* 1986; 5: 152-161.
62. Ruttimann UE, Ship JA. The use of fractal geometry to quantitate bone structure from radiographs. *J Dent Res* 1990; 69: 287.
63. Wilding RJ, Slabbert JC, Kathree H, Owen CP, Crombie K, Delpont P. The use of fractal analysis to reveal remodelling in human alveolar bone following the placement of dental implants. *Arch Oral Biol* 1995; 40: 61-72.
64. Ruttimann UE, Webber RL, Hazelrig JB. Fractal dimension from radiographs of peridental alveolar bone: A possible diagnostic indicator of osteoporosis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1992; 74: 98-100.
65. Önem E, Baksı BG, Sogur E. Changes in the fractal dimension, feret diameter, and lacunarity of mandibular alveolar bone during initial healing of dental implants. *Int J Oral and Maxillofac Implants* 2012; 27: 1009-13.
66. Shrouf MK, Potter BJ, Mailhot JM, Hildebolt CF. Morphologic operations used to distinguish between two patient populations differing in periodontal health. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1998; 85: 334-8.
67. Shrouf MK, Hildebolt CF, Potter BJ, Comer RW. Comparison of 5 protocols based on their abilities to use data extracted from digitized clinical radiographs to discriminate between patients with gingivitis and periodontitis. *J Periodontol* 2000; 71: 1750-5.
68. Shrouf MK, Roberson B, Potter BJ, Mailhot JM, Hildebolt CF. A comparison of 2 patient populations using fractal analysis. *J Periodontol*. 1998; 69: 9-13.
69. Updike SX, Nowzari H. Fractal analysis of dental radiographs to detect periodontitis-induced trabecular changes. *J Periodontal Res*. 2008; 43: 658-64.
70. Cha SY, Han WJ, Kim EK. Usefulness of fractal analysis for the diagnosis of periodontitis. *Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2001; 31: 35-42.

Yazışma Adresi:

Doç. Dr. Elif SOĞUR
EÜ Diş Hekimliği Fakültesi Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi AD
Bornova İzmir
Tel : 0 232 388 10 81
E-posta : esogur@yahoo.com