

Endodontide Dijital Uygulamalar: 3D Rehberlik

Digital Applications in Endodontics: 3D Guidance

İlgin AKÇAY
Ezgi DEMİR

<https://orcid.org/0000-0001-7546-2048>

<https://orcid.org/0000-0002-7992-5676>

Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Ana Bilim Dalı, İzmir

Atıf/Citation: Akçay, I., Demir, E., (2022). Endodontide Dijital Uygulamalar: 3D Rehberlik. Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, 2022; DİJİTAL DİŞ HEKİMLİĞİ ÖZEL SAYI, 61-71.

ÖZ

Pulpa ve periapikal hastalıkların tedavisinde kanal tedavisi ve endodontik cerrahi prosedürleri gerçekleştirilmektedir. Bu işlemler sırasında dental operasyon mikroskobu ya da lup kullanımı, işlem doğruluğunu ve tedavi prognozunu artırmaktadır. Bununla beraber, pulpa kalsifikasyonu/obliterasyonu olan kök kanalları, kalın kortikal kemikle çevrili ya da önemli anatomik yapılara bitişik periapikal lezyon varlığı, deneyimli hekimler için dahi, öngörülebilir klinik sonuçlar elde etmede güçlük oluşturmaktadır. Diş hekimliğinde navigasyon, tıp ve sağlık bilimlerinde gerçekleşen teknolojik gelişmelerin önemli bir örneğidir. Aynı zamanda rehberli diş hekimliği olarak da bilinmektedir. Rehberli endodonti ile cerrahi müdahaleler, kalsifiye kanallı dişler, anatomik varyasyonlu dişler, fiber post çıkarma uygulamaları daha güvenli öngörülebilir ve daha az invaziv işlemler haline dönüşmektedir. Bu derlemenin amacı endodontide dijital planlama ve 3D rehberliği irdelemektir.

Anahtar Kelimeler: Rehberli Endodonti, Rehberli Endodontik Giriş Kavitesi, Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi, Kalsifiye Kanal, 3D Rehberlik

ABSTRACT

Root canal treatment and endodontic surgery procedures are performed during the treatment of pulp and periapical diseases. The use of dental operating microscope or loops in the course of treatment steps increases the accuracy and prognosis of the treatments. Nonetheless, root canals with pulp calcification/obliteration, apical lesions with thick cortical bone or lesions that are adjacent to important anatomical structures are challenging to obtain predictable clinical outcomes, even for experienced physicians. Navigation in dentistry is an important example of technological developments which came true in medicine and health sciences. Therewithal known as guided dentistry. Root canal treatments in teeth with calcified canals/anatomical variations, fiber post removal and surgical interventions could rather be safer, predictable and less invasive procedures with guided endodontics. The purpose of this review is to investigate the use of digital planning and 3D guidance in endodontics.

Keywords: Guided Endodontics, Guided Endodontic Access Cavity, Cone Beam Computed Tomography, Calcified Canal, 3D Guidance

Diş hekimliğinde teknolojik gelişmeler hızlı bir şekilde devam etmekte, modern cihazların geliştirilmesiyle daha konforlu ve kısa sürede, güvenli ve öngörülebilir tedaviler gerçekleştirilmektedir. Bugün, dijital uygulamalar diş hekimliği klinik prosedürlerinin bir gerçeği haline gelmiş ve oral rehabilitasyon, implantoloji, ortodonti, ağız cerrahisi gibi çeşitli klinik branşlarca çalışmalar devam etmektedir. Yüz ve diş anatomisini aslına uygun olarak kopyalama ve elde edilen modeli sanal ortama aktarma ile dijital planlama çağına geçilmiştir. Bu amaçla geliştirilen özel yazılımlar olası hataları değerlendirerek, diş preparasyonundaki aşınma miktarı, yerleştirilecek implantın yön ve uzunluğu, diş hareket düzeni gibi uygulamaları doğru şekilde tahmin ederek klinik aşamaları sanal olarak planlamayı mümkün hale getirmiştir. Böylece hem klinikte geçen süre kısaltmakta hem de operatif prosedürlerdeki olası hataların önüne geçilerek daha verimli tedaviler gerçekleştirilmeye başlanmıştır.

“Rehberli endodonti”, apikale erişimi kolaylaştıran ve apikale doğru devamlılık gösteren giriş kavitesi preparasyonu için geliştirilmiş teknik olarak tanımlanmaktadır.¹ Komplike cerrahi ve cerrahi olmayan endodontik prosedürleri basit hale getirebilmek için rehberli implant operasyonlarının tasarım ve ilkelerinin uyarılmasıdır.^{2, 3} Geleneksel kök kanal tedavisi, üç boyutlu (3D) radyografik görüntüleme ve rehberli endodonti olmaksızın nispeten iyi bir prognoz sunmaktadır, ancak daralmış ya da tıkanmış pulpa odası/kanalları, teşhis ve tedavide özel çalışma prensiplerine ihtiyaç duymaktadır.⁴⁻⁷ Konik ışınli bilgisayarlı tomografi (KIBT) tabanlı üretilmiş endodontik rehberler, her bir kanal ağız arasındaki anatomik koordinasyonu net bir şekilde ortaya koyarak, giriş kavitesinin kurondaki form ve konumunun hazırlığını, geleneksel prensiplere kıyasla daha kolay hale getirmektedir.⁸⁻¹³ Kök kanalları, aksesuar ve lateral kanallar, oluklar, taurodontizm, C-şekilli kanallar, bifurkasyonlar gibi çeşitli anatomik varyasyona sahiptir.¹⁴⁻²⁰ Genelde bu varyasyonlar göz ardı edilmektedir çünkü iki boyutlu (2D) radyografilerde nadiren saptanabilmektedirler. Giriş kavitelerinin kolay erişimi ve daha az kanal varyasyonu göstermeleri nedeniyle ön dişlerde giriş kavitesi ve apisektomi işlemleri daha rahat gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte, 3D rehberli endodontik tedavi, ciddi gelişimsel anomali ya da kanal kalsifikasyonu varlığında dahi güvenli ve öngörülebilir şekilde insizal kenarda kayba neden olmadan konservatif erişim sağlayarak tedaviyi optimize ettiği ortaya konmuştur.^{14, 21-24} 3D görüntülemeye dayalı rehber kullanımı, inferior alveoler kanal, mental foramen, maksiller sinüs gibi kritik anatomik yapılar ile kök apekslerinin komşuluğuna da dikkat etmektedir.²⁵ Endodontik cerrahi olgularında, cerrahi öncesi 3D radyografik değerlendirme, derinlik rehberli frezler için kortikal kemik kalınlığının, diş pozisyonunun ve x-y-z düzleminde apekslerin yönünün belirlenmesini sağlayarak hekim becerisini, hasta deneyimini, tedavi süresini büyük ölçüde iyileştirmektedir.³

^{26, 27} Dolayısıyla 3D rehberler kök kanal tedavisinin farklı aşamalarında kullanılmaya başlanmıştır.

KIBT Teknolojisinin Endodontide kullanımı

Tıbbi bilgisayarlı tomografi (BT) ilk olarak 1967'de Sir Godfrey Hounsfield tarafından geliştirilmiş ve o zamandan beri dedektör, ışın kaynağı ve hareket paternlerinde birçok ilerleme kaydedilmiştir.²⁸ 1998'de Mozzo ve ark.'ları hacimsel bilgisayarlı tomografinin dental görüntülemeye kullanımının faydalarını açıklamaları ile diş hekimliğinde üç boyutlu (3D) görüntüleme devriminin de temelini atmışlardır.²⁹ Uzun yıllar boyunca diş hekimleri, anatomik hacmin derinliğini gösteren üçüncü boyut (z eksen) hakkında çok az bilgi sunan standart 2D görüntülere güvenmişlerdir. Son on yılda KIBT, diş hekimliği uygulamalarının ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir.

Dijital Ölçü Sistemleri ve Rehberli Endodonti Teknolojisi

KIBT endodontide dijital planlamanın temelini oluşturmaktadır. Konvansiyonel radyografilerin diş ve çevre dokular hakkında yeterli bilgi vermediği kompleks durumlarda konik ışınli bilgisayarlı tomografi görüntülerinden faydalanılmaktadır.^{30, 31} Bu üç boyutlu bilginin, tedavi için kılavuz planlama ve üç boyutlu olarak yazdırmada ağız içi tarayıcı ile elde edilen, dişlerin yüzey bilgileriyle birleştirilerek kullanılabileceği bildirilmiştir.^{32, 33}

Dijital planlama için kullanılan yazılımlar da endodontik rehberlerin geliştirilmesi açısından dijital endodontinin ilerlemesinde temel teşkil etmektedir. Kullanılan yazılım, CBCT görüntülerinden DICOM dosyalarını içe aktarır ve bunları bilgisayar destekli tasarım (CAD - Bilgisayar Destekli Tasarım) araçlarıyla rehber ana hatlarını belirlemede parametre olarak kullanır. Rehber modellemesinde, yazılımın DICOM dosyasını, ağız içi tarama ile elde edilen hastanın arkının dijital modelini STL (Standart Mozaik Dili) formatında senkronize etmesi gerekir.³⁴

3D baskı teknolojisi (Stereolitografi tekniği) ile endodontik rehberler üretilmeye başlanmıştır. Kullanılan yazılımın hazırladığı rehberin üç boyutlu tasarımı da STL formatında aktarılmaktadır. 3D baskıdan önce, rehber STL dosyasının çok sayıda katman veya dilim dizisine dönüştürülmesi için planlanan STL'nin hazırlanması gerekir. Dilim kalınlığı azaldıkça, rehberin doğruluğu artar; ancak, baskı için gerekli süre de uzayacaktır. Günümüzde endodontik rehberler, maliyet-fayda oranı gözeticilerle doğrudan ışık işleme teknolojisi (DLP) ile ışıkla sertleşen sıvı reçineden üretilmektedir.³⁵

3D Rehberli Endodontinin Endikasyonları

Rehberli endodonti tekniği, farklı klinik durum ve endikasyonlarda kullanılabilmektedir. Bunları şu şekilde özetleyebiliriz;

- Giriş kavitesi hazırlanması,
- Kalsifiye kanallar,
- Endodontik cerrahi,
- Fiber post sökümü,
- Gelişimsel anomalili ve/veya komplike kök kanal formasyonu gösteren dişlerde kullanılmaktadır.³⁶⁻⁴⁰

Rehberli Endodonti ile Endodontik Giriş Kavitesi Hazırlanması

Kök kanallarının karmaşık anatomiye sahip olması endodontik tedavide yıkama ve şekillendirme işlemleri sırasında temizlenemeyen alanların kalmasına dolayısıyla, mikroorganizmaların varlıklarını sürdürmesine

yol açabilmektedir. Bu nedenle, tedavinin prognozu olumsuz etkilenmektedir. Endodontik giriş kavitesi, kök kanal tedavisinde önemli bir adımdır. Endodontik giriş kavitesi hazırlanması sırasında yapılan hatalar, gözden kaçan kök kanallarına veya kök perforasyonları gibi intra-operatif komplikasyonlara yol açabilmekte ve kök kanal tedavisinin prognozunu olumsuz yönde etkileyebilmektedir.⁴¹ Bilgisayar destekli statik ve dinamik navigasyon tekniklerinin geliştirilmesi, bu aşamayı kolaylaştırarak, tedavinin başarısını artırabilir.⁴¹ Rehberli giriş kavitesi hazırlanmasının doğruluğuna ilişkin ilk laboratuvar çalışması 2015 yılında yapılmıştır.³⁶

Dijital rehber kullanılarak endodontik giriş kavitesi hazırlanması ile ilgili çalışmalar Tablo1’de verilmiştir.

Tablo 1. Endodontik giriş kavitelerinin hazırlanmasında 3D rehber kullanımı

Araştırmacı	Çalışma Tipi	Diş Sayısı	Diş Tipi	Diş No	Yaş	Cinsiyet	Seans Sayısı	Takip Süresi	Sonuç
Van der Meer ve ark. (2016) ⁴²	Olgu Serisi	3	Üst Ön	N/A	N/A	-	1	N/A	Asemp.
Krastl ve ark. (2016) ²¹	Olgu Raporu	1	Üst Ön	11 no	15	E	2	15 ay	Asemp.
Buchgreitz ve ark. (2016) ³⁶	<i>In Vitro</i>	48	Miks	N/A	-	-	-	-	-
Zehnder ve ark. (2016) ³⁷	<i>In Vitro</i>	60	Ön & P.molar	N/A	-	-	-	-	-
Mena-Alvarez ve ark. (2017) ³⁸	Olgu Raporu	1	Üst Ön	21 No	16	K	1	12 ay	Asemp.
De Toubes ve ark. (2017) ⁴³	Olgu Raporu	4	Üst Ön	21/ 11/ 13/21	34/29/ 25/28	K/K/ K/E	1/2/1/1	12 ay	Asemp.
Shi ve ark. (2017) ⁴⁴	Olgu Raporu	1	Alt Molar	N/A	29	K	1	6 ay	Asemp.
Connert ve ark. (2017) ²²	<i>In Vitro</i>	1	Alt Ön	N/A	-	-	-	-	-
Lara-Mendes ve ark. (2017) ²⁴	Olgu Raporu	1	Üst Molar	27,28	61	K	2	12 ay	Asemp.
Lara-Mendes ve ark. (2018) ⁴⁵	Olgu Raporu	1	Üst Ön	21	26	N/A	2	12 ay	Asemp.
Connert ve ark. (2018) ¹	Olgu Raporu	1	Alt Ön	31,41	51	E	2	N/A	Asemp.
Tavares ve ark. (2018) ⁴⁶	Olgu Raporu	2	Üst Ön	11/11	43/24	K/K	1	15 gün/30 gün	Asemp.
Buchgreitz ve ark. (2019) ⁴⁷	Olgu Raporu	1	Üst Molar	16	52	E	1	24 ay	Asemp.
Torres ve ark. (2019) ⁴⁸	Olgu Raporu	1	Üst Ön	22	85	K	1	6 ay	Asemp.
Casadei ve ark. (2020) ⁴⁹	Olgu Raporu	1	Üst P.molar	15	37	K	1	12 ay	Asemp.
Maia ve ark. (2019) ⁵⁰	Olgu Raporu	3	Üst P.molar -Molar	26 /25/15	47/65/45	K/K/K	1	12 ay	Asemp.
Chong ve ark. (2019) ⁵¹	<i>In Vitro</i>	29	N/A	N/A	-	-	-	-	-
Kostunov ve ark. (2021) ⁵²	<i>In Vitro</i>	30	Ön-P.molar-Molar	11,14,17	-	-	-	-	-
Dianat ve ark. (2021) ⁵³	Olgu Raporu	1	Üst Molar	16	63	E	1	6 ay	Asemp.
Ishak ve ark. (2020) ⁵⁴	Olgu Raporu	1	Alt Ön	31,41	52	N/A	1	N/A	Asemp.
Krug ve ark. (2020) ⁵⁵	Olgu Raporu	7	Ön-Molar/ Dentin Displazisi	12,15,26,3 1,32,36,46	12	N/A	N/A	12 ay	Asemp.
Gonçalves ve ark. (2021) ⁵⁶	Olgu Raporu	2	Üst Ön-Alt Molar	23/46	40/85	K/E	2	12 ay	Asemp.
Yan ve ark. (2021) ⁵⁷	Olgu Raporu	1	Üst Molar	27	63	E	2	24 ay	Asemp.

Kalsifiye Kök Kanallarında 3D Rehber Kullanımı

Dental travma sonrası kök kanallarında obliterasyon gözlenmesi tipik geç sekellerdendir.^{58, 59} Özellikle lüksasyon yaralanmalarından sonra olguların %15-40'ında karşımıza çıkmaktadır.^{58, 59} Buna ek olarak, çürük, servikal pulpotomi, restoratif tedavi gibi çeşitli uyaranların sonucu olarak ya da ortodontik tedaviden sonra ve ömür boyu dentin yapımına bağlı olarak yaşlı hastalarda kök kanal sisteminde dentinin artan apozisyonu gözlenebilmektedir.⁶⁰⁻⁶³ Kalsifikasyon süreci genellikle asemptomatiktir. Klinik olarak dişin sarımsı bir renk alması ile ya da radyografik muayene sırasında tesadüfen saptanabilir.

Kök kanal obliterasyonu veya kalsifiye kanallar, çeşitli teşhis ve tedavi zorluklarına neden olabilmektedir.⁴ Kalsifikasyon varlığında yeterli giriş kavitesi hazırlığı ve kök kanal ağzlarının saptanması son derece güç bir hal almaktadır. Amerikan Endodontistler Birliği vaka değerlendirmesinde, bu vakaları yüksek zorluk kategorisine yerleştirmiştir.⁶⁴ Kalsifiye kanallar, aşırı geniş giriş kavitesi hazırlığı, giriş kavitesinin yanlış hizalanmasına bağlı perforasyonu riski ve kanal preparasyonu sırasında eğelerin kırılma riskini taşımaktadır.⁶⁵ Bu nedenle, kesin ve öngörülebilir preoperatif planlama şiddetle tavsiye edilmektedir. Bu nedenle 3D görüntüleme yararlı bir araç olmaktadır.

Dentinin apozisyonu, hassasiyet testine sıklıkla verilen olumsuz yanıtı rağmen, pulpanın dolaylı canlılık işareti olarak kabul edilebilir. Pulpal veya periapikal patolojinin klinik ve radyolojik belirtileri olmadıkça kanal tedavisinin endike olmadığı konusunda fikir birliği vardır.⁶⁶ Ancak kalsifiye dişlerde de apikal periodontitis gelişebilir ve bu da kanal tedavisi ihtiyacını doğurabilir. Bu vakalarda kanal tedavisini optimum düzeyde gerçekleştirebilmek güçtür ve çeşitli riskler içermektedir.⁶⁸ Kalsifiye kanallı dişlerde endodontik tedavideki güçlük, kök kanallarına korondan giriş sağlanmasıdır ve kalsifikasyon orta ve apikal üçte birine uzandığında doğru trepanasyon yönünü korumayı zorlaştırır. Bu durum, deneyim sahibi endodontistlerin gerçekleştirdiği tedavilerde dahi sapma veya perforasyon meydana gelme riskini arttırabilmektedir.⁶⁹ Bu anlamda, 3D rehberlerin kullanılması daha fazla güvenlik ve öngörülebilirlik, daha az diş doku kaybı ve hastayla daha kısa klinik tedavi süresi gibi avantajlara sahiptir.^{70, 71} Çok uzun yıllardır diş hekimleri kök kanallarının yerini genellikle “dokunsal” şekilde bulmak zorunda kalmıştır.⁴⁴ Günümüzde gelişmiş enstrümanlar, pulpa boşluğunun görünürlüğünü arttıran mikroskop, mikroprob ve ultrasonik uçlar gibi yeni tedavi modaliteleri mevcuttur.^{72, 73} Bunlara ek olarak, KIBT ile daha doğru 3D görüntüler elde edilmektedir.

Travma sonrası daralmış pulpa lümeni ve periapikal lezyonu olan dişlerde teknik başarısızlık ve tedavi başarı oranını değerlendiren retrospektif bir çalışmada kalsifiye dişlerde, olguların üçte birinde kök perforasyonu, eğe

kırılması ya da ulaşılamayan kök kanallarının kaldığı ve kanal tedavisi sonrası iyileşme oranlarının önemli ölçüde azaldığı ortaya konmuştur.⁷⁴ Yakın tarihli retrospektif bir çalışmada operasyon mikroskobu kullanımıyla tüm kök kanallarının saptanabildiği, vakaların %90'ında tam çalışma boyuna ulaşılabildiği ve 3 yıllık gözlem süresi sonunda %80 başarı elde edildiği bildirilmiştir.⁷⁵ Bununla beraber, sadece kök kanallarının başarılı şekilde lokalize edilebilmesi için dahi belli bir klinik süreye ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, kalsifiye kök kanal lokalize edilse dahi, servikal bölgede kök kırılma eğiliminin artmasına neden olan doku kaybı meydana gelmekte ve uzun vadede prognoz olumsuz yönde etkilenmektedir.⁷⁶

İyatrojenik hata riskini en aza indirmek ve tedavi süresini kısaltmak için kalsifiye kök kanallarını minimal invaziv şekilde lokalize etmek amacıyla bilgisayar destekli yaklaşım kullanılmaya başlanmıştır.^{21, 37} Bu amaçla 1980'lerin sonlarında Buchgreitz ve ark.'ları bugün “rehberli endodonti” olarak bilinen 3D rehberli erişim ilkelerini *in vivo* olarak kullanan ilk araştırmacılarıdır.³⁶

3D Rehberlerin Endodontik Cerrahi Olgularında Kullanımı

Endodontik cerrahi, son yıllarda büyük bir gelişme göstermiştir. %30-40 gibi başarı oranı elde edilirken retrograd dolum kavramının gelişmesi ile başarı oranı %19 ila %96 arasında değişme göstermektedir.⁷⁷⁻⁷⁹ Yüksek başarı oranı izlenen çalışmalarda (%90'dan fazla) operasyon mikroskobunun kullanıldığını görmekteyiz.^{39,80,81} 3D rehberler endodontik cerrahide de kullanılmaktadır.^{3, 39, 82} Cerrahi erişimde daha az kemik dokusu çıkarılması, lezyon bölgesi ve diş apeks konumunun daha iyi belirlenebilmesinde rehberler avantaj sağlamaktadır.^{3, 82} Ayrıca, 3D rehberler, komşu anatomik yapılarda kanama veya hasar gibi ameliyat sırası ve sonrası komplikasyon riskini de azaltarak daha kısa iyileşme süresi ve daha iyi prognoz elde edilmesine katkı sağlamaktadırlar.^{3, 39}

Benjamin ve ark., endodontik mikrocerrahide nörovasküler yapıları saptamada KIBT görüntülemenin tanısal değerini ve cerrahi riskleri azaltmada 3D rehber kullanımının önemini vurgulamışlardır.⁸³ Giacomino ve arkadaşları, maksiller ikinci molar palatal kökü, maksiller birinci molar kaynaşmış kökleri ve mental foramene apikal yakınlığı olan mandibular 2. premolarlarda endodontik cerrahi uygulamalarında yuvarlak kemik trepanı ile kombine osteotomi ve kök ucu rezeksiyonunda 3D rehberlerden faydalanmışlar ve osteotomi derinliği ve açılardırma kontrolünde rehber kullanımının faydalı olduğunu bildirmişlerdir.⁴⁰

Fiber Postların Çıkarılmasında 3D Rehber Kullanımı

Kuron harabiyeti olan dişlerin kök destekli restorasyonunda fiber postlar sıkça kullanılmaktadır. Ancak, kök

kanalına yerleştirilmiş fiber postların çıkarılması diş hekimleri için bazı olgularda zorluk oluşturmakta, perforasyon, kökte çatlak oluşumu ve yayılması, hatta kök kırıklarına neden olabilmektedir.⁸⁴ 3D rehberlerin kullanılması bu gibi olgularda tedavinin daha güvenli şekilde gerçekleştirilmesine katkı sağlamakta, işlem süresini azaltmakta hastanın konforunu arttırarak profesyonel stresi azaltmaktadır.^{40, 85-87}

Günümüzde fiber postları çıkarmada operasyon mikroskobu ve ultrasonik gibi ileri dijital teknolojiler kullanılmaktadır.⁸⁸ Mevcut teknolojiler ile, 3D rehberli erişimin etkinliği, dentin kaybı ve kök kanal yolunda sapma miktarı açısından değerlendirildiğinde, elde edilen bulgular 3D rehberlik açısından olumludur.⁸⁹ 3D rehberli endodonti ile fiber post sökümünde, orijinal kanal yolundan daha az sapıldığı, dentinde daha az kayba yol açıldığı ve tedavinin daha kısa sürede gerçekleştirildiği ortaya konmuştur.⁸⁹ Dolayısıyla, 3D rehberli endodonti ile daha öngörülebilir sonuçlar elde edilebilmektedir.

Gelişimsel Anomali Gösteren Dişlerde Endodontik Tedavide 3D Rehber Kullanımı

Dens evaginatus gibi gelişimsel anomali izlenen olgularda, endodontik tedavi işlemlerinin çok dikkatli şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu anomaliler kök kanallarına doğru erişimi zorlaştırarak dişte daha fazla madde kaybı yapılmasına, giriş yönünde hatalara ve kök perforasyonu gibi komplikasyonlara neden olabilmektedir.^{90, 91} Gelişimsel anomali gösteren dişlerin kök kanal tedavilerinde kanallara erişimi kolaylaştırmak için 3D rehberlerden faydalanılabilir.^{90, 91} 3D rehberler olası komplikasyonları elimine etme açısından öngörülebilir bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır.

Üzerinde durulması gereken bir diğer önemli konu, çatlak, kök kırığı veya rezorbsiyon bulunan dişlerdir. Doğru tedavi planlaması için, yüksek çözünürlüğe sahip KIBT görüntüleri, eğitilmiş bir profesyonel tarafından dikkatlice analiz edilmeli ve 3D rehberlerin doğru planlaması için diş tedavinin başından sonuna kadar takip edilmelidir.

Endodontide 3D Rehber Kullanım Sınırları

Kök kanallarının karmaşık yapı göstermesi nedeniyle endodontik rehberlerin kullanımı söz konusu olsa da, teknik bazı sınırlamalara sahiptir. Endodonti ile ilgili yapılar küçük boyutlara sahiptir. Ayrıca, köklerdeki dallanmalar, kök kırıkları, perforasyonlar, kök kanalı içindeki olabilecek farklı seviyedeki kalsifikasyonlar ve kalan kök dentin kalınlığını saptamak endodontist için güç olabilmektedir. Bu gibi komplike durumlar, dişe ait mikro anatominin görselleştirilmesinde yüksek çözünürlüğe sahip görüntüleme tekniklerini gerekli kılmaktadır.⁹²

Teknolojik gereçlerin gelişimi, 3D rehber endikasyonlarının endodontide artmasına ve daha fazla

araştırılmasına yol açmaktadır. Son yıllarda KIBT teknolojisinde önemli gelişmeler yaşanmıştır. Daha modern cihaz ve yenilikçi yazılımlar ile dişlerin iç anatomisinin daha sadık kopyaları yapılarak, erişim hatalarına yol açabilecek kusurlar azaltılmıştır.^{3, 93} Yüksek densiteye sahip materyallerden kaynaklanan görüntü artefaktlarının eliminasyonu ile, olguların çoğunda 3D rehberli erişim etkin şekilde planlanabilir. Yine teknolojik gelişmeler sayesinde işlem basamakları da azalacaktır. Anatomik yapıları bozulma olmadan aslına uygun ve doğru şekilde yeniden oluşturabilen yazılımlar sayesinde ağız içi taramaya da gerek kalmayabilir.⁹⁴ İşlem basamaklarının azalması hekim ve hasta için planlanan rehberin basımında bozulma olasılığının ve ayrıca maliyetin düşmesi gibi avantajlar sağlayacaktır.

Rehberli erişim kök kanalının kurvatüre kadar olan kısmında kullanılabilir. Bu açıdan, planlama iyi yapıp yorumlanmalı, drilin eğilmesinden kaçınılmalıdır. Dental morfoloji ile ilgili bir diğer önemli husus ise kökün çapıdır.⁹⁵ Farklı diş gruplarında görülen çeşitli kök konfigürasyonları - alt kesicilerin kökleri ya da üst azı dişlerin mesiobukkal kökleri gibi- nedeniyle meziodistal ya da bukkolingual yönde kök dentininde incelmeler olabilmektedir. Dolayısıyla bu bölgelerde frez kullanımı risk oluşturabilir.⁹⁵ 3D rehberli endodontide kullanılan alet ve yazılımlar, esas olarak implant uygulamaları için tasarlanıp, rehberli cerrahide kullanılmak için geliştirilmiştir. Ayrıca, bu drillerin minede kesme gücü yoktur. Bu nedenle, mine dokusu elmas drilllerle uzaklaştırıldıktan sonra implant drili ile dentinde çalışılabilir. Bunun yanında, 3D rehberli endodontide klinik aşamada kullanılan araçlarda gelişmeler kaydedilmektedir.⁹⁵ İmplantolojide kullanılan drilllerin endodontik amaçla kullanımı kısıtlamalara neden olduğu için spesifik aletler geliştirilmeye başlanmıştır. Bu amaçla geliştirilen ultrasonik kesici uçlar, küçük çaplı olmaları nedeniyle daha kontrollü madde kaldırmakta ve işlem sırasında daha etkili irigasyon imkanı tanımaktadır.

Ağız açıklığı kısıtlı olan hastalarda da 3D rehber kullanımı güç ya da kontraendike olabilir. Ayrıca artefaktlı KIBT görüntüleri de rehber planlaması ve tutarlılığında problemlere yol açabilecek nedenler arasındadır.^{3, 36, 47, 52, 93}

3D Endodontik Rehberler ve Planlama

Rehberli endodonti tekniği iki aşamalı bir uygulamadır:

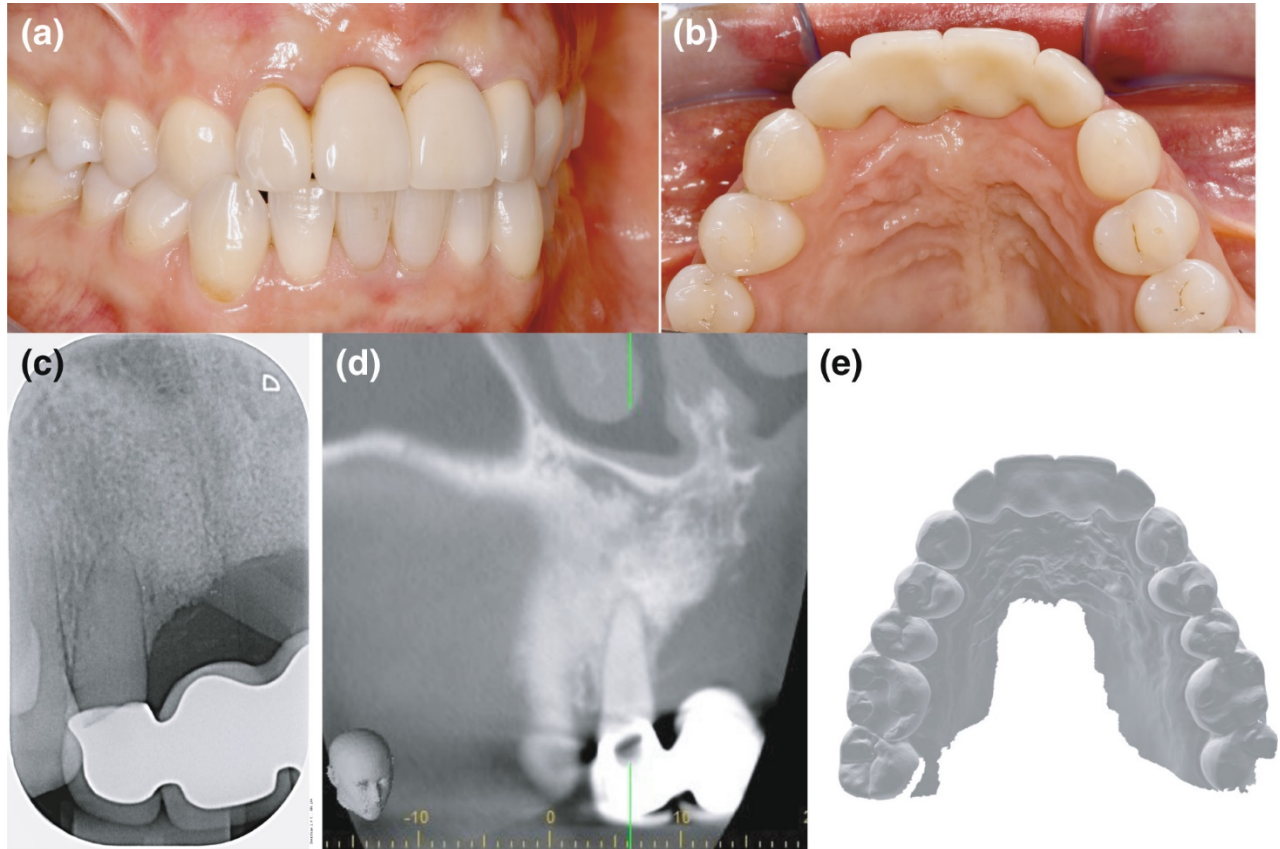
- Dijital cihazlar yardımıyla çoğu işlemin hasta yokken gerçekleştirildiği laboratuvar üretim aşaması;
- Rehberin tedavi sırasında klinik uygulaması.

3D rehberli endodontide iş akışı, implant uygulamasında kullanılan rehberli cerrahide gerçekleştirilen işlem sırasını takip etmektedir. Öncelikle hekim, hastanın hem ilgili bölge KIBT görüntüsüne hem de dijital ark

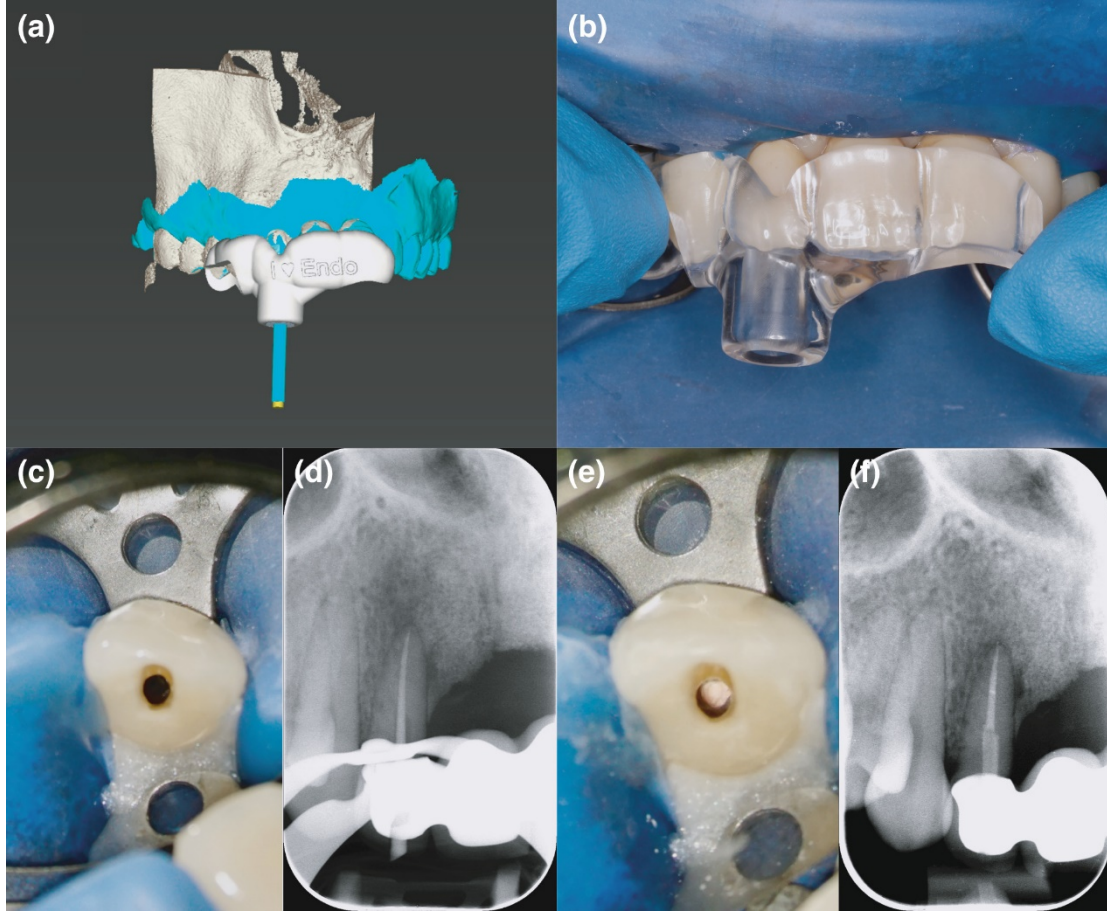
modeline sahip olmalıdır. Hasta bu dosyaları yakın zamanda almış ve bu süreçte herhangi bir dental müdahale görmemiş ise hekim bu dosyalar üzerinden değerlendirme yapabilir. Ancak mevcut görüntülemeler yok ya da yetersiz kalitede ise ya da hastanın ağız içine bir müdahale yapılmış ise yeni bir talepte bulunulması gerekir. KIBT incelemesi istenerek DICOM dosyası, ağız içi ark taranarak STL dosyası elde edilir (Şekil 1).⁹⁶

DICOM ve STL dosyalarının alınmasından sonra, endodontik rehber planlaması, cerrahi rehber planlanmasına özel yazılımlar kullanılarak gerçekleştirilir. Bunlar implant yerleştirilmesine rehberlik etmek için geliştirilmiş yazılımlardır. Endodontik işlem alanının daha küçük boyutlarda olması ve dijital kaynak yetersizliğine bağlı olarak bazı olgularda rehberli endodonti tekniği planlama aşamasında kontrendike olabilmektedir. Drilin çalışma derinliği ve çap boyutlarına ek olarak, uygulanma yönü ve uygulanacak bölge dikkatli şekilde planlanmalıdır. İnsizal kenar, mine köprüleri ve tüberkül tepeleri gibi kuron dayanımında kritik olan anatomik alanların uzaklaştırılmasından kaçınılmalıdır.³⁷ Çalışma derinliği ve yönü planlanmasının ardından, rehberli

işlemler uygulandıktan sonra kalacak diş doku kalınlığı da yaklaşık olarak hesaplanmalıdır. Perforasyon riski açısından, kök yüzeyine 1 mm'den daha fazla yaklaşılmamalıdır. Rehberli endodonti her ne kadar daha tahmin edilebilir uygulamalar olsa da özellikle kökün apikal üçte birlik kısımda frezin ortalama 0,4 mm sapma gösterebileceği kabul edilmektedir.³⁷ Dikkatli planlama ve uygun kılavuz hazırlama ile sapmalar en aza indirilebilir. Rehber, dişlerin okluzal yüzeyine ne kadar uyumlu olursa, stabilitesi o kadar yüksek ve işlemler sırasında sapma riski o kadar az meydana gelecektir.³⁷ Rehberli endodontide başarılı olmak için, tüm laboratuvar adımlarının düzgün şekilde yerine getirilmiş olması şarttır. Ayrıca ağız-içi tarama, drilin izleyeceği yol, komşu dişlerdeki kılavuz uzunluğu, görsel kontrol pencere varlığı ve konumları hakkında bilgi veren bir raporlamanın yapılması gerekir.⁹⁵ Bununla birlikte, rehberin basılması sırasında meydana gelen, görsel inceleme pencerelerinin yanlış konumlandırılması, metal halka varlığı/yokluğu ve rehberin planlanan boyda olmaması gibi hatalar da raporlanmalıdır. Daha sonra ağız içinde rehberin uyumu ve stabilitesi kontrol edilir (Şekil 2).⁹⁶



Resim 1: Bukkal (a) ve palatinal (b) açıdan ağız içi klinik görünüm, 2D görüntüleme apikalde lezyon saptanmamış (c), KIBT görüntüsü ile kök kanalında ileri derecede kalsifikasyon ve kökün lateralinde lezyon saptanmış (d), palatinal yönde ağız içi tarama görünümü (e)⁹⁶



Resim 2: Giriş kavitesinin dijital olarak planlanması (a), rehberin basınçsız olarak ağız-ıçi kontrolü (b), minimal invaziv giriş kavitesi (c), ana kon ile dolum öncesi kontrol radyografisi (d), post yerleştirmeden önce kök kanal dolgusu (e), fiber post yerleştirildikten sonra alınan bitim radyografisi (f)⁹⁶

SONUÇ

3D Rehberler, endodontideki hızlı değişimi yansıtan gelişen bir tekniktir. Bu teknikteki ilerlemeler ile yeterli, düşük maliyetli ve daha ulaşılabilir yöntem ve araçlar gelişmektedir. Mevcut kısıtlamalar planlama ve uygulamadan önce değerlendirilmelidir. Rehberli endodonti teknolojisi, kesin, etkili ve kolay bir klinik uygulama olması nedeniyle, geleneksel tekniğin kullanıldığı endodontik cerrahi sırasında karşılaşılabilecek komplikasyonların eliminasyonunda yeni bir bakış açısı sunmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Connert T, Zehnder MS, Amato M, Weiger R, Kühl S, Krastl G. Microguided Endodontics: a method to achieve minimally invasive access cavity preparation and root canal location in mandibular incisors using a novel computer-guided technique. *Int Endod J* 2018; 51: 247–55.
2. Ackerman S, Aguilera FC, Buie JM, et al. Accuracy of 3-dimensional-printed endodontic surgical guide: a human cadaver study. *J Endod* 2019; 45: 615–8.
3. Ahn SY, Kim NH, Kim S, Karabucak B, Kim E. Computer-aided Design/Computer-aided Manufacturing-guided endodontic surgery: guided osteotomy and apex localization in a mandibular molar with a thick buccal bone plate. *J Endod* 2018; 44: 665–70.
4. McCabe PS, Dummer PMH. Pulp canal obliteration: an endodontic diagnosis and treatment challenge. *Int Endod J* 2012; 45: 177–97.

5. Hsieh CY, Wu YC, Su CC, et al. The prevalence and distribution of radiopaque, calcified pulp stones: a cone-beam computed tomography study in a northern Taiwanese population. *J Dent Sci* 2018; 13: 138–44.
6. Jannati R, Afshari M, Moosazadeh M, Allahgholipour SZ, Eidy M, Hajihoseini M. Prevalence of pulp stones: a systematic review and meta-analysis. *J Evid Based Med* 2019; 12: 133.
7. Tassoker M, Magat G, Sener S. A comparative study of cone-beam computed tomography and digital panoramic radiography for detecting pulp stones. *Imaging Sci Dent* 2018; 48: 201–12.
8. Yang H, Tian C, Li G, Yang L, Han X, Wang Y. A cone-beam computed tomography study of the root canal morphology of mandibular first premolars and the location of root canal orifices and apical foramina in a Chinese subpopulation. *J Endod* 2013; 39: 435–8.
9. Eaton JA, Clement DJ, Lloyd A, Marchesan MA. Micro-computed tomographic evaluation of the influence of root canal system landmarks on access outline forms and canal curvatures in mandibular molars. *J Endod* 2015; 41: 1888–91.
10. Boschetti E, Silva-Sousa YTC, Mazzi-Chaves JF, et al. Micro-CT evaluation of root and canal morphology of mandibular first premolars with radicular grooves. *Braz Dent J* 2017; 28: 597–603.
11. Zhang Y, Xu H, Wang D, et al. Assessment of the second mesiobuccal root canal in maxillary first molars: a cone-beam computed tomographic study. *J Endod* 2017; 43: 1990–6.
12. Rusu D, Surlin P, Stratul SI, et al. Changes in anatomic position of root canal orifices in pluriradicular teeth following re-location during endodontic treatment. *Ann Anat* 2018; 217: 29–33.
13. Su CC, Huang RY, Wu YC, et al. Detection and location of second mesiobuccal canal in permanent maxillary teeth: a cone-beam computed tomography analysis in a Taiwanese population. *Arch Oral Biol* 2019; 98: 108–14.
14. Tassoker M, Sener S. Analysis of the root canal configuration and C-shaped canal frequency of mandibular second molars: a cone beam computed tomography study. *Folia Morphol (Warsz)* 2018; 77: 752–7.
15. Zhang W, Tang Y, Liu C, Shen Y, Feng X, Gu Y. Root and root canal variations of the human maxillary and mandibular third molars in a Chinese population: a micro-computed tomographic study. *Arch Oral Biol* 2018; 95: 134–40.
16. Dos Santos OR, Maria Gomes Oliveira A, Cintra Junqueira JL, Kühl Panzarella F. Association between the anatomy of the mandibular canal and facial types: a cone-beam computed tomography analysis. *Int J Dent* 2018; 2018: 5481383.
17. Al Qahtani A, Abdulrab S, Alhadainy H. Management of a failed endodontic treatment for a maxillary second molar with two separate palatal roots. *Clin Case Rep* 2018; 6: 1735–8.
18. Sathyanarayanan K, Poornima L. Endodontic management of maxillary second molar with vertucci type VI root canal morphology diagnosed using cone-beam computed tomography. *Contemp Clin Dent* 2018; 9: 494–7.
19. Marceliano-Alves MF, de Lima CO, Augusto CM, Almeida Barbosa AF, Vieira Bruno AM, Rosa AM, et al. The internal root canal morphology of single-rooted mandibular canines revealed by micro-computed tomography. *J Conserv Dent* 2018; 21: 588–91.
20. Saber SEDM, Ahmed MHM, Obeid M, Ahmed HMA. Root and canal morphology of maxillary premolar teeth in an Egyptian subpopulation using two classification systems: a cone beam computed tomography study. *Int Endod J* 2019; 52: 267–78.
21. Krastl G, Zehnder MS, Connert T, Weiger R, Kühl S. Guided endodontics: a novel treatment approach for teeth with pulp canal calcification and apical pathology. *Dent Traumatol* 2016; 32: 240–6.
22. Connert T, Zehnder MS, Weiger R, Kühl S, Krastl G. Microguided endodontics: accuracy of a miniaturized technique for apically extended access cavity preparation in anterior teeth. *J Endod* 2017; 43: 787–90.
23. Tavares WL, Diniz Viana AC, de Carvalho MV, Feitosa Henriques LC, Ribeiro Sobrinho AP. Guided endodontic access of calcified anterior teeth. *J Endod* 2018; 44: 1195–9.
24. Lara-Mendes STO, Barbosa CFM, Machado VC, Santa-Rosa CC. A new approach for minimally invasive access to severely calcified anterior teeth using the guided endodontics technique. *J Endod* 2018; 44: 1578–82.
25. Mao T, Neelakantan P. Three-dimensional imaging modalities in endodontics. *Imaging Sci Dent* 2014; 44: 177–83.
26. Strbac GD, Schnappauf A, Giannis K, Moritz A, Ulm C. Guided modern endodontic surgery: a novel approach for guided osteotomy and root resection. *J Endod* 2017; 43: 496–501.
27. Philpott R, Gulabivala K, Leeson R, Ng YL. Prevalence, predictive factors, and clinical course of persistent pain associated with teeth displaying periapical healing following non-surgical root canal treatment: a prospective study. *Int Endod J* 2018; 52: 407–15.
28. Beckmann EC. CT scanning the early days. *Br J Radiol* 2006; 79: 5–8.
29. Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, et al. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *Eur Radiol* 1998; 8: 1558–64.

30. Patel S, Kanagasingam S, Mannocci F. Cone Beam Computed Tomography (CBCT) in Endodontics. *Dental Update* 2010; 37: 373–9.
31. Patel S, Brown J, Semper M, et al. European Society of Endodontology position statement: use of cone beam computed tomography in Endodontics: European Society of Endodontology (ESE) developed by. *Int Endod J* 2019; 52: 1675–78.
32. Dawood A, Marti Marti B, Sauret-Jackson V, et al. 3D printing in dentistry. *Br Dent J* 2015; 219: 521–9.
33. Anderson J, Wealleans J, Ray J. Endodontic applications of 3D printing. *Int Endod J* 2018; 51: 1005–18.
34. Alauddin MS, Baharuddin AS, Mohd Ghazali MI. The Modern and Digital Transformation of Oral Health Care: A Mini Review. *Healthcare (Basel)* 2021; 9: 118.
35. Park ME, Shin SY. Three-dimensional comparative study on the accuracy and reproducibility of dental casts fabricated by 3D printers. *J Prosthet Dent* 2018; 119: 861.e1-861.e7.
36. Buchgreitz J, Buchgreitz M, Mortensen D, Bjørndal L. Guided access cavity preparation using cone-beam computed tomography and optical surface scans – an ex vivo study. *Int Endod J* 2016; 49: 790–795.
37. Zehnder MS, Connert T, Weiger R, Krastl G, Kühl S. Guided endodontics: accuracy of a novel method for guided access cavity preparation and root canal location. *Int Endod J* 2016; 49: 966–972.
38. Mena-Álvarez J, Rico-Romano C, Lobo-Galindo AB, et al. Endodontic treatment of dens evaginatus by performing a splint guided access cavity. *J Esthet Restor Dent* 2017; 29: 396–402.
39. Taschieri S, Del Fabbro M, Testori T, et al. Microscope versus endoscope in root-end management: a randomized controlled study. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2008; 37: 1022–6.
40. Giacomino CM, Ray JJ, Wealleans JA. Targeted endodontic microsurgery: a novel approach to anatomically challenging scenarios using 3-dimensional-printed guides and trephine burs-a report of 3 cases. *J Endod* 2018; 44: 671.
41. Zubizarreta-Macho Á, Muñoz AP, Deglow ER, Agustín-Panadero R, Álvarez JM. Accuracy of Computer-Aided Dynamic Navigation Compared to Computer-Aided Static Procedure for Endodontic Access Cavities: An in Vitro Study. *J Clin Med* 2020; 9: 129.
42. Van der Meer WJ, Vissink A, Ng YL, et al. 3D Computer aided treatment planning in endodontics. *J Dent* 2016; 45: 67–72.
43. De Toubes KMS, de Oliveira PAD, Machado SN. Clinical approach to pulp canal obliteration: a case series. *Iran Endod J* 2017; 12: 527–33.
44. Shi X, Zhao S, Wang W, et al. Novel navigation technique for the endodontic treatment of a molar with pulp canal calcification and apical pathology. *Aust Endod J* 2017; 44: 66–70.
45. Lara-Mendes STO, Barbosa CFM, Santa-Rosa CC, et al. Guided endodontic access in maxillary molars using cone-beam computed tomography and computer-aided design/computer-aided manufacturing system: a case report. *J Endod* 2018; 44: 875–9.
46. Tavares WLF, Diniz Viana AC, Machado VC, et al. Guided endodontic access of calcified anterior teeth. *J Endod* 2018; 44: 1195–9.
47. Buchgreitz J, Buchgreitz M, Bjørndal L. Guided endodontics modified for treating molars by using an intracoronal guide technique. *J Endod* 2019; 6: 818–23.
48. Torres A, Shaheen E, Lambrechts P, et al. Microguided endodontics: a case report of a maxillary lateral incisor with pulp canal obliteration and apical periodontitis. *Int Endod J* 2019; 52: 540–9.
49. Casadei BA, Lara-Mendes STO, Barbosa CFM, et al. Access to original canal trajectory after deviation and perforation with guided endodontic assistance. *Aust Endod J* 2020; 46: 101.
50. Maia LM, Machado VC, Alves da Silva NRF, et al. Case reports in maxillary posterior teeth by guided endodontic access. *J Endod* 2019; 45: 214–8.
51. Chong BS, Dhesi M, Makdissi J. Computer-aided dynamic navigation: a novel method for guided endodontics. *Quintessence Int* 2019; 50: 196–202.
52. Kostunov J, Rammelsberg P, Klotz AL, et al. Minimization of Tooth Substance Removal in Normally Calcified Teeth Using Guided Endodontics: An In Vitro Pilot Study. *J Endod* 2021; 47: 286-290.
53. Dianat O, Gupta S, Price JB, et al. Guided Endodontic Access in a Maxillary Molar Using a Dynamic Navigation System. *J Endod* 2021; 47: 658-662.
54. Ishak G, Habib M, Tohme H, et al. Guided Endodontic Treatment of Calcified Lower Incisors: A Case Report. *Dent J (Basel)* 2020; 8: 74.
55. Krug R, Volland J, Reich S, et al. Guided endodontic treatment of multiple teeth with dentin dysplasia: a case report. *Head Face Med* 2020; 16: 27.
56. Gonçalves WF, Garcia LDFR, Vieira-Schuldt DP, et al. Guided Endodontics in Root Canals with Complex Access: Two Case Reports. *Braz Dent J* 2021; 32: 115-123.
57. Yan YQ, Wang HL, Liu Y, et al. Three-dimensional inlay-guided endodontics applied in variant root canals: A case report and review of literature. *World J Clin Cases* 2021; 9: 11425-11436.

58. Andreasen FM, Zhijie Y, Thomsen BL, Andersen PK. Occurrence of pulp canal obliteration after luxation injuries in the permanent dentition. *Endodent Traumatol* 1987; 3: 103–115.
59. Nikoui M, Kenny DJ, Barrett EJ. Clinical outcomes for permanent incisor luxations in a pediatric population. III. Lateral luxations. *Dental Traumatology* 2003; 19: 280–285.
60. Delivanis HP, Sauer GJ. Incidence of canal calcification in the orthodontic patient. *Am J Orthod* 1982; 82: 58–61.
61. Carvalho TS, Lussi A. Age-related morphological, histological and functional changes in teeth. *J Rehabil* 2017; 44: 291–298.
62. Fleig S, Attin T, Jungbluth H. Narrowing of the radicular pulp space in coronally restored teeth. *Clin Oral Investig* 2017; 21: 1251–1257.
63. Mass E, Zilberman U. Long-term radiologic pulp evaluation after partial pulpotomy in young permanent molars. *Quintessence Int* 2011; 42: 547–554.
64. American Association of Endodontists. Contemporary endodontic microsurgery: procedural advancements and treatment planning considerations. In: *Endodontics*. Chicago, IL: Colleagues for Excellence; 2010.
65. Buchgreitz J, Buchgreitz M, Bjørndal L. Guided root canal preparation using cone beam computed tomography and optical surface scans – an observational study of pulp space obliteration and drill path depth in 50 patients. *Int Endod J* 2019; 52: 559–68.
66. European Society of Endodontology position statement: endodontic management of traumatized permanent teeth. *Int Endod J* 2021; 54: 1473–1481.
67. Krastl, G, Weiger R, Filippi A et al. Endodontic management of traumatized permanent teeth: a comprehensive review *Int Endod J* 2021; 54: 1221–1245.
68. Oginni, AO, Adekoya-Sofowora CA, Kolawole KA. Evaluation of radiographs, clinical signs and symptoms associated with pulp canal obliteration: an aid to treatment decision. *Dent Traumatol* 2009; 25: 620–625.
69. Loureiro MAZ, Silva JA, Chaves GS, et al. Guided endodontics: The impact of new technologies on complex case solution. *Aust Endod J* 2021; 47: 664–671.
70. Connert T, Krug R, Eggmann F, et al. Guided Endodontics versus Conventional Access Cavity Preparation: A Comparative Study on Substance Loss Using 3-dimensional-printed Teeth. *J Endod* 2019; 45: 327–331.
71. Loureiro MAZ, Elias MRA, Capeletti LR, et al. Guided Endodontics: Volume of Dental Tissue Removed by Guided Access Cavity Preparation-An Ex Vivo Study. *J Endod* 2020; 46: 1907–1912.
72. Wu D, Shi W, Wu J, et al. The clinical treatment of complicated root canal therapy with the aid of a dental operating microscope. *Int Dent J* 2011; 61: 261–6.
73. Yang YM, Guo B, Guo LY, et al. CBCT-aided microscopic and ultrasonic treatment for upper or middle thirds calcified root canals. *Biomed Res Int* 2016; 2016: 4793146.
74. Cvek M, Granath L, Lundberg M. Failures and healing in endodontically treated nonvital anterior teeth with posttraumatically reduced pulpal lumen. *Acta Odontol Scand* 1982; 40: 223–8.
75. Kiefner P, Connert T, ElAyouti A, Weiger R. Treatment of calcified root canals in elderly people: a clinical study about the accessibility, the time needed and the outcome with a three- year follow-up. *Gerodontology* 2017; 34: 164–170.
76. Lang, H, Korkmaz, Y, Schneider, et al. Impact of endodontic treatments on the rigidity of the root. *Journal of Dental Research* 2006; 85: 364–368.
77. Molven O, Halse A, Grung B. Surgical management of endodontic failures: indications and treatment results. *Int Dent J* 1991; 41: 33–42.
78. Rahbaran S, Gilthorpe MS, Harrison SD, et al. Comparison of clinical outcome of periapical surgery in endodontics and oral surgery units of a teaching dental hospital: a retrospective study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 2001; 91: 700–9.
79. Christiansen R, Kirkevang LL, Hørsted-Bindslev P, et al. Randomized clinical trial of root-end resection followed by root-end filling with mineral trioxide aggregate or smoothing of the orthograde gutta-percha root filling–1-year follow-up. *Int Endod J* 2009; 42: 105–14.
80. Tsesis I, Rosen E, Schwartz-Arad D, et al. Retrospective evaluation of surgical endodontic treatment: traditional versus modern technique. *J Endod* 2006; 32: 412–6.
81. Kim E, Song JS, Jung IY, et al. Prospective clinical study evaluating endodontic microsurgery outcomes for cases with lesions of endodontic origin compared with cases with lesions of combined periodontal-endodontic origin. *J Endod* 2008; 34: 546–51.
82. Ye S, Zhao S, Wang W, et al. A novel method for periapical microsurgery with the aid of 3D technology: a case report. *BMC Oral Health* 2018; 18: 85.
83. Benjamin G, Ather A, Bueno MR, et al. Preserving the Neurovascular Bundle in Targeted Endodontic Microsurgery: A Case Series. *J Endod* 2021; 47: 509–519.
84. Abbott PV. Incidence of root fractures and methods used for post removal. *Int Endod J* 2002; 35: 63–7.
85. Maia LM, Bambirra Júnior W, Toubes KM, et al. Endodontic guide for the conservative removal of a fiber-reinforced composite resin post. *J Prosthet Dent* 2022; 128: 4–7.

86. Maia LM, Moreira Júnior G, Albuquerque RC, et al. Three-dimensional endodontic guide for adhesive fiber post removal: A dental technique. *J Prosthet Dent* 2019; 121: 387-390.
87. Perez C, Finelle G, Couvrechel C. Optimisation of a guided endodontics protocol for removal of fibre-reinforced posts. *Aust Endod J* 2020; 46: 107-114.
88. Alfadda A, Alfadley A, Jamleh A. Fiber Post Removal Using a Conservative Fully Guided Approach: A Dental Technique. *Case Rep Dent* 2022; 22:3752466.
89. Schwindling FS, Tasaka A, Hilgenfeld T, et al. Three-dimensional-guided removal and preparation of dental root posts-concept and feasibility. *J Prosthodont Res* 2020; 64: 104-108.
90. Gomes MAB. Dentin loss in the access to the canal and removal of fiber posts for molar retreatment-Analysis by tomography and computed microtomography. Federal University of Uberlândia, Dental School, Uberlândia, 2020, PhD Thesis.
91. Ali A, Arslan H, Jethani B. Conservative management of Type II dens invaginatus with guided endodontic approach: A case series. *J Conserv Dent* 2019; 22: 503-508.
92. Mazzi-Chaves JF, Camargo RV, Borges AF, et al. Cone-Beam Computed Tomography in Endodontics- State of the Art. *Curr Oral Health Rep* 2021; 8: 9-22.
93. Estrela C, Costa MVC, Bueno MR, et al. Potential of a New Cone-Beam CT Software for Blooming Artifact Reduction. *Braz Dent J* 2020; 31: 582-588.
94. Bueno MR, Estrela C, Granjeiro JM, et al. Cone-beam computed tomography cinematic rendering: clinical, teaching and research applications. *Braz Oral Res* 2021; 35: e024.
95. Decurcio DA, Bueno MR, Silva JA, et al. Digital Planning on Guided Endodontics Technology. *Braz Dent J* 2021; 32: 23-33.
96. Connert T, Weiger R, Krastl G. Present status and future directions- Guided endodontics. *Int Endod J*. 2022 doi: 10.1111/iej.13687. (Epub ahead of print.)