

## Derleme

# Diş hekimliği araştırmalarında mikrobilgisayarlı tomografi uygulamaları

Feyza Ünsal Şahin, Özgür Topuz\*

Endodonti Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ankara, Türkiye

## ÖZET

Günümüzde dijital tekniklerin gelişmesiyle diş hekimliği araştırmalarında mikrobilgisayarlı tomografi kullanımı yaygınlık kazanmaktadır. Bu derlemenin amacı diş hekimliğinde ve özellikle endodonti alanında deneysel çalışmalarda kullanılan mikrobilgisayarlı tomografi konusunda bilgi vermektir. Derlemede diş hekimliğinde mikrotomografinin esas kullanım alanları olan kök kanal morfolojisinin analizi, kök kanal şekillendirmesinin değerlendirilmesi, kök kanal dolgusunun değerlendirilmesi, tekrarlayan tedavi işlemlerinden sonra kök kanalında kalan dolgu materyalinin incelenmesi, kafa-yüz iskeletinin gelişiminin incelenmesi, implant ve kök çevresi kemiğinin değerlendirilmesi, mine kalınlığının ölçülmesi ve dişlerin mineral konsantrasyonunun belirlenmesi hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Bunlara ek olarak bu sistemin kullanımının faydaları da tartışılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Diş hekimliği; endodonti; mikrobilgisayarlı tomografi; kök kanal morfolojisi; X-ışını

**KAYNAK GÖSTERMEK İÇİN:** Ünsal Şahin F, Topuz Ö. Diş hekimliği araştırmalarında mikrobilgisayarlı tomografi uygulamaları. *Acta Odontol Turc* 2014;31(2):114-20

[Abstract in English is at the end of the manuscript]

## Giriş

Deneysel araştırmalar bilimin, eğitimin, klinik uygulamaların gelişiminde çok önemli yer tutmaktadır. Günümüzde bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle deneysel araştırmalarda dijital teknikler ağırlıklarını artırmışlardır. Bilgisayarlı tomografi, X-ışınının bilgisayar teknolojisi ile birleşmesinin ürünüdür ve vücudu kesitler şeklinde görüntüler. Bilgisayarlı tomografi tarayıcılar 1-2 mm kalınlıkta kesit alır. Örnekten alınan kesit sayısının çokluğu, yani kesit kalınlığının ince olması örnekten daha fazla bilgi alınmasını sağlayarak elde edilen görüntünün çözünürlüğünün artmasını sağlamaktadır.<sup>1</sup> Çözünürlüğün artırılmasını

sağlamak için kesitsel kalınlığı mikrometre cinsinden ifade edilen mikrotomografi cihazları geliştirilmiştir. Mikrotomografi tarayıcılar 5-50 µm kalınlıkta kesit olarak yüksek çözünürlüklü taramaları olanaklı kılmaktadır.

Mikrotomografiden elde edilen verilerden çeşitli bilgisayar programları aracılığıyla ilgilenilen yapıları daha iyi gösteren üç boyutlu görüntüler oluşturulabilir. Bu işlem yeniden yapılandırma anlamına gelen '3D rekonstrüksiyon' olarak adlandırılır.

Mikrotomografi genel yapı olarak bilgisayarlı tomografiye benzemektedir. Mikrotomografi cihazının ana parçaları X-ışını tüpü, üzerine sabitlenen örneği belli aralıklarla ile çeviren bilgisayar kontrollü bir adım motoru, ortamdaki X-ışınına kamera sensörü üzerine yoğunlaştırılan görüntü yoğunlaştırıcı, üzerine düşen X-ışınlarını görüntü verisine çeviren bir CCD kamera, görüntü topalayıcısı ve tüm bunları kontrol eden bir bilgisayardan oluşmaktadır (Resim 1).<sup>2</sup>

## Mikrobilgisayarlı tomografinin kullanım alanları

Mikrotomografi sistemi ilk kez 1980'lerin başında Jim Eliott tarafından geliştirilmiş ve ilk olarak 50 µm çözünürlükle küçük tropik bir yılan incelenmiştir.<sup>1</sup> 1999 yılında Rhodes<sup>2</sup> mikrotomografiye deneysel endodonti çalışmaları için heyecan verici bir alet olarak tanımlamış ve örneklerden kesit almada kullanmıştır.

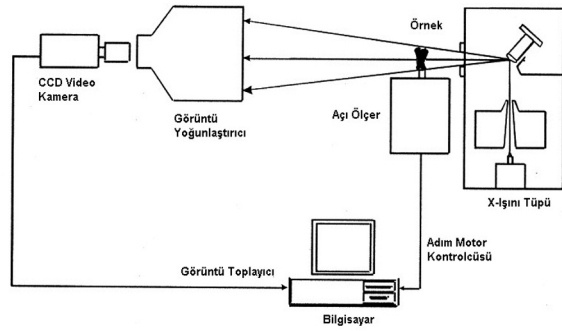
Son yıllarda diş hekimliğinde, kök kanal morfolojisinin analizi,<sup>3,4</sup> kök kanal şekillendirmesinin değerlendirilmesi,<sup>5-7</sup> kök kanal dolgusunun değerlendirilmesi,<sup>8,9</sup> tekrarlayan tedavi işlemlerinden sonra kök kanalında kalan dolgu materyalinin incelenmesi,<sup>10,11</sup> kafa yüz iskeletinin gelişiminin incelenmesi,<sup>12</sup> implant ve kök çevresi kemiğinin değerlendirilmesi,<sup>13,14</sup> mine kalınlığının ölçülmesi,<sup>15</sup> dişlerin mineral konsantrasyonunun belirlenmesi<sup>16</sup> gibi birçok alanda yapılan *in vitro* çalışmalarda mikrotomografi kullanılmaktadır.<sup>17</sup>

## Kök kanal morfolojisinin değerlendirilmesi

Kök kanal sisteminin morfolojisi karmaşıktır. Birçok kök apikal kanal dallanmaları, istmuslar ve lateral kanallar gibi morfolojik düzensizlikler içermektedir. Klinisyen için kök kanal sistemlerinin üç boyutlu morfolojik özellikleri hakkında bilgi sahibi olmak başarı için esastır. Gele-

Makale gönderiliş tarihi: 11 Nisan 2012; Yayına kabul tarihi: 03 Ekim 2012

\*İletişim: Özgür Topuz, Endodonti Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ankara, Türkiye;  
e-posta: topuz30@hotmail.com



Resim 1. Mikrotomografi şematik diagramı

neksel klinik radyografi ile ancak iki boyutlu bilgi elde edilebilir. Kök kanal sistemlerinin morfolojisini incelenmesinde kullanılan geleneksel *in vitro* yöntemler (seri kesit alma ve şeffağlaştırma tekniği) örneklerde geri dönüşümsüz değişikliklere neden olmaktadır. Bilgisayarlı tomografi kök kanal morfolojisini araştırmak için kullanılan invaziv olmayan bir yöntemdir, ancak geleneksel bilgisayarlı tomografi ile elde edilen kesit kalınlığı fazladır ve dolayısıyla görüntülerin çözünürlükleri düşüktür.

Rhodes ve ark.<sup>2</sup> mikrotomografinin kök kanal sistemlerinin iç yapısının net bir şekilde yeniden oluşturulmasında, kök kanal şekillendirmesinin etkilerinin gözlemlenmesinde ve kök kanal morfolojisindeki yapısal değişikliklerin incelenmesinde kullanımını değerlendirmişlerdir. Mikrotomografinin kök kanal sisteminin bütünlüğünü bozmadan üç boyutlu niteliksel ve niceliksel olarak değerlendirebilen invaziv olmayan bir yöntem olduğunu bildirmişlerdir.

Bjorndal ve ark.<sup>3</sup> kök sisteminin iç ve dış makromorfolojisi arasındaki niteliksel ilişkiyi ve kökün dış yüzeyinin şekli ve kök kanalının şekli arasında ilişkiyi belirlemek için mikrotomografi yöntemini kullanmışlardır. Mikrotomografi yöntemi ile kök kanallarının üç boyutlu olarak görüntülenmesinin temel endodontik işlemlerin gösterildiği prelinik dersleri için iyi bir öğretim aracı olduğunu bildirmişlerdir.

Oi ve ark.<sup>4</sup> pulpa boşluğu ve kök kanal morfolojisini araştırmak için mikrotomografi kullanmıştır. 10 adet üst 1. küçük azı dişi kullanılan çalışmada dişin pulpa kavitesinin morfolojik özellikleri, pulpa boynuzlarının hacim oranı, kök kanallarının bukkal ve lingual ağızlarının çapları ölçülebildiği ve farklı gruplarla karşılaştırılabildiği rapor edilmiştir.

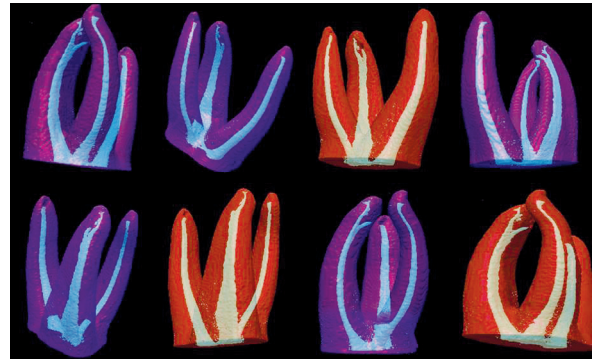
Dişlerin anatomisindeki farklılıklar, kök kanal tedavisinde genellikle komplike bir faktör olarak bilinir. Kök kanal sisteminin en karmaşık anatomik varyasyonlarından biri de C-şekilli kanallardır. Çoğunlukla alt 2. büyük azı dişlerde bulunur ve kök kanal şekillendirmesi ve dolgusu için çeşitli zorluklar oluşturur. Bu yüzden bu ka-

nalların anatomik varyasyonu ve morfolojik yapısının aydınlığa kavuşması gereklidir.<sup>17</sup> C-şekilli kanalları araştırmak için mikrotomografi sistemlerini kullanan çeşitli çalışmalar mevcuttur.

Cheung ve ark.<sup>18</sup> C-şeklinde kanal konfigürasyonunu gösteren 44 adet alt ikinci büyük azı dişin apikal 5 mm'lik bölümlerini stereomikroskop ve mikrotomografi ile incelemiştir.

Mikrotomografinin başlıca kullanıldığı alanlardan bir tanesi de kök kanal morfolojisinin araştırılmasıdır. Kök kanal morfolojileri araştırılmak üzere seçilen örnekler mikrotomografi tarayıcısı ile taranmış ve özel bir yeniden yapılandırma programı kullanılarak üç boyutlu olarak tekrar oluşturulmuştur. Yeniden yapılandırılan görüntüler üzerinden kanal morfolojileri izlenebilmektedir (Resim 2-5).<sup>19</sup>

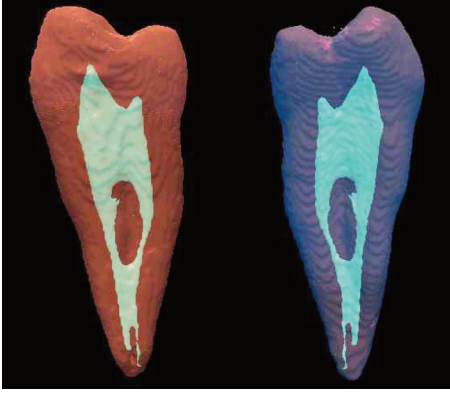
Üst 1. büyük azı dişler endodontik tedavinin en çok uygulandığı dişler arasındadır. Buna karşın, kök kanal sistemleri karmaşık bir yapı göstermektedir. Yaygın olarak 3 kök ve 3 kök kanalına sahip üst 1. büyük azı dişlerin kanal sayısı ve konfigürasyonu uzun yıllardır tartışılmaktadır. Günümüze kadar yapılan çalışmalarda üst birinci büyük azı dişin meziyobukkal kökünde ikinci kanal varlığı %56.8-96.1 oranları arasında tespit edilmiştir.<sup>20</sup> Meziyobukkal kanalın palatinalinde lokalize olan



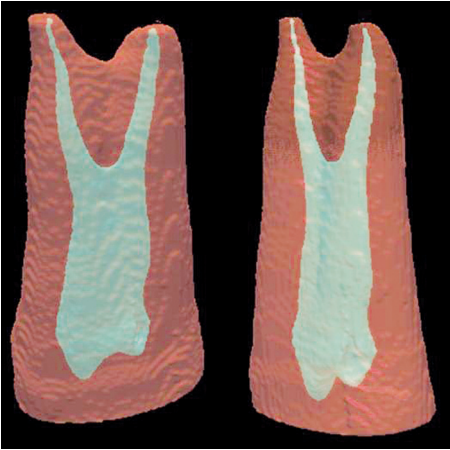
Resim 2. Üst birinci azının köklerinin mikrotomografi kesitleri ile elde edilen üç boyutlu rekonstrükte edilmiş görüntüleri



Resim 3. Alt azının meziyal kökünün mikrotomografi kesitleri ile edilen üç boyutlu rekonstrükte edilmiş görüntüleri



**Resim 4.** Alt birinci küçük azının mikrotomografi kesitleri ile elde edilen üç-boyutlu rekonstrükte edilmiş görüntüleri



**Resim 5.** Üst birinci küçük azının mikrotomografi kesitleri ile edilmiş üç-boyutlu rekonstrükte edilmiş görüntüleri

2. kanal üst 1. büyük azların mikrotomografi ile elde edilen kesitleri üzerinden kolaylıkla tespit edilebilmektedir (Resim 6).

### Kök kanal şekillendirmesinin değerlendirilmesi

Endodontik tedavinin başarısı birçok faktöre bağlıdır. En önemli aşama kök kanal şekillendirmesidir. Çünkü başlangıç kanal şekillendirmesi daha sonraki aşamaları etkiler. Kanal şekillendirmesi kök kanal anatomilerinin çeşitliliğinden ve operatörün radyograflardan bu anatomiyi gözlemleyebilme yeteneğinden etkilenmektedir.<sup>6</sup>

Kök kanal aletlerinin gelişmesiyle kanal şekillendirme etkinliği geliştirilmiştir. Ancak farklı kanal aletlerinin başarısını karşılaştırmak ve değerlendirmek kolay değildir. Bununla birlikte mikrotomografi sistemleri kanal şekillendirilmesinin değerlendirilmesini kolay ve rahat hale getirmiştir.

Kök kanal aletlerinin etkinliklerini mikrotomografi yöntemi ile karşılaştıran ve değerlendiren çalışmalar

mevcuttur. Bu çalışmalardan elde edilen görüntülerden, kök kanal yüzey ve hacmi, kaldırılan dentin hacmi, prepare edilen yüzey, kanal kalınlığı ve inceliği, kanal transportasyonu, kanal merkezleme oranı ve şekillendirmeden önce ve sonra birçok değişikliği ölçmek mümkündür.

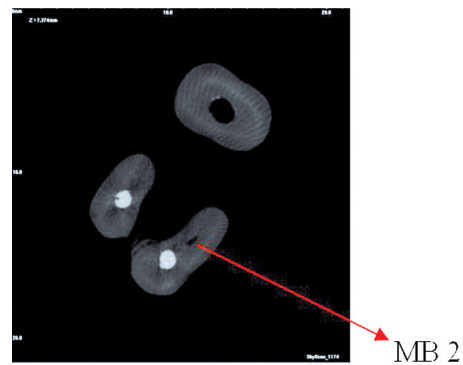
Peters ve ark.<sup>21</sup> dört farklı Ni-Ti şekillendirme sisteminin, üst azı dişlerin kanal hacmi ve yüzey alanı üzerine etkisini mikrotomografi ile karşılaştırmışlardır. Tüm alet sistemleri için şekillendirilmeyen kanal yüzey alanı %35 ve daha fazla bulunmuştur. Kök kanal şekillendirmesinin biyomekanik yönden açığa kavuşması için gelecekte üç boyutlu tekniklerin kullanıldığı şekillendirme çalışmalarına yer verilmesi gerektiğini savunmuşlardır.

Moore ve ark.<sup>22</sup> üç şekillendirme tekniği ile şekillendirme işleminden sonra apikal üçlüdeki morfolojik değişiklikleri mikrotomografi ile değerlendirmişlerdir. Çalışmanın sonuçlarına göre döner Ni-Ti sistemler paslanmaz çelik el eğelerine göre apikalde daha fazla genişletme yaparken Ni-Ti sistemlerle iyatrojenik hata riski daha düşüktür.

Ikram ve ark.<sup>23</sup> endodontik işlemlerden sonra diş dokusundaki hacim değişikliklerini mikrotomografi ile değerlendirmiştir. En fazla sert doku kaybına neden olan işlemlerin çürüğün uzaklaştırılması, giriş kavitesinin hazırlanması ve post alanının hazırlanması olduğu, en az doku kaybına kök kanal şekillendirmesinin neden olduğu ve döküm postun sebep olduğu diş dokusu kaybının fiber posta göre daha fazla olduğu bulunmuştur.

### Kök kanal dolgusunun değerlendirilmesi

Başarılı bir kök kanal tedavisinin ön koşullarından biri de kök kanalın sızdırmaz bir materyalle üç boyutlu olarak tıkanmasıdır.<sup>24</sup> Kök kanal dolgusunun kalitesinin değerlendirilmesinde birkaç yöntem kullanılmaktadır. Endodontik araştırmaların büyük bir kısmını sızıntı ça-



**Resim 6.** Üç ayrı köke sahip bir üst 1. büyük azı dişin mezibukkal ve distobukkal kanalları guta perka ve AH Plus ile doldurulduktan sonra mikrotomografi taraması ile elde edilen kesit. Mezialde ikinci bir kanalın varlığı dikkat çekmektedir.

İşmaları oluşturmaktadır. Geleneksel sızıntı çalışmaları sızıntının değerlendirilmesinde doldurulmuş kanallardan dikey ya da yatay olarak kesit alınmasını gerektirdiği için örneklerde madde kayıplarına neden olmaktadır. Bu nedenle geleneksel sızıntı çalışmalarından sınırlı bilgi sağlanabilmektedir.<sup>25</sup> Sıvı filtrasyon modeli ile kapiller cam tüp içinde hava balonunun hareketiyle sızıntı dolaylı olarak değerlendirilebilir.<sup>26</sup> Kök kanal dolgusunun kalitesinin değerlendirilmesinde kök dentinin şeffaştırılması alternatif bir yöntemdir.<sup>27</sup> Radyografi de kök kanal dolgularının değerlendirilmesinde kullanılabilir.

Mikrotomografi yöntemi örneklerde geri dönüşümsüz değişikliklere neden olmadığı için kök kanal dolgunun değerlendirilmesinde kullanılan diğer yöntemlerden daha üstündür.<sup>9</sup>

Jung ve ark.<sup>9</sup> yaptıkları *in vitro* çalışmada, çekilmiş 5 adet tek köklü üst çene ön dişin kanal tedavileri yapıldıktan sonra kanal duvarları ile guta perka arasındaki boşlukların değerlendirilmesi için mikrotomografi kesitlerini kullanmışlar ve elde edilen kesitler üzerinde pat, guta perka ve boşlukların ayırt edilebileceğini göstermişlerdir. Yine bu çalışmada, mikrotomografi ile elde edilen kesitler histolojik kesitlerle karşılaştırıldığında iki yöntem arasında bir fark gözlemlenmediği bildirilmiştir.

Hammad ve ark.<sup>8</sup> farklı dolgu materyalleri ile doldurulan kanallardaki boşlukların hacmini ölçmek için mikrotomografi yöntemini kullanmışlardır.

Mikrotomografiden elde edilen kesitler üzerinden kanal dolgusu içerisindeki boşlukların ayırt edilebildiği görülmektedir (Resim 7).

#### Tekrarlayan tedavi işlemlerinden sonra kök kanalında kalan dolgu materyalinin incelenmesi

Tekrarlayan tedavi yöntemlerinin başarısını incelemek amacıyla değerlendirilen ölçütlerden birisi kök kanal du-

varının temizliğidir. Kanal duvarının temizliğini değerlendirmek için literatürde iki boyutlu fotografik teknikler ve üç boyutlu mikrobilgisayarlı tomografi taraması gibi farklı deneysel yöntemler kullanılmıştır. İki boyutlu değerlendirme sağlayan fotoğrafik teknikler iki farklı yönden dijital radyograf veya görüntü alındıktan sonra bir bilgisayar programı ile (örn: AutoCAD; Autodesk Inc, CA, ABD) ölçümlerin yapılmasını içermektedir. Tekrarlayan kök kanal tedavisi çalışmalarının çoğunda kök kanalları iki boyutlu fotografik tekniklerle değerlendirilmiştir.<sup>28-30</sup>

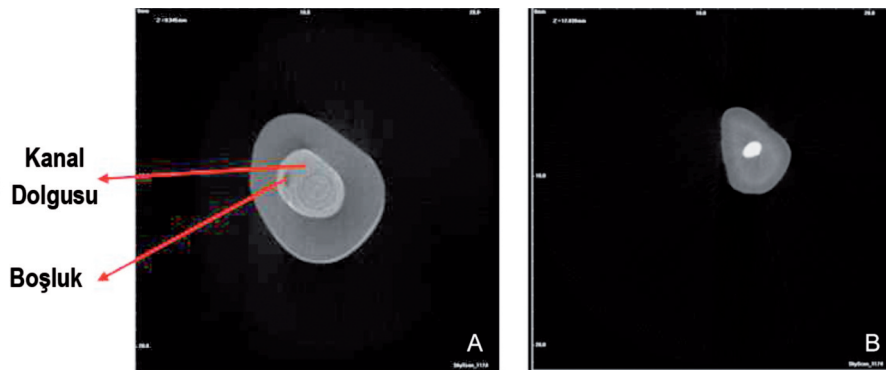
Günümüzde mikrobilgisayarlı tomografi, tekrarlayan kök kanal tedavilerinde şekillendirme tekniklerinin etkinliğini ve özelliklerini değerlendirmede ön plana çıkmaktadır. Mikrobilgisayarlı tomografiden elde edilen verilerden, kök kanal dolgusu uzaklaştırılmadan önce ve sonra, kök kanallarının hacim ve yüzey alanı izlenebileceği gibi, işlem öncesi ve sonrası kanal konfigürasyonu karşılaştırılarak, kök kanal anatomisinde oluşan değişiklikler de gözlemlenebilmektedir. Ayrıca, temizleme ve şekillendirme sırasında uzaklaştırılan dentin miktarı, kök dolguları içerisindeki boşluklar ve tekrarlayan kök kanal tedavisinden sonra kalan dolgu miktarı niteliksel ve niceliksel olarak değerlendirilebilir.

Hammad<sup>11</sup> farklı dolgu materyalleri ile doldurulan kanalların tekrarlayan tedavisinde, el eğeleri ve ProTaper tekrarlayan tedavi aletlerinin etkinliklerini mikrotomografi yöntemi ile karşılaştırmıştır.

Roggendorf ve ark.<sup>31</sup> Activ GP veya GutaFlow ile doldurulan kanallar Ni-Ti kanal aletleriyle boşaltıldıktan sonra kanal dolgu materyali miktarını mikrotomografi yöntemiyle değerlendirmişlerdir.

#### İmplant ve implant çevresindeki kemiğin değerlendirilmesi

İmplant tedavisinin başarısının değerlendirilmesinde implantın stabilitesinin ve osteointegrasyonun ölçümü



**Resim 7.** Alt çene küçük azı dişinin kök kanalı guta perka ve kanal patı ile doldurulduktan sonra mikrotomografi ile elde edilen kesitler; A kesiti koronal üçlüden, B kesiti apikal üçlüden alınmıştır. Kök kanal dolgusu içerisindeki boşluklar gözlemlenebilmektedir.

önemlidir. İmplantın stabilitesi implant-kemik ara yüzeyinin mekanik özellikleri ve implant yüzeyi ve kemik arasındaki fiksasyonun niteliği ile belirlenir.<sup>17</sup> Arayüzün osteointegrasyonu genellikle histomorfometrik analizle değerlendirilir. Ancak histomorfometrik analiz destrüktif bir yöntemdir ve aynı örnek bir başka değerlendirme için kullanılamaz.<sup>17</sup> Mikrotomografi trabeküler ve kortikal kemik ölçümleri için nondestrüktif, hızlı ve güvenilir bir yöntemdir.<sup>32</sup> Son yıllarda implant<sup>33</sup> ve implant çevresindeki kemiğin<sup>13,14</sup> araştırılmasında mikrotomografi yöntemi hızla yaygınlık kazanmaktadır. Bazı araştırmacılar implant<sup>30</sup> ve implant çevresindeki kemiği<sup>13,14</sup> mikrotomografi yöntemiyle araştırmıştır ve anlamlı sonuçlar elde etmiştir.

### Kraniofasial iskeletin gelişimi ve yapısı

Yüksek çözünürlüklü mikrotomografi sistemleri kafa-yüz iskeletinin gelişiminin ve yapısının incelenmesinde kullanılmaktadır.<sup>34</sup> Mikrotomografinin eşsiz özellikleri mikrotomografiyi kemik yapısının gelişimin ölçülmesinde altın bir standart yapmıştır. Mikrotomografi taraması ile kök çevresindeki kemik yıkımı niceliksel olarak ölçülebilmektedir.

### Mine kalınlığının ölçülmesi

Diş minesinin kalınlığı, antropolojik çalışmalar için her zaman önem arz etmiştir ve evrim sürecinin değerlendirilmesinde canlıların sınıflandırılmasında ve evrimsel olarak ilişkilendirilmesinde değerlidir. Günümüze kadar mine kalınlığının ölçülmesinde farklı yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemlerden biri olan fiziksel kesit alma yöntemi kaybolan az bulunan veya soyu tükenmiş olan fosil örneklerden kesit alınmasını gerektirdiği için birçok tartışmaya neden olmuştur.<sup>17</sup> Son araştırmalarda mine kalınlığının ölçülmesinde bilgisayarlı tomografiden yararlanılmıştır. Ancak düşük çözünürlük ve görüntü kalitesinin yetersiz olması nedeniyle bilgisayarlı tomografiden istenen bilgi elde edilememiştir.<sup>35</sup> Mine kalınlığının ölçülmesinde mikrotomografi etkili ve örneklerde geri dönüşümsüz değişikliklere neden olmayan bir yöntemdir.<sup>36,37</sup> Arkeolojik örneklerin büyük bir kısmının mine kalınlığının ölçülmesinde mikrotomografiden yararlanılmıştır. Mikrotomografi ile diş mine kalınlığı ölçümlerinin doğruluğu fiziksel kesit alma yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Tüm örnekler her iki yöntemle de ölçülmüştür. Sonuçlar mikrotomografinin dişin hem iç hem de dış yapısının gözlemlenmesinde güvenilir bir yöntem olduğunu göstermiştir.<sup>35</sup> Mine kalınlığından başka, mikrotomografi ile elde edilen ardışık kesitler kullanılarak dentin, pulpa odası alanları da doğru ve güvenilir bir şekilde ölçülebilmektedir. Görüntüleme programına ek olarak yeniden yapılandırma işlemleri ile mine ve dentin için hacim bilgisi de elde edilebilir.<sup>38</sup>

### Dişlerin mineral konsantrasyonu

Diş sert dokuların mineral yoğunluğu veya mineral konsantrasyon dağılımı hem direkt hem de indirekt yöntemlerle ölçülebilmektedir.<sup>39</sup> Ancak bu yöntemler örneklerde geri dönüşümsüz değişikliklere neden olur ve zaman alıcıdır. Son yıllarda, kemik ve dişin mineral konsantrasyonunun ölçülmesinde mikrotomografi sistemi kullanılmaktadır. Mikrotomografinin avantajı mikrotomografiyle elde edilen kesitlerin kalınlıkları sabittir ve kesit kalınlıkları x ışını demetinin büyüklüğüne bağlıdır. Dolayısıyla kesme cihazıyla elde edilen kesitlerden çok daha ince kesitler elde edilirken örneklerin bütünlüğüne de zarar verilmemiş olur.<sup>40</sup> Dişlerin mineral konsantrasyonunun belirlenmesinde mikrotomografi kullanımı hızla yaygınlık kazanmaktadır.

### SONUÇ

Mikrotomografi yönteminin diş hekimliği araştırmalarında birçok alanda faydalı olduğu kanıtlanmıştır. Günümüzde mikrobilgisayarlı tomografi, kök kanal sistemlerinin, kemiğin, implantların üç boyutlu, niteliksel ve niceliksel olarak değerlendirilmesinde ön plana çıkmaktadır ve çalışmalarda kullanımı gün geçtikçe artan bir teknik olmaktadır.

İlk çıkan mikrotomografi tarayıcılar sipariş üzerine üretilmekteyken yeni çıkan sistemlere kolayca ulaşılabilmektedir ve birçok akademik ve sanayi araştırma laboratuvarlarının önemli birer parçası olmaya başlamıştır.

Şu an için X-ışını mikrotomografi ile yapılan çalışmalar öğretim ve araştırma uygulamaları için güçlü bir *in vitro* yöntemdir. Mikrotomografi sistemlerinin geliştirilmesiyle daha yüksek çözünürlükte görüntülerin elde edilmesi sağlanacaktır ve mikrotomografi *in vivo* ve *in vitro* çalışmalar açısından gelecekte önemli bir araştırma aracı haline gelecektir.

**Çıkar çatışması:** Yazarlar bu çalışmayla ilgili herhangi bir çıkar çatışmalarının bulunmadığını bildirmişlerdir.

### KAYNAKLAR

1. Elliott JC, Dover SD. X-ray microtomography. J Microsc 1982;126:211-3.
2. 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.
3. Bjørndal 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;32:3-9.

4. Oi T, Saka H, Ide Y. Three-dimensional observation of pulp cavities in the maxillary first premolar tooth using micro-CT. *Int Endod J* 2004;37:46-51.
5. Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Wevers M, Lambrechts P. A methodology for quantitative evaluation of root canal instrumentation using microcomputed tomography. *Int Endod J* 2001;34:390-8.
6. Peters OA, Schönenberger K, Laib A. Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int Endod J* 2001;34:221-30.
7. Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod* 2004;30:559-67.
8. Hammad M, Qualtrough A, Silikas N. Evaluation of root canal obturation: a three-dimensional in vitro study. *J Endod* 2009;35:541-4.
9. Jung M, Lommel D, Klimek J. The imaging of root canal obturation using micro-CT. *Int Endod J* 2005;38:617-26.
10. Barletta FB, de Sousa Reis M, Wagner M, Borges JC, Dall'Agnol C. Computed tomography assessment of three techniques for removal of filling material. *Aust Endod J* 2008;34:101-5.
11. 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;34:1370-3.
12. Renders GA, Mulder L, van Ruijven LJ, van Eijden TM. Porosity of human mandibular condylar bone. *J Anat* 2007;210:239-48.
13. 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;105:144-8.
14. Rebaudi A, Koller B, Laib A, Trisi P. Microcomputed tomographic analysis of the peri-implant bone. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2004;24:316-25.
15. Spoor CF, Zonneveld FW, Macho GA. Linear measurements of cortical bone and dental enamel by computed tomography: applications and problems. *Am J Phys Anthropol* 1993;91:469-84.
16. Anderson P, Elliott JC, Bose U, Jones SJ. A comparison of the mineral content of enamel and dentine in human premolars and enamel pearls measured by X-ray microtomography. *Arch Oral Biol* 1996;41:281-90.
17. Swain MV, Xue J. State of the art of Micro-CT applications in dental research. *Int J Oral Sci* 2009;1:177-88.
18. Cheung GS, Yang J, Fan B. Morphometric study of the apical anatomy of C-shaped root canal systems in mandibular second molars. *Int Endod J* 2007;40:239-46.
19. Alaçam T. Giriş kavitesi preparasyonu ve pulpa anatomileri. Dt Aşkın ve Dt Ünsal Şahin tarafından hazırlanan tomografi görüntüleri. *Endodonti*. Ankara: Özyurt Matbaacılık; 2012. p. 303-54.
20. Burns RC, Herbranson EJ. Tooth morphology and access cavity preparation. *Pathways of the pulp*. 8th ed. St. Louis: Mosby Year Book Inc; 2002. p.173-229.
21. Peters OA, Laib A, Göhring TN, Barbakow F. Changes in root canal geometry after preparation assessed by high-resolution computed tomography. *J Endod* 2001;27:1-6.
22. 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;42:1057-64.
23. Ikram OH, Patel S, Sauro S, Mannocci F. Micro-computed tomography of tooth tissue volume changes following endodontic procedures and post space preparation. *Int Endod J* 2009;42:1071-6.
24. Petersson K, Petersson A, Olsson B, Hakansson J, Wennberg A. Technical quality of root fillings in an adult Swedish population. *Endod Dent Traumatol* 1986;2:99-102.
25. Wu MK, Wesselink PR. Endodontic leakage studies reconsidered. Part I. Methodology, application and relevance. *Int Endod J* 1993;26:37-43.
26. Cobankara FK, Adanir N, Belli S, Pashley DH. A quantitative evaluation of apical leakage of four root-canal sealers. *Int Endod J* 2002;35:979-84.
27. Venturi M, Prati C, Capelli G, Falconi M, Breschi L. A preliminary analysis of the morphology of lateral canals after root canal filling using a tooth-clearing technique. *Int Endod J* 2003;36:54-63.
28. de Carvalho Maciel AC, Zaccaro Scelza MF. Efficacy of automated versus hand instrumentation during root canal retreatment: an ex vivo study. *Int Endod J* 2006;39:779-84.
29. Masiero AV, Barletta FB. Effectiveness of different techniques for removing gutta-percha during retreatment. *Int Endod J* 2005;38:2-7.
30. Saad AY, Al-Hadlaq SM, Al-Katheeri NH. Efficacy of two rotary NiTi instruments in the removal of Gutta-Percha during root canal retreatment. *J Endod* 2007;33:38-41.
31. Roggendorf MJ, Legner M, Ebert J, Fillery E, Frankenberger R, Friedman S. Micro-CT evaluation of residual material in canals filled with Activ GP or GuttaFlow following removal with NiTi instruments. *Int Endod J* 2010;43:200-9.
32. Park YS, Yi KY, Lee IS, Jung YC. Correlation between microtomography and histomorphometry for assessment of implant osseointegration. *Clin Oral Implants Res* 2005;16:156-60.
33. Schicho K, Kastner J, Klingsberger R, Seemann R, Enislidis G, Undt G, *et al*. Surface area analysis of dental implants using micro-computed tomography. *Clin Oral Implants Res* 2007;18:459-64.
34. Guldberg RE, Lin AS, Coleman R, Robertson G, Duvall C. Micro-computed tomography imaging of skeletal development and growth. *Birth Defects Res C Embryo Today* 2004;72:250-9.
35. Kim I, Paik KS, Lee SP. Quantitative evaluation of the accuracy of micro-computed tomography in tooth measurement. *Clin Anat* 2007;20:27-34.
36. Olejniczak AJ, Grine FE. Assessment of the accuracy of dental enamel thickness measurements using microfocal X-ray computed tomography. *Anat Rec A Discov Mol Cell Evol Biol* 2006;288:263-75.
37. Olejniczak AJ, Grine FE. High-resolution measurement of Neanderthal tooth enamel thickness by micro-focal computed tomography. *S Afr J Sci* 2005;101:219-20.
38. Gantt DG, Kappleman J, Ketcham RA, Alder ME, Deahl TH. Three-dimensional reconstruction of enamel thickness and volume in humans and hominoids. *Eur J Oral Sci* 2006;114 Suppl 1:360-4; discussion 375-6, 382-3.
39. 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.
40. Davis GR, Wong FS. X-ray microtomography of bones and teeth. *Physiol Meas* 1996;17:121-46.

## **Microcomputerized tomography applications in dental research**

### **ABSTRACT**

The application of microcomputed tomography in dental research recently gains popularity with the advancements in digital technologies. The aim of this review was to give information about the micro-computed tomography use in experimental studies in dentistry, especially in endodontics. In this review, detailed information was given on the

main applications of microcomputed tomography in dental research, including evaluation of root canal morphology, root canal preparation, root canal fillings, residual root filling analysis following retreatment procedures, craniofacial skeletal development, implant and peri-implant bone structure, measurement of enamel thickness and dental mineral concentrations. The advantages of micro-computed tomography were also discussed.

**KEYWORDS:** Dentistry; endodontics; microcomputed tomography; root canal morphology; X-ray