

DİŞ HEKİMLİĞİ ARAŞTIRMALARINDA MİKRO BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİNİN OLASI KULLANIM ALANLARI

THE PROBABILITY OF MICRO CT USE IN DENTAL RESEARCH

Şemsettin YILDIZ^{1*}, Yasemin YAVUZ², Ebru AKLEYİN³, Haluk AKBABA⁴

1. G. Antep Şehitkamil Ağız Ve Diş Sağlığı Merkezi/ G. ANTEP.
2. Dicle Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı, DIYARBAKIR.
2. Konya Ağız Ve Diş Sağlığı Merkezi/ KONYA.
3. Dicle Üniversitesi Pedodonti AD/ DIYARBAKIR.

Özet

Son zamanlarda dijital görüntüleme tekniklerde yaşanan gelişmeler sayesinde diş hekimliği deneysel araştırmalarında mikro BT (mikro bilgisayarlı tomografi), kullanımı her geçen gün daha da yaygınlaşmaktadır. Günümüzde Mikro BT cihazları çözünürlüğü artırmak amacıyla kesit kalınlığının mikro metre cinsinden alınmasına olanak sağlayacak şekilde geliştirilmiştir. Mikro BT, 5-50 µm kalınlığındaki kesitlerde yüksek çözünürlükte taramalar yapılabilmesine olanak sağlamaktadır.

Bu derlemenin amacı; mikro BT'nin diş hekimliğindeki kullanım alanları, kök kanal morfolojisinin analizi, kök kanal şekillendirmesinin değerlendirilmesi, kök kanal dolgusunun değerlendirilmesi, retreatment tedavileri sonrasında kök kanalında kalan dolgu materyalinin incelenmesi, kafa yüz iskeletinin gelişiminin incelenmesi, implant ve kök çevresindeki kemiğin mikro yapısının değerlendirilmesi, mine kalınlığının ölçülmesi dişlerin mineral konsantrasyonun belirlenmesi gibi birçok alanda yapılabilen in vitro çalışmalar hakkında bilgi vermektedir.

Anahtar kelimeler: Dental görüntüleme; mikro bilgisayarlı tomografi

Abstract

Recently, the use of micro CT (microcomputer tomography) in dental medicine experimental researches has become widespread due to the developments in digital techniques. Micro-CT devices have been developed that allow cross-sectional thickness to be taken in micrometers to increase resolution. High resolution scanning is possible by taking a 5-50 µm thick section with micro CT.

The aim of this review is give informatio about probability of in vitro research analysis of root canal morphology, evaluation of root canal filling, evaluation of root canalfilling, examination of filling material remaining in root canal after reatments, examination of development of head facial skeleton, evaluation of micro structure of bone around implant and root, measurement of enamel thickness as well as the mineral concentration of the teeth.

Key Words: Dental imaging; micro computed tomography.

Giriş

Röntgen tarafından 1895 yılında x

ışınlarının keşfi ile birlikte, vücudun non - invaziv olarak iç yapısının görülmesini mümkün kılan bu teknoloji, teşhise dayalı tıpta büyük bir devrim niteliği taşımaktadır (1,2,3). Bilgisayar teknolojisinin gelişimiyle deneysel araştırmalarda dijital tekniklerin önemi artmıştır. Bilgisayarlı tomografi, X-ışınının bilgisayar teknolojisi ile birleşmesinin sonucu vücudun kesitler şeklinde görüntü alınmasını sağlar (4). 20. Yüzyıla gelindiğinde, radyolojik datalar

İletişim Adresi

Dr.Dt. Şemsettin YILDIZ
G.Antep Şehit Kamil Ağız ve Diş Sağlığı Merkezi
G.Antep

e-mail: semsettin_yildiz@hotmail.com

kullanılarak uygun üç boyutlu görüntü elde edilmesi arayışını girilmeye başlanmıştır.

İlk olarak İngiliz mühendis Godfrey Hounsfield 1970'lerde bilgisayarlı tomografi taraycısını geliştirerek bu konuda en önemli adımı atmıştır (6). İlk yapılan üç boyutlu görüntülemeler, iki boyutlu aksiyel kesitlerin üst üste toplanarak iki boyutlu rekonstrüksiyonu ile gerçekleştirilmiştir. Böyle bir durumda tarama zamanında uzama, görüntüdedistorsiyonlar, artefaktlar ve düşük çözünürlüklü görüntülerin oluşmasına neden olabilmektedir. Teknolojinin zamanla gelişimiyle beraber çok daha az radyasyon dozlarıyla kabul edilebilir kalitede görüntü veren cihazlar geliştirilmiştir (5).

Mikrotomografi sistemi, 1980'li yılların başına gelindiğinde, ilk defa Jim Elliott tarafından geliştirilmiştir ve 50 µm çözünürlüklü bir küçük tropik yılan ilk olarak değerlendirilmiştir (4). Rhodes, 1999 yılında mikro tomografiyi deneysel endodonti çalışmalarında çok daha kullanışlı ve yenilikçi bir yöntem olarak tanımlayarak örnekleri incelemek amacıyla kesit almıştır. Alınan kesit sayısının çokluğu örnekten daha fazla bilginin alınmasını sağlayarak detaylı bir şekilde inceleme yapılabilmektedir. Bunlar araştırmacılar açısından devrim niteliğinde büyük bir gelişme olarak görülmüştür (1,4).

Çeşitli bilgisayar programlarından faydalanarak, mikro BT'den elde edilmiş olan veriler kullanılarak, üç boyutlu görüntüler oluşturulup istenilen bölgeler daha iyi incelenebilmektedir. Bu işlem yeniden yapılandırma olarak tanımlanır ve '3D rekonstrüksiyon' olarak adlandırılır.

Mikro BT, genel yapı olarak BT'nin prototipine benzemektedir. Mikrotomografi cihazının ana parçalarını X-ışını tüpü, cihazın haznesine sabitlenen, örneği belirli periyotlarda çeviren ve bilgisayardan kontrol edilen bir adım motoru, ortamda bulunan X-ışınını kamera sensörü üstüne yoğunlaştırmak amacıyla kullanılan görüntü yoğunlaştırıcı, üzerine düşmüş olan X-ışınlarının görüntü verisine çevrilmesi için bir CCD kamera, elde edilmiş görüntülerin toplanmasını sağlayan görüntü toplayıcısı ve bütün bunları kontrol etmek için bir bilgisayar sistemi oluşturmaktadır (6).

Mikro bilgisayarlı Tomografinin Diş Hekimliğinde Kullanım Alanları

İlk üretilmiş olan mikro BT'nin geniş kapsamlı bir kullanım alanı yoktu ve özel olarak yapılmaktaydı. Son yıllarda ticari amaçla

üretilmeye başlanmış olan kompakt cihazlar, akademik çalışmalar ve endüstriyel araştırma laboratuvarlarının önemli bir parçaları haline gelmiştir ve yaygın olarak kullanılmaktadır (7).

Mikro BT kullanarak diş ve kemik gibi sert dokuları, seramikler, polimerler, ya da biyomateriyeller direkt olarak incelenebilmesi mümkündür (8,9). Bununla birlikte teknolojinin gelişimiyle birlikte yeni nesil mikro BT'lerin geliştirilmesi ile küçük hayvanların canlı olarak in-vivo ortamda incelenmesini mümkün kılmaktadır (10,11). Mikro BT'nin yumuşak doku kontrastı düşük olmasına rağmen, osmium, gümüş, altın, iodin gibi problemlerin kullanımıyla birlikte bu problem başarılı bir şekilde çözülmüştür (12).

Kök Kanal Morfolojisinin Değerlendirilmesi

Kök kanal morfolojisi oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Birden fazla foramen, genellikle ağ şeklinde olan bağlantılar, istmuslar ve lateral kanallar gibi düzensiz oluşumlar kök kanal morfolojisini oluşturmaktadır. Klinisyen için başarılı bir endodontik tedavi yapabilmek için kök kanal sistemlerinin üç boyutlu morfolojik özellikleri hakkında bilgi sahibi olmak başarı için önemli bir kriterdir. Kök kanal yapısının morfolojik özellikleri geleneksel klinik radyografi ile sadece iki boyutlu görüntüler alınabilmektedir. Ayrıca dişlerin iç anatomisi hakkında bilgi almak için yapılan in-vitro çalışmalar örnekler üzerinde geri dönüşümsüz değişikliklere sebep olmaktadır. Geleneksel BT, bu amaç için invaziv olmayan bir yöntemdir. Ancak geleneksel BT ile elde edilen kesitin kalınlığı fazla olduğundan dolayı, görüntülerin çözünürlüğü düşüktür (4,46).

Mikro BT sistemleriyle beraber, kök kanal sistemlerine zarar verilmeden etkili bir şekilde incelenebilmektedir. Bir mikro BT taramasıyla çok fazla bilgi elde edilebilmekte; elde edilmiş olan kesitler herhangi bir düzlem üzerinde yeniden oluşturularak ve veriler 2 veya 3 boyutlu görüntü şeklinde elde edilmektedir. İç ve dış yapılar aynı zamanda veya ayrı ayrı olarak da görüntülenebilir. Örneklerden alınan görüntüler nicel ve niteliksel açıdan incelenebilmektedir (13,14).

Bazı araştırmacılar, kök kanal sistemini oluşturan yapıların morfolojik özellikleri ve pulpa odasının değerlendirilmesi amacıyla mikro BT'den faydalanmışlardır. Bu taramalar sonucunda elde edilen görüntülerle pulpa

boşluğunun şekli, pulpa odasının tavan ve taban bölgeleri, pulpa boynuzlarındaki hacim oranları ve kök kanallarının bukkal ve lingual ağzlarının çapları araştırılıp değişik yaş gruplarındaki farklılıklar kıyaslanmıştır. Bir diş oluşturulan tüm yapılar 3 boyutlu bir şekilde elde edilebilir, Dişin hem iç hem de dış yapısını doğru bir şekilde değerlendirmek amacıyla, dişin sert yapıları saydam ve pulpa odası opak yapılarak yeniden yapılandırılmaktadır. Kök ile kronun iç ve dış morfolojisi arasındaki ilişki araştırılabilir (15).

Dişlerin anatomisindeki farklılıklar, kök kanal tedavisinin başarısında önemli bir etkidir. Kök kanal sisteminin en karmaşık anatomik farklılıklardan biri de C- şekilli kanallardır. Genellikle alt 2. büyük azı dişlerde mevcut olup kanal tedavisinde çeşitli zorluklar oluşturur. Bu sebepten dolayı bu kanallardaki anatomik değişiklikler ve morfolojik yapısı başarılı bir tedavi için aydınlığa kavuşması gerekmektedir. Bu amaçla C-kanallı dişler hakkında bilgi sahibi olmak için mikro BT sistemlerini kullanarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır (16).

Endodontik tedaviler yaygın olarak üst 1. büyük azı dişlere uygulanabilmektedir. Ancak kök kanal yapısı farklılıklar gösterdiğinden tedaviyi etkilemektedir. Genelde üç kanal ve üç köke sahip olarak kabul edilen üst 1. büyük azı dişlerin kanal konfigürasyonu ve sayıları uzun süredir tartışma konusu olmuştur. Günümüzde yapılan çalışmalarda üst 1 büyük azı dişin meziobukkal kökünde ikinci kanal varlığı % 56.8 – 96.1 oranları arasında değiştiği görülmüştür. Üst birinci büyük azıların meziobukkal kanalın palatinalinde lokalize olan ikinci kanal mikro BT ile elde edilen görüntülerde kolaylıkla tespit edilebilmiştir (4).

Mikro BT ile gelişimsel dental anomaliye sahip dişlerin morfolojisinin incelenmesi ve anlaşılmasına olanak tanımaktadır. Üst lateral dişlerdeki mevcut olan radiküler groove morfolojisinin araştırıldığı çalışmalar vardır (46).

Bundan dolayı, mikro BT ile elde edilen datalarla deneysel endodonti bilminde kök kanalının internal ve eksternal morfolojisinin daha ileri düzeyde analiz edilebilmektedir. Preklinik eğitimi için değerli bir kaynak görevi görmektedir (46).

Kök Kanal Şekillendirilmesinin Değerlendirilmesi

Endodontik başarı birçok faktöre bağlıdır. En önemli basamağı olarak kök kanal

şekillendirilmesi kabul edilmektedir. Başlangıçta doğru bir şekilde yapılmış olan şekillendirme sonraki diğer aşamaların başarısını etkilemektedir (3).

Geliştirilmiş kök kanal aletleriyle beraber, kök kanal şekillendirilmesinin etkinliği oldukça artmaktadır. Ancak farklı kanal aletlerinin etkinliğini değerlendirmek ve kıyaslamak oldukça zordur. Bununla birlikte kanal şekillendirilmesinin üç boyutlu incelenmesi mikro BT sayesinde kolaylaşmıştır. El eğelerinin ve Ni-Ti döner eğelerin kök kanal şekillendirmesi yapılırken kök kanal yapısında meydana getirdiği değişiklikleri inceleyen ve kıyaslayan birçok çalışma vardır. İşlem öncesinde ve sonrasında kök kanalının yüzey alanının hacmi ve miktarı, uzaklaştırılmış olan dentin hacmi miktarı, kanal çapı, prepare edilmiş yüzey alanı, kanal transportasyonu, kurvatür, yapı modeli indeksi benzeri birçok farklılığı ölçülebilmektedir (17,46).

Mikro BT ile, değişik ege sistemlerinin etkinliklerinin, kanal preparasyonun öncesi ve sonrasında tarama yapılarak kıyaslanabilmekle birlikte, aynı tip eğelerin daha büyük çapta olanları kullanıldığı takdirde, aşamalı olarak yapılmış olan farklılıklar da gözlemlenebilmektedir. Yapılmış olan bir çalışmada eğri kök kanalların apikalinde yapılmış olan genişletme miktarının artırılmasına rağmen istenilen miktarda debridman sağlanamamakla birlikte gerekli olmayan dentinin uzaklaştırıldığı sonucuna varılmıştır (46).

Kök Kanal Dolgusunun Değerlendirilmesi

Bakteri ve bakteri toksinlerinin periapikal dokuları etkilemesini önleyecek şekilde kök kanallarını üç boyutlu olarak iyi bir şekilde tıkayabilen kanal dolguların yapılabilmesi, başarılı bir kanal tedavisinin olmazsa olmazlarından biri olarak kabul edilmektedir (18,19). Bu amaçla kanal dolgu patları geliştirilmiştir. Dolgu patları güta-perka ve dentin duvarları arasındaki boşlukları doldurarak tekrar kanalların enfekte olmasını engellemektedir (20).

Birkaç yöntem kök kanal patının kalitesini değerlendirmek amacıyla araştırmacılar tarafından kullanılmıştır. Genel olarak endodontik araştırmaların çoğu mikrosızıntı üzerine yoğunlaşmaktadır. Çoğu zaman mikrosızıntı çalışmalarında, sızıntının

incelenmesi amacıyla doldurulmuş olan kanallardan yatay veya dikey kesitler alınarak değerlendirilmektedir. Bu işlem esnasında örneklerde madde kaybı olmaktadır. Sıvı filtrasyon yöntemi ile cam tüp içindeki sıvının hareketine bakılarak sızıntı miktarı dolaylı olarak ölçülebilir. Kök kanal dolgu patının kalitesini değerlendirmek amacıyla kök dentininin şeffaflaştırılması yapılarak incelenebilir. Ayrıca radyografi kullanarak kanal dolgu patı da değerlendirilebilir.

Mikro BT ile kök kanal patının değerlendirilmesinde diğer yöntemlerin aksine örnekler üzerinde geri dönüşümsüz bir değişiklik yapmadığı için bu yöntemlere göre üstün kabul edilmiştir (4,21).

Tekrarlayan Tedavi İşlemlerinden Sonra Kök Kanalında Kalan Dolgu Materyalinin İncelenmesi

Tekrarlayan tedavi yöntemlerinin başarısını değerlendirmede göz önünde bulundurulması gereken etkenlerden biri de kök kanal duvarının etkili bir şekilde temizliğinin yapılmış olmasıdır. Literatürde kanal duvarının temizliğini araştırmak amacıyla 2 boyutlu fotoğrafik teknikler ve 3 boyutlu mikro BT gibi farklı teknikler bu amaçla kullanılmıştır. Fotoğrafik yöntemlerde iki ayrı açıdan dijital radyograf ya da görüntü alınmasından sonra bir bilgisayar programından faydalanılarak ölçümler yapılabilmektedir.

Son zamanlarda mikro BT, tekrarlayan tedavilerde şekillendirme tekniğinin etkinliğini değerlendirmede sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Mikro BT ile elde edilen verilerle, kök kanal dolgusu uzaklaştırılmadan öncesi ve sonrasında, kanal konfigürasyonunu kıyaslamak ve kök kanal anatomisinde meydana gelen farklılıklar da incelenebilmektedir. Buna ek olarak yapılan tedavi sırasında uzaklaştırılan dentin miktarı, kök dolgularındaki kalan boşluklar ve tekrarlayan kök kanal tedavisinde sonra kalan dolgu patının miktarı incelenebilmektedir (4).

Hammad ve ark. mikro BT ile yaptıkları bir çalışmada değişik dolgu patları ile doldurulmuş olan kanalların tekrarlanmış olan tedavilerinde, ProTaper ve el eğeleri ile yapılmış olan retreatment tedavisine olan etkinliklerini kıyaslamışlardır (22).

İmplant ve İmplant Çevresindeki Kemiğin Değerlendirilmesi

İmplantın osteointegrasyonun ve stabilitesinin ölçümü, implant tedavisinin başarısında etkili bir faktör olarak görülmektedir. İmplantın stabilitesi, implant-kemik bağlantı yüzeyindeki mekanik özellikler, implant yüzeyi ve kemik arasındaki bağlantının özellikleri sayesinde belirlenmektedir. Ara yüzdeki osteointegrasyon sıklıkla histomorfik teknikle incelenir. Fakat bu teknik yıkıcı bir yöntem olmasının yanında aynı örnekler başka bir ölçüm için kullanılamaz. Mikro BT kemik yapısının değerlendirilmesi için yıkıcı olmayan hızlı ve güvenilir bir teknik olarak kabul edilmektedir (16).

Son zamanlarda mikro BT yaygın olarak, implant ve implantın çevresindeki kemiğin incelenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda yaygın bir kullanım yöntemi haline gelmiştir. Bazı araştırmacılar mikro BT'yi bu amaçla kullanarak kabul edilebilir sonuçları bulmuşlardır (23,24).

Üç boyutlu mikro BT'den elde edilen verilerle, sonlu elaman analizi yapılarak implantın kortikal ve trabeküler kemikte meydana getirdiği stresleri değerlendirilebilir (25).

Yüz Kemiklerinin Gelişimlerinin Değerlendirilmesi

Yüksek çözünürlüklü mikro BT ile kraniofasial iskeletin büyüme ve gelişimini incelemek mümkündür (1). Mikro BT'nin üstün özelliklerinden dolayı kemik yapısının gelişiminin ölçülmesinde altın standart yöntemlerden biri olarak kabul edilmiştir (3). Kök çevresindeki kemik yıkım miktarını mikro BT kullanarak niceliksel olarak ölçmek mümkündür (4).

Mulder ve ark. mikro BT kullanarak domuz kondilindeki mineralizasyonu, yapısı ve trabeküler kemikteki gelişimi değerlendirmiştir. Bu çalışma sonucunda mandibulanın kondil bölgesinde gerçekleşen remodeling şekli anterior ve posteriorda farklı olduğu ve kondilin posterioru anteriora göre daha fazla büyüdüğü izlenmiştir. Ayrıca kondildeki mineralizasyon miktarının posterior ve anteriorda aynı olduğu görülmüştür.

2007 tarihinde Renders ve ark. yaptıkları bir çalışmada, insan mandibuler kondillerindeki porözite miktarını mikro BT'den faydalanarak değerlendirmişlerdir. Trabeküler

kemikteki meydana gelen remodeling miktarının kortikal kemiğe göre daha çok olduğunu belirtmiştir (26).

Doku Mühendisliğinde Mikro BT ile Değerlendirilmesi

Doku mühendisliği genel olarak fonksiyonunu kaybetmiş bir dokunun veya organın tekrardan fonksiyon görmesini hedefleyen multidisipliner bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır. Doku iskeletini oluşturmuş olan materyallerin araştırılması için mikro BT'nin doku mühendisliğinde kullanımı son zamanlarda popüler bir yöntem olarak görülmüştür. Üç boyutlu mikro BT temel olarak; doku iskeletini oluşturan malzemelerin özelliklerinin değerlendirilmesinde polimerik ve kalsiyum fosfat gibi materyallerin kemik büyüme miktarı in-vitro olarak incelenmesi amacıyla kullanımı yaygınlaşmıştır (27).

Üç boyutlu alınan görüntüler iki boyutlu görüntülere nazaran daha etkili bilgiler elde edilebilmektedir. Mikro BT, kazanılmış dokuların incelenmesi mümkün olmakla birlikte, kaybedilen doku iskeleti materyalleri hakkında da bilgi elde edinmeyi de mümkün kılmaktadır (28).

Dursun ve ark. Mikro BT'den faydalanarak, farklı greft materyallerini kullanarak pöröz titanyum granüllerinin sinüs augmentasyonu üzerindeki etkinliğini kıyaslamışlardır. Yeni kemik oluşumu için pöröz titanyum granüllerin yer açtığı ve bu materyalin uzun dönemde etkili olabileceği sonucuna varılmıştır (1).

Acar ve ark. yaptıkları bir çalışmada mikro BT kullanarak hidroksiapatit /beta-trikalsiyum fosfat ve trombosit zengin fibrinin tavşan kalvarial kemikler üzerindeki rejenerasyon etkinliğini değerlendirmişlerdir (46).

Mine Kalınlığının Ölçülmesi

Mine kalınlığının ölçülmesi, uzun zamandır antropolojik araştırmalarda ve insan evriminin değerlendirilmesi açısından kullanılacak iyi bir yöntem olarak kabul edilmiştir. Genel olarak araştırmacılar fiziksel kesit alma yöntemini kullanmakla beraber başka yöntemler de günümüze kadar kullanılmıştır. Özellikle soyu tükenmekte olan ya da tükenmiş olan fosiller örneklerine zarar verdiği için fiziksel kesit alma yöntemi eleştirilere sebep olan yıkıcı bir yöntem olarak Cilt / Volume 19 · Sayı / Number 1 · 2018

düşünülmüştür (46). Son yapılan araştırmalarda bilgisayarlı tomografi yardımıyla da mine kalınlığı ölçülmüştür. Fakat düşük çözünürlük ve görüntü kalitesinin iyi olmaması sebebiyle istenilen bilgi yeterli olmamıştır (29). Bundan dolayı arkeolojik örneklerin mine kalınlığını ölçmek ve internal anatomik yapısını değerlendirmek için mikro BT kullanımı doğru bir yöntem olarak kabul edilmiştir (30,31).

Mikro BT ile diş mine kalınlığı ölçümlerini fiziksel kesit alma tekniği ile karşılaştırılmıştır. Bütün örnekler her iki teknikle incelenmiş. Elde edilen veriler ışığında, mikro BT ile yapılan ölçümlerin fiziksel kesit alma yöntemine nazaran minenin iç ve dış yapısının araştırılmasında güvenilir bir yöntem olarak kabul edilmiştir (29). Mine kalınlığına ek olarak mikro BT ile elde edilen görüntüler kullanılarak 3D rekonstrüksiyon yöntemi ile mine, pulpa ve dentinin hacmi ölçülebilmektedir (32).

2015 yılında polarize ışık mikroskobu ve mikro BT verileri kullanılarak dentinogenezis imperfektalı dişlerin tübüler yapıları değerlendirilmiştir. Mikro BT yöntemi mine kalınlığının ölçülmesinde güvenilir bir yöntem olmasına karşı çok mineralize olmuş diş dokularının ayırt edilmesinde yetersiz olabilmektedir (1).

Bilinçli olarak insan dişlerinde yapılan değişikliklerin antropolojik ve sosyal açıdan önemlidir. Bu dişlerin incelenmesi sonucunda coğrafik, kültürel, dini ve estetik açıdan şimdi ve geçmişteki insanların algılarını anlamada yardımcı olabilmektedir. Mikro BT yardımıyla Mayalara ait 1600 yıllık dişlerin incelendiği bir araştırmada, sosyal konum ya da güzellik açısından ön dişlere inley yerleştirmek için açılan kaviteğin pulpa odası ile ilişkisi ve neden olduğu pulpal ve periapikal hastalıklar izlenmiştir (33).

2000 yaş civarında olan ve dental anomali olan maksiler molar dişin mikro BT ile örneğe geri dönüşümsüz bir değişiklik yapmadan kök kanal sistemi ve anomalinin kök kanal anatomisini nasıl etkilediği araştırılmıştır (31).

Mikro BT mine kalınlığını ölçmek için güvenilir yöntem olmasına rağmen, çok fazla mineralize olmuş dişlerde güvenilir bir şekilde diş dokularını ayırt etmek mümkün olmayabilir. Ayrıca, minenin çok ince olduğu (100 µm' den az) sadece piksel değerlerine dayanmakta olan ham mikro BT datalardan çözümlenme zordur. Bu sebepten dolayı fosillerin mine kalınlıklarını

mikro BT ile incelenmesinde dikkatli olunması tavsiye edilmektedir (31).

Dişlerin Mineral Konsantrasyonu

Diş sert dokularını oluşturan yapılarıdaki mineral konsantrasyon dağılımları direkt yöntemler (kimyasal analiz) veya indirekt tekniklerle (kontakt mikroradyografi) incelenebilmektedir. Fakat bu teknikler örneklerin yapısında geri dönüşümsüz etki yapmakta ve uzun sürmektedir. Son dönemlerde geliştirilen mikro BT sistemleri sayesinde, dişlerin ve kemiklerin mineral konsantrasyonunu % 1'den daha çok güvenilir bir doğrulukla ve 5-30 µm arasındaki bir çözünürlükle incelenebilmektedir. Mikro BT'nin avantajı; yıkıcı bir teknik olmaması ve kesit kalınlığı fiziksel olarak alınan yöntemlere göre sabit ve düzenli olmasıdır. Ayrıca, en küçük kesit kalınlığı sadece X-ışını demetinin büyüklüğüne bağlı olarak değişir. Bundan dolayı bir kesme makinasından faydalanılarak elde edilen kesitlerden çok daha ince olabilmektedir ve örnekler zarar verilmez. Ağartma ajanlarının mine ve dentin üzerindeki demineralizasyon etkisini inceleyen araştırmalarda mevcuttur (3,34,35,37).

Mikro BT ile, sağlam ve çürükten etkilenmiş mine ve dentinin mineral konsantrasyonu incelenebilmekte ve ne kadar etilendiği belirlenebilmektedir (36).

Bütün bunların yanında mikro BT kullanılarak; yapılmış restorasyonların marjinal uyumlarının araştırılması, uygulanmış simanlarda oluşan pörözite miktarı, restorasyonlardaki mikrosızıntı olan bölgelerin incelenmesi, kompozitteki polimerizasyon büzülmesinin hacimsel farklılıkların araştırılması, sonlu elemanlar analizinden faydalanılarak biyomekanik incelemelerin yapılması, ortodontik tedavide yapıştırılmış braketlerin mikrosızıntı olan bölgelerinin saptanması mümkün olabilmektedir (38,39).

Kamburoğlu ve ark. oklüzal çürük derinliğinin değerlendirilmesinde histolojik görüntülerle karşılaştırıldığında, mikro BT'den bire bir aynı sonuçlar elde etmiştir (40).

Memiş Ö. ve mikro BT ile mine çürüklerini önlemek amacıyla uygulanan değişik tekniklerin karşılaştırmışlar. Bunu örneklerde oluşan mineral densite farklılıklarını analiz yaparak değerlendirmişlerdir. Resin infiltrasyon yönteminin gelecekte çürük önlemede etkili bir yöntem olabileceği sonucuna varmışlardır (1).

Mikro BT'nin Getirdiği Yenilikler ve Bakış Açısı

Mikro BT 'nin en önemli avantajlarından biri incelenen örneğin yapısını üç boyutlu olarak nitelik ve niceliksel açıdan güvenilir ve doğru bir şekilde ölçüm yapabilmek mümkündür. Örnekler analiz için hazırlanırken iç yapıları herhangi bir fiziksel işlememmaruz kalmadan (kesit alma) veya kimyasal bir ajan uygulanmadan ayrıntılı bir şekilde incelenebilmektedir. Örnekler tarandığında herhangi bir invaziv işlem yapılmadığından, örneklerin yapılarına zarar verilmez. Böylece örnekler başka araştırma ve testler için kullanılabilir (2,41,42,47). Mikro BT'nin tüm bu olumlu özellikleri sayesinde diş hekimliği araştırmalarında uzmanlar tarafından her geçen gün yaygınlaşarak kullanılabilir (4).

Sert dokunun yoğunluğu ile kortikal ve trabeküler kemiklerin mikro mimarisini incelemek için mevcut iki teknik altın standart olarak kabul edilmiştir. Bunlardan biri histolojik/histomorfometrik analiz bir diğeri ise mikro BT'dir. Ancak histomorfometrik analizde, örnekler üzerinde yıkıcı etkisinin olması ve bireyler üzerinde uzun dönem çalışmalara izin vermemektedir. Ayrıca örnekler üzerinde analiz yapılırken iki boyutlu olarak değerlendirilir (2,43). Mikro BT, histomorfometrik analize nazaran daha az zaman alır ve maliyeti daha azdır (44).

Yaygın olarak kemiğin yapısının üç boyutlu olarak incelendiği teknik, stereo veya taramalı mikroskop ile yapılmaktadır. Bütün mikroskoplar, yalnızca alan bilgisi vermektedir. Üç boyutlu hacim ve lokalizasyonu hakkında bilgi alınamamaktadır. Mikro BT metodu diğer yöntemlere göre kıyaslandığında örneğin tümü hakkında bize daha detaylı bilgi vermektedir (41). Son zamanlarda araştırmacılar örneklerden yarı kesit alarak kemiğin yapısını nicel olarak araştırmışlardır. Bu araştırmalarda mikro BT kullanmışlardır (45).

Mikro BT ve BT, diğer geleneksel in-vitro görüntüleme yöntemlerine nazaran daha çok avantajları vardır. Mikro BT ile klinik BT cihazları iki temel farkla birbirinden ayrılmaktadır. Bu farklardan biri x-ışınının kaynağı ve dedektör, klinik BT' de hastanın etrafında döndürülür ve bundan dolayı mekanik vibrasyon meydana gelir. Fakat mikro BT' de x-ışınının kaynağı ve dedektör genellikle klinik BT'nin aksine sabit iken, incelenecek nesne kendi etrafında döndürülüp görüntü elde edilir; böylece vibrasyon azaldığından dolayı yüksek

çözünürlükte veriler elde edilir. Bir diğer fark ise; klinik uygulamalarda kullanılan BT' dex-ışık kaynağının boyutu 1 mm iken mikro BT'de ise 5-10 µm'dir. Nesnenin x-ışını kaynağının yakınına koyup çözünürlüğü arttıracak şekilde nesnenin ilk büyütmesini arttırmak mümkün olur. Optik görüntüler gerçeğe yakın büyütme sağladığından dolayı, çok küçük detaylar bile net olarak incelenebilir (46).

Mikro BT kullanılarak yapılan çalışmalarda restorasyona zarar verilmez. Bu yöntem ayna, sond ve diğer ölçüm yöntemlerine alternatif olarak geliştirilmiştir. Geliştirilmiş olan bu yeni yöntem sayesinde, birkaç µm aralıktaki herhangi bir restorasyon bölgesinin internal ve marjinal açıklığını iki ve üç boyutlu olarak incelenmesi mümkündür.

Diş hekimliğinde mikro BT ile, yeni keşfedilmiş bir dental materyalin SEM kullanarak elde edilen iki boyutlu görüntülemeye ve histolojik olarak araştırılmasından daha avantajlı bir şekilde, üç boyutlu olarak bu materyalin görüntülenmesi mümkün olmaktadır ve mikro BT ile birden fazla defa örnekler taranabilmektedir.

Mikro BT tekniğinde kaliteli bir şekilde numunelerden iki veya üç boyutlu olarak görüntüler alınıp 360 derece bilgi alınabilir ve numerik veriler elde edilebilir. Rekonstrüksiyon işleminden sonra dental kron transparan gösterilerek restorasyon materyalindeki marjinal açıklıklar farklı renk ayarı yapılarak izlenebilmektedir. Bu marjinal açıklıkların hacimleri de mikro BT ile ölçülebilirliği mümkündür.

Mikro-BT; SEM (scanning electron microscope) tekniğinin yerine kullanılabilecek oldukça yeni ve faydalı bir yöntemdir.

Mikro BT' de SEM analizlerinde olduğu gibi örnekler üzerinde oynamaya gerek yoktur. Horizontal ve vertikal olarak alınmış olan kesitler sayesinde adeziv yüzeyin her bir bölgesi ayrıntılı incelenebilir. Ayrıca aynı örnek üzerine birçok kez uygulanan işlem öncesi ve sonrası Mikro-BT ile bakılabilir. Böylece yapılan işlemin aynı örnek üzerinde oluşturduğu etki araştırılabilir(45).

Sonuç

Günümüzde mikro BT kullanarak mikron düzeyinde ölçüm yapılabilmektedir. Diş hekimliğinde bu teknik ile birçok alanda araştırmaların yapıldığı ve daha fazla farklı araştırmaları da yapılabileceği görülmüştür.

Mikro BT görüntüleme yönteminin araştırmacıya farklı yaklaşımları sağlayabildiği ve bu nedenlerden dolayı kullanımını her geçen gün daha fazla artarak bilimsel çalışmalarda kullanılmaktadır.

Günümüzde mikro BT, öğretim ve araştırma amacıyla yapılan çalışmalarda *in-vitro* bir yöntem olarak kullanılmakta olup insanlarda *in-vivo* olarak teknik açıdan kullanım imkanı yoktur.

Mikro BT cihazları gelişime açık bir teknolojidir, daha yüksek kalitede görüntüler elde edilebilmektedir. Gelecekte mikro BT'nin geliştirilip *in-vivo* araştırmalar için de kullanılabileceği düşünülmektedir.

Kaynaklar

1. Kurt Mehmet H, Orhan K. Diş hekimliğinde mikro-bilgisayarlı tomografik kullanımı. Türkiye Klinikleri J Oral Maxillofac Radiol-Special Topics 2016;2(1) :14-21.
2. Graham Roy D, Ferranti S. L. Wong. X-ray microtomography of bones and teeth. Physiol. Meas 1996;17:121-146.
3. Fazal S, Mohammad Khursheed A, Mohdfadlı K. Application of micro-ct in various disciplines of clinical and research dentistry. Int J PharmBioSci 2015 July; 6(3): (B) 1194 - 1206.
4. Şahin Ünsal F, Topuz Ö. Diş hekimliği araştırmalarında mikrobilgisayarlı tomografi uygulamaları. Acta Odontol Turc 2014;31(2):114-20.
5. Aboudara C, Nielsen I, Huang JC, Maki K, Miller AJ, Hatcher D. Comparison of airway space with conventional lateral head films and 3-dimensional reconstruction from cone-beam computed tomography. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2009;135(4):468-79.
6. Rhodes JS, Ford TR, Lynch JA, Liepins PJ, Curtis RV. Micro-computed tomography: a new tool for experimental endodontology. Int Endod J 1999;32:165-70.
7. Swain MV, Xue J. State of the art of micro-CT applications in dental research. Int J Oral Sci 2009;1(4):177-88.
8. Neues F, Epple M. X-ray microcomputed tomography for the study of biomineralized endo- and exoskeletons of animals. Chem Rev 2008;108(11):4734-41.
9. Zou W, Hunter N, Swain MV. Application of polychromatic CT for mineral density determination. J Dent Res 2011;90(1):18-30.
10. Gulberg RE, Ballock RT, Boyan BD, Duvall CL, Lin AS, Nagaraja S, et al. Analyzing bone, blood vessels, and biomaterials with microcomputed tomography. IEEE Eng Med Biol Mag 2003;22(5):77-83.
11. Gulberg RE, Lin AS, Coleman R, Robertson G, Duvall C. Microcomputed tomography imaging of skeletal development and growth. Birth Defects Res C Embryo Today 2004;72(3):250-9.
12. Mizutani R, Suzuki Y. X-ray microtomography in biology. Micron 2012;43(2-3):104-15.
13. Grande NM, Plotino G, Gambarini G, Testarelli L, D'Ambrosio F, Pecci R, et al. Present and future in the use of micro-CT scanner 3D analysis for the study of dental root canal morphology. Ann Ist Super Sanita 2012;48(1):26-34.

14. Versiani MA, Ordinola-Zapata R, Keleş A, Alcın H, Bramante CM, Pécora JD, et al. Middlemesial canals in mandibular first molars: A micro-CT study in different populations. *Arch Oral Biol* 2016;61:130-7.
15. Bjorndal L, Carlsen O, Thuesen G, Darvann T, Kreiborg S. External and internal macromorphology in 3D-reconstructed maxillary molars using computerized X-ray microtomography. *Int Endod J* 1999;32(1):3-9.
16. Swain MV, Xue J. State of the art of Micro-CT applications in dental research. *Int J Oral Sci* 2009;1:177-88.
17. Moore J, Fitz-Walter P, Parashos P. A micro-computed tomographic evaluation of apical root canal preparation using three instrumentation techniques. *Int Endod J* 2009;42(12): 1057-64.
18. Keles A, Ahmetoglu F, Uzun I. Quality of different gutta-perchatechniques when filling experimental internal resorptive cavities: a micro-computed tomography study. *Aust Endod J* 2014;40(3):131-5.
19. Somma F, Cretella G, Carotenuto M, Pecci R, Bedini R, De Biasi M, et al. Quality of thermoplasticized and single point root fillings assessed by micro-computed tomography. *Int Endod J* 2011;44(4):362-9.
20. Angerame D, De Biasi M, Pecci R, Bedini R, Tommasin E, Marigo L, et al. Analysis of single point and continuous wave of condensation root filling techniques by micro-computed tomography. *Ann Ist Super Sanita* 2012;48(1): 35-41.
21. Zogheib C, Naaman A, Sigurdsson A, Medioni E, Bourbouze G, Arbab-Chirani R. Comparative micro-computed tomographic evaluation of two carrier-based obturation systems. *Clin Oral Investig* 2013;17(8):1879-83.
22. Hammad M, Qualtrough A, Silikas N. Three dimensional evaluation of effectiveness of hand and rotary instrumentation for retreatment of canals filled with different materials. *J Endod* 2008;34(11):1370-3.
23. Kim SH, Choi BH, Li J, Kim HS, Ko CY, Jeong SM, et al. Peri-implant bone reactions at delayed and immediately loaded implants: an experimental study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008;105(2): 144-8.
24. Rebaudi A, Koller B, Laib A, Trisi P. Micro-computed tomographic analysis of the peri-implant bone. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2004(4);24:316-25.
25. Van Oosterwyck H, Duyck J, Vander Sloten J, van der Perre G, Jansen J, Wevers M, et al. Use of microfocus computerized tomography as a new technique for characterizing bone tissue around oral implants. *J Oral Implantol* 2000;26(1):5-12.
26. Renders GA, Mulder L, van Ruijven LJ, van Eijden TM. Porosity of human mandibular condylar bone. *J Anat* 2007;210(3):239-48.
27. Cartmell S, Huynh K, Lin A, Nagaraja S, Guldberg R. Quantitative micro-computed tomography analysis of mineralization within three-dimensional scaffolds in vitro. *J Biomed Mater Res A* 2004;69(1):97-104.
28. Hollister SJ, Lin CY, Saito E, Lin CY, Schek RD, Taboas JM, et al. Engineering craniofacial scaffolds. *Orthod Craniofac Res* 2005;8(3):162-73.
29. Kim I, Paik KS, Lee SP. Quantitative evaluation of the accuracy of micro-computed tomography in tooth measurement. *Clin Anat* 2007;20:27-34.
30. Keles A, Erdal YS, Ersöz M, Erdal ÖD. A micro-computed tomography examination of densin vaginatus type 2 in an approximately 2000 year-old maxillary molar tooth - a case report. *Eurasian J Anthropology* 2013;4(2):45- 50.
31. Olejniczak AJ, Grine FE. Assessment of the accuracy of dental enamel thickness measurements using micro-focal X-ray computed tomography. *Anat Rec A Discov Mol Cell Evol Biol* 2006;288:263-75.
32. Gantt DG, Kappleman J, Ketcham RA, Alder ME, Deahl TH. Three dimensional reconstruction of enamel thickness and volume in human and hominoids. *Eur J Oral Sci* 2006;114 Suppl1:360-4; discussion 375-6, 382-3.
33. Versiani MA, Sousa-Neto MD, Pecora JD. Pulp pathology in inlayed teeth of the ancient Mayas: a micro-computed tomography study. *Int Endod J* 2011;44(11):1000-4.
34. Efeoglu N, Wood D, Efeoglu C. Micro-computerized tomography evaluation of 10% carbamide peroxide applied to enamel. *Journal of dentistry*. 2005;33(7):561-7.
35. Efeoglu N, Wood DJ, Efeoglu C. Thirty-five percent carbamide peroxide application causes in vitro demineralization of enamel. *Dent Mater* 2007;23(7):900-4.
36. Huang TT, Jones AS, He LH, Darendeliler MA, Swain MV. Characterisation of enamel white spot lesions using X-ray micro-tomography. *J Dent* 2007;35(9):737-43.
37. Wong FS, Anderson P, Fan H, Davis GR. X-ray microtomographic study of mineral concentration distribution in deciduous enamel. *Arch Oral Biol* 2004;49:937-44.
38. Pelekanos S, Koumanou M, Koutayas SO, Zinelis S, Eliades G. Micro-CT evaluation of the marginal fit of different In-Ceram alumina copings. *Eur J Esthet Dent* 2009;4(3):278-92.
39. Öztürk F, Ersöz M, Öztürk SA, Hatunoğlu E, Malkoç S. Micro-CT evaluation of microleakage under orthodontic ceramic brackets bonded with different bonding techniques and adhesives. *European Journal of Orthodontics*, First published online: 8 April 2015;1-7.
40. Kamburoğlu K, Kurt H, Kolsuz E, Öztaş B, Tatar I, Çelik HH. Occlusal caries depth measurements obtained by five different imaging modalities. *J Digit Imaging* 2011;24(5):804-13.
41. Demir N. Üç farklı tam seramik restorasyonun internal ve marjinal uyumunun mikro-bt tekniği ile değerlendirilmesi ve bağlanma dayanımlarının karşılaştırılması. Selçuk üniversitesi sağlık bilimleri enstitüsü. Doktora tezi. 2014; syf: 34-38.
42. Tiffany T.Y. Huang, Li-Hong He, Darendeliler M. Ali, Micheal V. Swain. Correlation of mineral density and elastic modulus of natural enamel White spot lesions using x-ray microtomography and nanoindentation. *Acta Biomaterialia* 2010;6:4553-4559.
43. Rügsegger P, Koller B, Müller R. A microtomographic system for the nondestructive evaluation of bone architecture. *Calcif Tissue Int* 1996; 58:24-29.
44. Uchiyama T, Tanizawa T, Muramatsu H, Endo N, Takahashi H, Hara T. A morphometric comparison of trabecular structure of human ilium between micro-computed tomography and conventional histomorphometry. *Calcif Tissue Int* 1997; 61:493-498.
45. Yoon Jeong Kim, Jeffrey Henkin. Micro-computed tomography assessment of human alveolar bone: bone density and three-dimensional micro-architecture. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 2015;17(2): 307-313.
46. Keleş A, Alçın H. mikro bilgisayarlı tomografi ve endodontik araştırmalardaki yeri. *Türkiye Klinikleri J Endod-Special Topics* 2015;1(3):32-9.
47. M.A. Marciano, M.A.H. Duarte, R. Ordinola - Zapata, A. Del Carpio Perochenea, B.C. Cavenago, M.H. Villas - Boas, P.G. Minotti, C.M. Bramante, I.G. Moraes. Application of micro-computed tomography in

endodonticresearch.
Currentmicroscopycontributionstoadvances in
scienceandtechnology (A. Mendez- vilas, Ed). 2012:
Chapterjanuary; p.782-788.