

# Bölüm 1

## ENDODONTİDE YAPAY ZEKA

**Mehmet ÇORAK<sup>1</sup>**  
**Arzu KAYA MUMCU<sup>2</sup>**

### GİRİŞ

Sürekli değişen ve gelişen dünyada bilgisayar sistemleri hayatın vazgeçilmezi haline gelmiştir. Cep telefonlarımızdan evimizdeki eşyalara kadar birçok aygıt, bilgisayar sistemi ile çalışmaktadır. Böylelikle insan beyni ve aygıtlar arasında kaçınılmaz bir etkileşim meydana gelmiştir. Tüm bunlar göz önüne alındığında, günümüzde bilgisayar sistemleri ve yapay zekaya artan ilgi ile birlikte bu alanda yapılan çalışmalar da hız kazanmıştır (1).

İnsan zekasını kopyalama potansiyeline sahip olan yapay zeka, endodonti alanı da dahil olmak üzere diş hekimliğinde çeşitli alanlarda uygulanmıştır (2). Diş hekimliğinde patoloji tespitinden, çürük teşhisine, robotik cerrahi ile dental implant yapımından, çapraşık dişlerin ortodontik tedavilerinin planlanmasına kadar farklı alanlarda yapay zeka uygulamaları özellikle son yıllarda oldukça dikkat çekmektedir (3). Yapay zekanın görüntü işleme yöntemleriyle olan uyumu dental radyoloji çalışmalarını ön plana çıkarmıştır. 2 ve 3 boyutlu radyolojik görüntüler üzerinde anatomik yapıların işaretlenmesi, dişlerin sınıflandırılması, dental hastalıkların teşhisi, dişeti hastalıklarının tespiti ve risk gruplarının değerlendirilmesi, sefalometrik analizlerin yapılması, çene radyografilerinde tespit edilebilen osteoporoz gibi bazı hastalıkların teşhisi gibi birçok alanda güncel çalışmalar yapılmaktadır (4).

---

<sup>1</sup> Arş. Gör., Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti AD, mehmet.corak@ksbu.edu.tr

<sup>2</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti AD, arzu.kayamumcu@ksbu.edu.tr

## **DİŞ HEKİMLİĞİNDE YAPAY ZEKA UYGULAMALARI**

### **Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Alanında Yapay Zeka**

Radyografik görüntüler ile hastalarda görülen klinik ve sistemik belirtiler radyografik bulgularla ilişkilendirilmektedir. Ağız, diş ve çenelerde görülen hastalıkların teşhisinde, dişeti hastalıklarında, diş çürüklerinde, enflamatuvar durumlarda, kist ve tümör gibi ağız ile ilişkili hastalıkların değerlendirilmesinde radyografiler oldukça yardımcıdır (5).

Diş hekimliğinde radyografi kullanımının özellikle iki amacı vardır. Bunlardan ilki patolojilerin özelliklerinin tanımlanması ve normal dokulardan ayırt edilebilmesi, ikincisi ise klinik bulgular ile radyografik görüntülerin ilişkilendirilmesi ve ayırıcı tanıların belirlenmesini sağlamaktır. Yapay zeka teknikleri, otomatik olarak radyografik analiz yapılabilmesine karşın ayırıcı tanı ve yorumlama kısmında henüz yeterli değildir (6).

Yapay zeka modelleri ile incelenmek istenen yapıların tespiti, ayırt edilmesi ve sınıflandırılması mümkündür. Böylelikle diş hekimliği radyolojisinde belirli görevlere yönelik pratik ve teorik kullanım alanı bulmuştur. Elde edilen veriler ile pratikte eksik ve yanlış teşhis oranını düşürmekle birlikte hekimin iş yükünü de azaltacağı düşünülmektedir. Aynı zamanda yapay zeka insan gözüne kıyasla daha nitelikli, detaylı ve daha objektif değerlendirmeyi sağlamaktadır (7).

Diş hekimliği radyolojisinde; sefalometrik radyografilerde anatomik landmarkların belirlenmesi, iki ve üç boyutlu radyografilerde diş tespiti ve numaralandırılması (8), dişlerde çürük ve periapikal bölgede patoloji tespitinin yapılması (9), periodontal bölgedeki alveolar kemik kaybının belirlenmesi, dişlerin kök morfolojisinin değerlendirilmesi gibi birçok alanda kullanımı bildirilmiştir (10).

Panoramik radyografiler diş hekimliğinde en yaygın kullanılan radyografik teşhis aracıdır. Panoramik radyografiler ile 2 boyutlu biçimde tüm dişler, çevre destekleyici dokular ve alt-üst çene kemikleri görüntülenmektedir. 2 boyutlu görüntülemeye kaynaklı dokuların görüntülerinde meydana gelen çakışmalar, eksik veya yanlış yorumlamaya sebep olabilmektedir. Bu gibi sorunları çözmek amacıyla yapay zeka çalışmaları yapılmaya başlanmıştır. Araştırmacılar evrimsel sinir ağı (CNN) adı verilen algoritma geliştirmiş ve uzman hekimlere benzer tanı koyan bu sistem ile çenelerde görülen ameloblastoma ve keratokistik odontojenik tümörlerin panoramik radyografilerde tespit edilebilmesi amacıyla çalışmalar yapıldığı bildirilmiştir (11).

Yapay zekadan teşhis amacıyla yararlanılan bir başka konu ise ağız hastalıklarının tespitidir. Ağız kanserleri yerleşimi, tedavisinin güç olması, hayat kalitesini etkilemesi nedeniyle diş hekimlerini teşhis, tedavi, takip yönünden yakından ilgilendiren bir hastalık grubudur. Dünyada her yıl yaklaşık 350.000 kişide görülmekte ve yeni tanı konan bireylerin hemen hemen yarısı 5 yıl içinde yaşamını yitirmektedir. Oral skuamöz hücreli karsinom hastalarının sağ kalım tahmininin derin öğrenme tabanlı model ile yapılan bir çalışmada, cerrahi tedavi alan 255 hastanın prognostik parametreleri kullanılarak 17 yıl boyunca çalışmalar yürütülmüş ve veri seti hazırlanmıştır. Çalışmanın sonucunda klinisyenlere, tedavi seçeneklerini değerlendirme ve gereksiz tedavilerden kaçınma konusunda modelde verilen sağ kalım tahmininin rehberlik edebileceği belirtilmiştir (12).

### **Periodontoloji Alanında Yapay Zeka**

Periodontal hastalıklar agresif kemik yıkımı ve bunu takiben diş kayıplarıyla sonuçlanabilen, yaygın görülen bir hastalık grubunu oluşturmaktadır (13). Periodontoloji ve implantoloji alanındaki birçok çalışmada yapay zeka kullanılmıştır. Periodontitis, gingivitis ve periodontal kemik kaybının tespiti, dental implant sistemlerinin sınıflandırılması veya periodontoloji ve implantolojide tedavi sonuçlarının tahmini başlıca kullanım alanları olmuştur (14).

Alveoler kemik kaybının belirlenmesi ve kemik densitesindeki değişiklikler yapay zeka modelleri aracılığıyla erken olarak tespit edilebilmektedir. Ayrıca implant ve çevre dokular ile ilgili erken müdahale gerekebilecek durumlarda da derin öğrenme yöntemlerinden faydalanılabileceği düşünülmektedir (13).

Nadir görülen mekanik bir komplikasyon olan dental implant fraktürü, panoramik ve periapikal radyografiler üzerinden üç farklı derin öğrenme sistemi ile değerlendirilmiş üç sistemde de %80'in üzerinde bir doğruluk oranı elde edilmiştir (15).

Yapay zeka, implant planlaması alanında da kullanılmaktadır. Yapılan bir çalışmada KIBT görüntüleri üzerinde yapay zeka sisteminin implant planlamasındaki başarısı araştırılmıştır. Yetmiş beş CBCT görüntüsü üzerinde kanalların, sinüs/fossaların ve eksik diş bölgelerinin tespitini gerçekleştirmişlerdir. Sistem, en yüksek oranda (%95.3) eksik diş bölgesi tespitinde olmak üzere başarılı sonuçlar vermiştir (16).

## **Ortodonti Alanında Yapay Zekâ**

Ortodontik teşhisler genellikle ortodontistlerin bir hastaya kapsamlı bir bakış açısıyla teşhis koymasını ve çeşitli özellikleri değerlendirmelerini gerektirmektedir. Bu değerlendirme süreci, tek bir hasta için bile çok zaman almaktadır. Ortodontik bir tanıda ortodontistlerin ağız ve çene bölgesini hedef almak yerine yüzün birden fazla bölümünü farklı açılardan değerlendirerek kapsamlı bir teşhis koymaları gerekmektedir. Bu nedenle, değerlendirme hızını ve doğruluğunu iyileştirmek için tanısız görüntülemeyi otomatikleştirmeye ihtiyaç vardır (17, 18).

Sefalometri, kraniyofasiyal iskeletin morfolojisini ve lateral veya antero-posterior sefalometrik radyograflardan alınan kafatası ölçümlerini ifade eder. Sefalometrik radyografiler geleneksel sefalometride sıklıkla kullanılır, ancak yüksek çözünürlüklü görüntüler sağlayan konik ışınlı bilgisayarlı tomografiden (CBCT) farklı olarak, üç boyutlu uzaydan sadece bir düzlemde (koronal, sagittal veya aksiyal) bilgi sağlarlar. CBCT, ortodontik tanı ve tedavi planlaması için karmaşık maloklüzyonların, oral ve maksillofasiyal lezyonların ve kraniyofasiyal deformitelerin değerlendirilmesinde klinik ve araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. CBCT, geleneksel iki boyutlu X-ray görüntüleriyle ilişkili sınırlamaları doğal olarak ortadan kaldırır ve mükemmel güvenilirlik ve tekrarlanabilirlik ile tedavi planlamasında kesin doğruluk sağlar. Manuel sefalometrik işaretleme ve izleme monoton, zor ve zaman alıcı süreçlerdir. Birçok ortodontist, zaman alıcı manuel işaretleme süreci nedeniyle sefalogramları tercih etmemektedir. Bu nedenle, analiz için uygun maliyetli, hızlı ve otomatik bir 3 boyutlu sefalometrik işaretleme sistemi ile üst üste binen kemik yapıları ve yüz asimetrisi gibi geleneksel sefalogramlar ile teşhis edilmesi zor durumlarda yardımcı olabilmektedir (19-21).

Ortodontik tedavinin en önemli aşamalarından biri tedavi planının belirlenmesidir. Ortodontik tedaviye başlamadan önce diş çekimine karar vermek, geri dönüşü olmayan bir tedavi olduğundan önem taşımaktadır. Ortodontik tedavide diş çekimine karar verilirken öncelikle diş modelleri, sefalometri ve büyüme gibi faktörler göz önünde bulundurulur. Ayrıca bunların yanı sıra ortodontistin klinik deneyimi de diş çekim kararını vermede önemli bir faktördür. Yapılan son çalışmalarda, sinir ağı makine öğrenimi kullanılarak hastanın lateral sefalometrik radyografilerde yüksek güvenilirlikle görüntülenmesi gerektiği bildirilmiştir (22).

Özetle, son zamanlarda yapay zekanın diş hekimliği alanındaki uygulama alanlarının genişlemesi ile yüz tanıma kullanılarak yapay zeka aracılığıyla yüz analizi ve yorumlaması ile yüz değerlendirmesi yapılabilmektedir. Ek olarak, yapay zeka ile ortognatik cerrahi, sabit veya hareketli fonksiyonel apareyler kullanılarak yüzde meydana gelebilecek değişiklikler değerlendirilebilmektedir (23). Buna ek olarak yapay zeka ile yapay sinir ağı modeli kullanılarak premolar dişlerin çekilip çekilmeyeceğini karar verilebilmektedir. Jung ve ark, yapay zekanın ortodontik tedavide diş çekimi kararında, yeni ve güvenilir bir yaklaşım olabileceğini bildirmişlerdir (22). Sonuç olarak, yapay zeka gelecekte özellikle ortodonti başta olmak üzere diş hekimliğinin her alanında fazlaca yerini almaya devam edecektir.

### **Restoratif Diş Hekimliği Alanında Yapay Zekâ**

Florür ve diğer önleyici yöntemlerin gelişimiyle birlikte diş çürüklerinin görülme oranında son dönemlerde azalma olduğu görülmektedir. Böylelikle çürük tespiti zor hale gelmiş ve teşhisi zor ara yüz çürüklerinde bite-wing radyografiler önem kazanmıştır (24). Fakat bite-wing radyografilere rağmen çürük teşhisinin zor olabilmesi nedeniyle bilgisayar destekli programlara talebin arttığı belirtilmektedir (25).

Srivastava ve ark. yaptıkları çalışmada geliştirdikleri yapay zeka modeli ile üç diş hekiminin çürük tanısı koyma performansını kıyaslamışlardır ve otomatik sistemin hekimlerden daha başarılı olduğu sonucunu bildirmişleridir (26). Başka bir çalışmada ise, çürük tespiti üzerine bite-wing radyografilerde derin öğrenme yöntemine dayalı geliştirilen modelin %80 doğruluk oranı ile yüksek bir başarı gösterdiği bildirilmiştir (27).

Askar ve ark. ise, beyaz noktaların tespitinde dental fotoğraflar üzerinde derin öğrenmeye dayalı yöntem geliştirmişler ve bu yöntemin %80'in üzerinde doğruluk gösterdiğini bildirmişlerdir (28). Casalegno ve ark. ise, geliştirdikleri AI modelinde çürüğün otomatik olarak algılanması ve lokalizasyonunun belirlenmesinde transillüminasyon görüntülerini kullanmışlar ve %72.7'lik bir başarı oranı gösterdiğini bildirmişlerdir (29). Lee ve ark. molar ve premolar dişler üzerinde yaptıkları çalışmalarında periapikal radyografilerde çürük tespitini araştırmışlar ve derin öğrenme destekli yapay zeka modellerinin önümüzdeki yıllarda etkili bir çürük teşhis yöntemi olacağını belirtmişlerdir (3).

### **Adli Diş Hekimliği Alanında Yapay Zekâ**

Kimlik tespit çalışmaları açısından adli diş hekimliğinin önemli bir yeri vardır (30). Do Tobel ve ark. yapay zeka ile mandibular üçüncü molar dişlerin gelişimi üzerinden yaş tahmini yapılması üzerine çalışmışlardır ve modelin %51 oranında doğru sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir (31). Patil ve ark. geliştirdikleri yapay zeka modeli ile panoramik radyografilerde cinsiyet tahmini yapmışlar ve geliştirilen sistemin %75 oranında doğru sonuç verdiğini bildirmişlerdir (32).

### **Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi Alanında Yapay Zekâ**

Yapay zeka, Ağız Diş ve Çene Cerrahisi alanında robotik uygulamalar sayesinde popülerlik kazanmıştır. Olası komplikasyonların önüne geçmek amacıyla pre-operatif dönemde, anatomik yapı ve landmarkların detaylı olarak teşhisi ve tespiti yapılabilmektedir. Dolayısıyla hem anatomik yapılar korunup minimal invaziv diş hekimliğine uygun şekilde operasyon yapılmakta hem de operasyon süresi önemli derecede kısalmaktadır (33).

Gömülü üçüncü büyük azı dişlerinin çekimi, çene cerrahisinde yapılan en yaygın uygulamadır. Çoğu zaman hastaların postoperatif şişlik hakkında psikososyal endişeleri vardır ve bu endişeler klinisyenlerin sadece kişisel deneyimlerine dayanarak tahmin edebilir. Çeşitli modeller kullanılarak post-operatif şişlik tahmin edilmeye çalışılmış, ancak hiçbir model evrensel olarak güvenilir bulunmamıştır. Zhang ve ark, gömülü mandibular üçüncü molar dişlerin çekiminden sonra post-operatif şişliğin tahmin edilmesinde yapay sinir ağlarını kullanmış ve bu sistemin yüksek bir doğruluk oranı gösterdiğini bildirmişlerdir (34). Yapılan bir diğer çalışmada ise, yapay zekanın gömülü mandibular üçüncü molar dişlerin çekiminden sonra post-operatif ekstraoral şişliğin tahmininde %98 oranında doğruluk elde edildiği bildirilmiştir (35). Farklı çalışmalarda ise gömülü üçüncü molar dişlerin ramusla ilişkisi, angulasyonu ve mandibular ikinci molara göre derinlik bilgisinin belirlenmesinde de yapay zeka uygulamaları kullanılmıştır (36).

Temporomandibular eklem (TME) düzensizliklerinin teşhisi zor ve kompleks olduğundan, bu düzensizliklerin teşhisinde yapay zekanın etkinliği araştırılmaktadır. Yapılan çalışmalarda, yapay zekanın TME düzensizliklerinin teşhisinde oldukça faydalı ve kullanışlı olduğu belirtilmektedir (34).

### **Ağız Kanserleri ve Yapay Zekâ**

Yapay zeka ile oral mukozada görülen iyi ve kötü huylu lezyonların sınıflandırılması yapılabilmektedir. Şüpheli bölgelerin tespiti ve taranması bu algoritmalar

sayesinde mümkün hale gelmiştir. Özellikle geniş çaptaki ağız taramaları kullanılarak, değerlendirilen popülasyonun ağız kanserlerine yatkınlığını tahmin edebileceği düşünülmektedir (37).

Erken tanı, oral ve orofaringeal skuamöz hücreli karsinom (OPSCC) sonuçlarının en önemli belirleyicisidir, ancak bu kanserlerin çoğu, prognozun kötü olduğu geç dönemde tespit edilebilmektedir (38). Sağlık hizmetlerinin kısıtlı olduğu birçok bölgede yapay zeka destekli yazılımlar ile yapılacak olan taramalar sayesinde morbidite ve mortalite oranlarının düşürüleceği düşünülmektedir (38).

### **Protetik Diş Tedavisi Alanında Yapay Zeka**

Hastalara fonksiyon ve estetik sağlamaya yönelik çalışmaların yapıldığı, diş ve destek dokulardaki eksiklerin giderildiği, çene-yüz bölgesindeki defektlerin protetik materyallerle tamamlandığı diş hekimliği alanıdır. Protetik restorasyonların hazırlık aşamaları yüksek hassasiyet gerektirmekte ve konvansiyonel ya da dijital yöntemler kullanılmaktadır (39).

Sabit protetik restorasyonların üretiminde son yıllarda CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing) yaygın olarak kullanılmaktadır. CAD/CAM protetik parçaların tasarımı ve imalatında bilgisayar becerilerinden faydalanılan bir üretim tekniğini ifade eder (39). Bir araştırma grubu CAD/CAM üretim operasyonunda yapay zeka uygulamalarından faydalanmış ve raporlamıştır. İşlem basamakları ağız içi tarayıcıdan veri alınması, kestirim modelleri kullanılarak verilerin işlenmesi, dental parçaların üretimine uygun model elde edilmesi ve genetik algoritmalar kullanılarak üretimde zaman hatalarının en iyi şekilde optimize edilmesi şeklinde sıralanmıştır (39). Protez üretiminde yapay zeka uygulamaları diş hekimlerine yüz ölçümleri, hasta beklentisi, antropolojik hesaplamalar gibi birçok değişkeni değerlendirerek en uyumlu ve estetik restorasyonu tasarlamasını sağlamaktadır (40).

### **Çocuk Diş Hekimliği Alanında Yapay Zeka**

Bebek, çocuk ve genç erişkinlerde, süt ve daimi dişler ile destekleyici dokuların durumlarıyla ilgilenen diş hekimliği dalıdır. Pedodonti alanında yapay zeka çalışmaları henüz kısıtlı boyuttadır. Teşhis ve tedavinin yanı sıra çocuk diş hekimliğinde davranış yönlendirme, ağrı kontrolü ve ebeveyn eğitimi gibi yönlerde geliştirilmeye açıktır. Yapılan bir çalışmada çocukların ağız sağlığı durumu ve tedavi ihtiyaçlarına yönelik algoritma geliştirilmiş ve anket yoluyla veriler top-

lanmıştır. Algoritma sonuçlarıyla okullarda tarama amacıyla kullanılacak yöntemler önerilmiştir (41). Başka bir çalışmada ise yapay zeka modellerinden faydalanılarak, postoperatif ağrı yönetiminde kişiselleştirilmiş ağrı seviyesini ve analjezi tepkisini tahmin edebilen yazılımlar geliştirilmiştir (42). Engelli bireyler ve iletişim kurmanın zor olduğu çocuklarda AR/VR uygulamalarının, iletişimi kolaylaştırıcı yardımcı araçlar olarak kullanılabileceği bildirilmiştir (42).

### **Endodonti Alanında Yapay Zeka**

Endodonti alanında yapay zeka çalışmaları günümüzde hız kazanmıştır. Pulpal ve periapikal patolojilerin tüm süreçlerini inceleyen endodontide, özellikle kök kanallarında görülen anatomik varyasyonların klinik olarak incelenememesi sebebiyle 3 boyutlu görüntüleme yöntemlerinin ve yapay zekanın kullanımı her geçen gün artmaktadır. Endodontide yapay zekanın kullanıldığı çalışmaların büyük kısmı kök kanal morfolojisinin belirlenmesi ve periapikal lezyon tespiti üzerine yapılmış olmakla birlikte çalışma boyu tespiti, çürük teşhisi, post-op ağrı, vertikal kök kırığı, apikal cerrahi prognozu gibi alanlarda da çalışmalar bulunmaktadır. (Tablo 1. Endodonti Alanında Yapay Zeka Çalışmaları).

### **Periapikal Lezyonların Saptanması**

Panoramik diş radyografilerinde apikal lezyonları tespit edebilmek için yapay zeka modelleri kullanılmıştır. Ekert ve ark. 'nın yaptıkları çalışmalarında, 10 yıldan fazla klinik deneyime sahip diş hekimleri ile yapay zeka modeli karşılaştırılmış ve yapay zeka modelinin panoramik radyografilerde apikal lezyonları saptama konusundaki ayırt edici yeteneklerinin daha fazla olduğunu bildirmişlerdir (43).

Konik ışıklı bilgisayarlı tomografi (CBCT), teşhis ve tedavi planlamasında endodontistler tarafından sıklıkla kullanılmaktadır. İki boyutlu periapikal radyografi ile karşılaştırıldığında, CBCT periapikal lezyonları tespit etmede daha güvenilir sonuçlar vermektedir. Setzer ve ark.'nın yaptıkları bir çalışmada, konik ışıklı bilgisayarlı tomografi (CBCT) görüntülerinin otomatik segmentasyonu ve periapikal lezyonların saptanması amacıyla kullanılan yapay zeka modelinin %93 doğruluk ile periapikal patolojiyi tespit edebildiği bildirilmiştir (44).

Periapikal lezyonları ve/veya semptomları olan dişlerin tanı ve tedavi planlanması klinisyenler için zor olabilmektedir. Apikal periodontitis, radyolüsent çene lezyonlarının yaklaşık %75'ini oluşturan yaygın bir hastalıktır. Erken teşhis, tedavinin başarısını arttırabilmektedir. Endres ve ark. yaptıkları çalışmalarında,



panoramik radyografilerde periapikal radyolusensileri tespit edebilmek amacıyla geliştirilen yapay zeka modelinin 24 ağız, diş ve çene cerrahisi uzmanının tanısıl performansıyla benzer sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir (45).

Bayrakdar ve ark. yaptıkları çalışmalarında, yapay zeka sistemlerinin, panoramik radyografilere dayalı olarak periapikal patolojinin değerlendirilmesini kolaylaştırabileceğini ileri sürmüşlerdir (46). Orhan ve ark, konik ışınli bilgisayarlı tomografi görüntülerinde yapay zeka ile periapikal patolojiyi saptamak amacıyla yaptıkları çalışmalarında, yapay zeka modelinin toplam 153 periapikal lezyondan 142'sini tespit edebildiğini ve periapikal bir lezyonu doğru tespit etme güvenilirliğinin %92,8 olduğunu bildirmişlerdir. Dolayısıyla derin öğrenme yöntemlerine dayalı yapay zeka sistemlerinin, klinik uygulamada CBCT görüntülerinden periapikal patolojiyi saptamada yardımcı bir ajan olarak kullanılabileceği kanısına varılmıştır (47).

### ***Kök Kırıklarının Saptanması***

Vertikal kök kırıkları (VRF), kron/kök kırıklarının %2-5'ini oluşturmaktadır ve kök rezeksiyonu veya diş çekimi ile sonuçlanabilecek ciddi bir komplikasyon olarak kabul edilmektedir. Talwar ve ark. yaptıkları çalışmalarında, CBCT görüntülemenin, dolgunsuz dişlerde VRF'leri saptamada geleneksel radyografilere kıyasla daha iyi olduğunu bildirmişlerdir. Radyografiler ise, kanal tedavili dişlerde CBCT görüntülemesinden daha iyi sonuçlar vermiştir. Geleneksel yöntemlerin VRF'leri doğru bir şekilde tespit edememesi nedeniyle, tanıda kolaylık sağlayabilecek yapay zeka gibi alternatif yöntemler geliştirilmiştir (48).

Son yıllarda, kırığın farklı düzlemlerde değerlendirilmesine olanak sağlayan CBCT, vertikal kök kırıklarının teşhisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, kök kanal dolgu malzemeleri ve metal postların sebep olduğu artefaktlar, vertikal kırıkların CBCT ile teşhisini zorlaştırmaktadır. Johari ve ark., endodontik tedavi görmüş çürüksüz premolar dişlerin periapikal radyografileri ve CBCT görüntülerini kullanarak vertikal kök kırıklarını teşhis edebilmek amacıyla tasarladıkları yapay zeka modelinin %66,67 hassasiyetle vertikal diş kırıklarını tespit edebildiğini bildirmişlerdir (49).

Fukuda ve ark, açıkça görülebilen kırık hatlarına sahip toplam 330 vertikal kök kırığı içeren dişin bulunduğu 300 panoramik görüntüyü inceledikleri çalışmalarında, geliştirilen yapay zeka modelinin 267 dişte vertikal kök kırığını tespit edebildiği ve modelin hassasiyetinin %80,9 olduğu bildirmişlerdir (50).

**Tablo 1. Endodonti Alanında Yapay Zeka Çalışmaları**

Yazar, Yıl, Ülke	Örnek Sayısı	Data	Konu	AI Model	Sonuç
Saghiri ve ark, 2012 (İran)	50 Tek Köklü Diş	Periapikal Radyografi	Çalışma Boyu Tespiti	ANN	Model %96 doğruluk ile çalışma boyunca tespit etmiştir.
Bruellmann ve ark, 2013 (Almanya)	126 Diş	Video	Kök Kanallarının Saptanması ve Sınıflandırılması	AR (Augmented Reality)	Model %94 hassasiyet ile kanal ağzıklarını tespit etmiş olup, %90 doğruluk ile alt ve üst molar dişleri ayırt etmiştir.
Johari ve ark, 2017 (İran)	240 Radyografi	Periapikal ve CBCT	Vertikal Kök Kırığı	PNN	Model %70 doğruluk ile periapikal radyografiler üzerinden, %96,6 doğruluk ile CBCT görüntüleri üzerinden vertikal kök kırığı saptanmıştır.
Lee ve ark, 2018 (Kore)	3000 radyografi	Periapikal Radyografi	Çürük Tespiti	CNN (Google-Net)	Modelin %72,7 doğruluk oranıyla çürük tespiti yapabildiği bildirilmiştir.
Hiraiwa ve ark, 2019 (Japonya)	760 Mandibular 1. Molar Diş	CBCT ve OPG	Kök Anatomisi	CNN	Mandibular 1. molar dişlerin distal kanallarında tek kanal veya ekstra kanallar %86,9 doğruluk ile saptanmıştır.
Ekert ve ark, 2019 (Almanya)	85 hasta 2001 Diş Segmenti	OPG	Periapikal Patoloji	CNN	CNN'lerin panoramik radyografilerde apikal lezyonları saptama konusundaki ayırt edici yeteneğinin klinisyenlere göre daha fazla olduğu bildirilmiştir.
Fukuda ve ark, 2020 (Japonya)	300 Radyografi 330 VKK Bulunan Diş	Periapikal Radyografi	Vertikal Kök Kırığı	CNN	Modelin %80,9 hassasiyetle vertikal kök kırıklarını saptadığı bildirilmiştir.
Mallishery ve ark, 2020 (Hindistan)	500 Kök Kanal Tedavisi Vakası	AAE Endodontik Vaka Zorluk Değerlendirme Formu	Kök Kanal Tedavisi Teşhisi	ANN	Modelin %94,96 hassasiyetle kanal tedavisi teşhisinde başarılı olduğu bildirilmiştir.
Setzer ve ark, 2020 (ABD)	61 Kök Kanalı	CBCT	Periapikal Patoloji	DL (U-Net)	Model %93 doğruluk ile periapikal patolojileri saptanmıştır.
Endres ver ark, 2020 (Almanya)	2902 Radyografi	OPG	Periapikal Patoloji	DL	Model periapikal patolojiyi saptamada 24 ağız, diş ve çene cerrahisi uzmanı ile benzer performans göstermiştir.

<b>Orhan ve ark, 2020 (Türkiye)</b>	109 Hasta 153 Görüntü	CBCT	Periapikal Patoloji	DCNN	Model toplam 153 periapikal lezyondan 142'sini tespit edebilmiştir ve modelin güvenilirliği %92,8 olarak bulunmuştur.
<b>Gao ve ark, 2021 (Çin)</b>	300 Hasta	13 Parametre: cinsiyet, yaş, oral hijyen, diş lokasyonu, diş tipi, ağrı derecesi, perküsyon apeksin radyografik görünümü, vitalite, kök kanal dolgusu, taşkın dolum, eksik dolum	Post-op Ağrı Tahmini	BP Neural Network (Matlab 7.0)	Geliştirilen model ile %95,6 doğruluk oranıyla post-op ağrı tahmini yapılabildiği bildirilmiştir.
<b>Li ve ark, 2021 (Çin)</b>	245 Radyografi	Periapikal Radyografi	Kök Kanal Tedavisi Kalitesi Değerlendirilmesi	CNN (AGMB Transformer)	Modelin kök kanal tedavisi sonrası radyografi değerlendirme sonucunda %90,2 doğruluk gösterdiği bildirilmiştir.
<b>Lin ve ark, 2021 (Çin)</b>	30 Diş	CBCT ve mikroCT	Pulpa odası, Pulpa kavitesi ve Kök kanallarının saptanması	DL (U-Net)	3 Boyutlu rekonstrüksiyon modellerinin endodontik teşhis ve tedaviye katkı sağlayabileceği ileri sürülmüştür.
<b>Sherwood ve ark, 2021 (Hindistan)</b>	135 Mandibular 2. Molar	CBCT	C Şekilli Kanal	DL (U-Net, Residual U-Net, Xception U-Net)	3 farklı mimari arasında C şekilli kanalların saptanması ve sınıflandırılmasında Xception U-Net en iyi sonuçları vermiştir.
<b>Li ve ark, 2022 (Çin)</b>	4129 Görüntü	Periapikal Radyografi	Çürük Tespiti ve Periapikal Patoloji	DL (Res-Net)	Kullanılan modelin %83 hassasiyet oranında çürük tespiti yapılabildiği ve %82 hassasiyet oranında ise periapikal patolojiyi saptayabildiği bildirilmiştir.
<b>Qu Yang ve ark, 2022 (Çin)</b>	178 Hasta 234 Diş	CBCT	Apikal Cerrahi	DL (GBM, RF)	Kullanılan her iki model de %80 doğruluk ile post-op iyileşme ve değişkenler arasındaki ilişkiyi saptamıştır.
<b>Bayraktar ve ark, 2022 (Türkiye)</b>	470 Radyografi	OPG	Periapikal Patoloji	DCNN (U-Net)	Model %92,8 hassasiyet ile periapikal patolojiyi saptamıştır.

### ***Çalışma Boyunun Belirlenmesi***

Çalışma boyunun belirlenmesi kanal tedavisinin başarısını belirleyen en önemli aşamalardan biridir. Yapılan bir çalışmada araştırmacılar çalışma boyunun belirlenmesinde hataları azaltmak amacıyla yeni bir yaklaşım öne sürmüşlerdir. Deney düzeneğinde, çekilmiş dişlere giriş kavitesi açılmış ve bu dişler kadavralardaki çekim soketlerine yerleştirildikten sonra, kanal aleti ile kök ucuna ulaşarak intraoral filmler alınmıştır. Ardından iki endodontist mikroskop ile diş apekslerini, radyografiler ile apikal forameni incelemiş, kanal eğesinin pozisyonuna göre çalışma boyunu “kısa, yerinde ve uzun” olmak üzere üç sınıfa ayırmışlardır. Geliştirilen yapay zeka modelinin dişlerin çalışma boyunu doğru bir şekilde belirlediği bildirilmiştir (51).

### ***Kök Kanal Sistemi Morfolojisinin Belirlenmesi***

Endodonti, pulpal ve periapikal patolojilerin etiolojisinden tedavisine tüm süreçlerini inceleyen diş hekimliği dalıdır. Kanal morfolojileri klinik olarak incelenemediğinden, radyolojik görüntüleme endodontik tedavide oldukça önemlidir. Panoramik radyografiler 2 boyutlu olduğu için bu konuda yetersiz kalmaktadır. Yapılan bir çalışmada, çoğunlukla tek sayıda olan, bazen aksesuar kanal bulundurabilen alt çene 1. molar dişlerin distal kök sayısı incelenmiştir. KIBT görüntüleri altın standart olarak kabul edilmiş, her iki görüntüleme yöntemine ait veri bulunan 760 diş kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan iki yapay zeka modelinin de hem CBCT görüntülerindeki hem de panoramik radyografilerdeki aksesuar kökü ayırt edebilmede yüksek performans gösterdiği bildirilmiştir (52).

Kök kanal girişlerinin belirlenmesi kanal tedavisinin en önemli aşamalarından biridir. Kanal ağızlarının yerlerinin belirlenmesi ve sınıflandırılması için Augmented Reality yönteminin kullanıldığı bir çalışmada, giriş kavitesi açılan çekilmiş dişlerde pulpa tabanları video olarak kaydedilmiş ve kanal ağızlarının segmentasyonunu anatomik bölgede sınırlamak amacıyla renk sınıflandırılması yapılmıştır. Araştırmacılar modelin %94 hassasiyette kanal ağızlarını tespit ettiğini, %90 doğrulukta ise alt ve üst molar dişleri ayırt edebildiğini bildirmişlerdir (53).

Klinisyenlerin teşhis etmekte zorlandığı bir diğer konu ise, periapikal radyografilerde C şeklindeki kök kanal anatomisinin saptanmasıdır. C-şekilli kanal anatomisindeki temel özellik, bukkal veya lingual yöndeki köklerin füzyonu ile ilişkili olarak kök kanallarını birbirine bağlayan bir ağ varlığıdır. C şeklinde-

ki kök kanal sistemlerinin temizlenmesi, şekillendirilmesi ve doldurulması zor olabilmektedir. Dolayısıyla C şeklindeki kök kanal anatomisinin tanımlanması, klinik karar vermeyi ve tedaviyi etkilemektedir. CBCT, kök kanal morfolojisini değerlendirmede kullanılan etkili bir araçtır. Sherwood ve ark., konik ışınli bilgisayarlı tomografi (CBCT) görüntülerinde mandibular ikinci azı dişlerindeki C şeklindeki kanal anatomisini sınıflandırmak amacıyla bir derin öğrenme (DL) modeli geliştirmiş ve U-Net, residual U-Net ve Xception U-Net olmak üzere 3 farklı mimarinin performansını karşılaştırmışlardır. Değerlendirilen bu üç algoritmadan Xception U-Net en iyi performansı göstermiştir. U-Net, test verilerinde en düşük performansı elde etmiştir, yazarlar bunun nedeni olarak U-Net'in Residual U-Net ve Xception U-Net ile karşılaştırıldığında daha az gelişmiş yapısından kaynaklandığını ileri sürmüşlerdir (54).

### ***Apikal Cerrahi Prognozu Tahmini***

Apikal cerrahi, kök kanal tedavisinden sonra apikal periodontitisin devam ettiği durumlarda tedavi seçeneklerinden biridir. Günümüzde ileri teknoloji cerrahi ekipman ve malzemeleri kullanıldığından, endodontik mikrocerrahinin başarı oranı geleneksel cerrahiye göre çok daha fazla oranda artmıştır. Son 5 yılda, çeşitli çalışmalar endodontik mikrocerrahinin başarı oranının %80 ila %94 arasında değiştiğini göstermiştir. Bugüne kadar, endodontik mikrocerrahi sonuçlarını doğru bir şekilde tahmin etmek için yeterli yapay zeka aracı geliştirilememiştir. Qu, Yang ve ark. yaptıkları çalışmada, endodontik mikrocerrahinin prognozunu tahmin edebilmek amacıyla yapay zeka modeli oluşturulmuş ve bu modelin etkinliği araştırılmıştır. Çalışmaya Ocak 2014 ile Ocak 2020 arasında endodontik mikrocerrahi uygulanan 178 hastanın toplam 234 dişi dahil edilmiştir. Tüm cerrahi işlemler iki endodonti uzmanı tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmadaki değişkenler yaş, cinsiyet, diş tipi, kök kanallarının sayısı, lezyon boyutu, kemik defekti tipi, kök dolgu yoğunluğu, kök dolgu uzunluğu, post uzunluğu, ikincil cerrahi ve vaka zorluğu olarak belirlenmiştir. Dişler radyografik olarak, cerrahiden bir yıl sonra CBCT ile değerlendirilmiştir. Dişler iyileşmiş ve iyileşmeyen grup olarak sınıflandırılmış olup, iyileşmeyen grup eksik iyileşme grubu, belirsiz iyileşme grubu ve tatmin edici olmayan iyileşme grubu olmak üzere alt gruplara ayrılmıştır. Çalışmada cinsiyet faktörü iyileşme açısından en önemli belirleyici olarak bildirilmiştir, kadın hastalarda endodontik mikrocerrahi uygulanan erkek hastalara göre daha yüksek başarı oranı elde edilmiştir. Gözlenen farklılıkların, apikal cerrahiden sonra yara iyileşme sürecini potansiyel olarak

etkileyebilecek, antienflamatuar etki ve kemik homeostazının korunmasında önemli bir rolü olan östrojen ile ilgili olabileceği ileri sürülmüştür. Yaş faktörü değerlendirildiğinde ise, genç hastalarda prognozun daha iyi olduğu bildirilmiştir (55).

### ***Postoperatif Ağrı***

Kök kanal tedavisi sonrası postoperatif ağrı oluşumuna neden olan birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörlerin ağrı oluşumuna ne kadar ve ne ölçüde katkıda bulunduğunu belirlemek zor olabilmektedir. Bu nedenle postoperatif ağrı olasılığını sadece klinik deneyimle tahmin etmek güvenilir değildir. Dolayısıyla, doğrusal olmayan bu ilişkiyi bilimsel olarak analiz edebilecek bir hesaplama aracına sahip olmamız gerekmektedir. Yapay sinir ağlarının ana avantajı, istatistiksel modelleme olmadan çok sayıda değişkeni analiz edebilmesidir. Gao ve ark. yaptığı çalışmada, kök kanal tedavisi sonrası postoperatif ağrıyı tahmin edebilmek amacıyla bir yapay sinir ağı modeli oluşturmuş ve bu modelin %95.6 oranında doğruluk gösterdiğini bildirmişlerdir. Bu sinir ağı modeli, kanal tedavisi uygulanan 300 hastanın verilerine dayanarak eğitilmiş ve test edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan BP-ANN, bir tür klasik yapay sinir ağıdır ve beyin sinir sisteminin yapısından esinlenmiştir. Birçok karmaşık hesaplamanın temeli olan BP algoritmasına dayalı makine öğrenimini kullanır. BP-ANN, vücut biyokimyasal indekslerini tahmin etmek ve hastalıkları teşhis etmek, ilaçların sinerjistik etkisini tahmin etmek ve ölçmek ve tedavi sonuçlarını tahmin etmek gibi birçok alanda kullanılabileceği gösterilmiştir (56).

### ***Kök Kanal Tedavisinin Kalitesinin Değerlendirilmesi ve Retreatment***

Tedavinin röntgen üzerinde doğru bir şekilde değerlendirilmesi, kök kanal tedavisinde önemli bir adımdır çünkü tedavi sonuçlarının yanlış yorumlanması, hastaların tedavisi sonrası takip zamanlarını olumsuz etkileyebilmektedir. Li ve ark. yaptıkları çalışmada, kök kanal tedavisi sonrası radyografik değerlendirme amacıyla yapay zekadaki gelişmelerden yararlanarak bu süreci otomatikleştirmeyi planlanmışlardır. Çalışmada, kök kanal tedavisi 245 dişe ait radyografi görüntüsü kullanılmış ve geliştirilen yapay zeka modelinin %90,2 oranında doğruluk gösterdiği bildirilmiştir. Bu çalışma yapay zeka ile kök kanal tedavisini değerlendiren ilk çalışmadır ve endodontistlerin iş yükünü azaltmak için önemli klinik değere sahiptir (57).

Campo ve ark. mevcut kök kanal tedavisini inceleyen vaka tabanlı bir ya-

pay zeka modeli geliştirmişlerdir. Bu sistem ile yapılması planlanan retreatment tedavisinin prognozu konusunda klinisyenin bilgi sahibi olması sağlanmakta ve istatistiksel veriler aracılığıyla vakalarda çekim, takip ve retreatment yapılıp yapılmayacağı konusunda daha sağlıklı teşhis ve tedavi planlaması imkanı sunulmaktadır (58).

### ***Diş Çürüklerinin Teşhisi***

Lee ve ark. diş çürüklerinin tespiti ve teşhisinde diş hekimlerine yardımcı olmak amacıyla geniş bir periapikal radyografi veri kümesi ile elde ettikleri yapay zeka modelinin, premolar ve molar dişlerde diş çürüğünü hassasiyet, özgüllük ve doğrulukla tespit edebildiğini bildirmişlerdir (3). Diğer bir çalışmada ise, kızılötesi transillüminasyon görüntüleme de diş çürüklerini tespit edebilen bir yapay zeka modeli geliştirilmiş ve bu modelin %72,7 oranında doğruluk gösterdiği bildirilmiştir (29).

Li ve ark. yaptıkları çalışmalarında ise hem çürüğü hem de periapikal periodontiti saptamak için değiştirilmiş a Geliştirilen model ile, dişin kron ve kök bölgesinde bulunan çürükleri ve apikal periodontitisi doğru bir şekilde tespit edilebildiği bildirilmiştir (59).

## **SONUÇ**

Yapay zeka, diş hekimlerinin tanı ve teşhisine yardımcı olarak, diş hastalıklarının tedavisi için zamanında ve etkili bir şekilde plan yapmalarına olanak sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, apikal lezyonların tanımlanması, dişlerin sınıflandırılması ve numaralandırılması, diş çürüklerinin, periapikal hastalıkların saptanması gibi endodonti alanında çok sayıda kullanım alanı mevcuttur.

Yapay zeka alanındaki araştırmaların artması ve göreve özgü oluşturulan modellerin sentezlenmesi ile ortaya çıkacak kapsamlı yapay zeka modelleri yakın gelecekte, karar destek sistemleri olarak diş hekimliği klinik pratiğinin vazgeçilmez bir parçası olacağı değerlendirilmektedir. Ancak, rutin klinik uygulamaya yaygın bir şekilde uyarlanmadan önce yapay zekanın güvenilirliği, uygulanabilirliği, yasal ve etik hususları ve maliyet etkinliği ile ilgili performansını değerlendirmek amacıyla daha fazla araştırma yapılması gerektiği ileri sürülmektedir.

Yapay zeka modellerinde kullanılan tüm algoritmaların klinik uygulama için uygun olmayabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Kullanılan analitik

programların farklı klinik senaryoları değerlendirebilmesi için daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir. Genel anlamda bakıldığında ise yapay zekanın endodonti alanında umut vaat edici olduğu ve bununla ilgili gelişmelerin takip edilmesi gerekliliği dikkat çekmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Öztürk K, Şahin ME. Yapay sinir ağları ve yapay zekâ'ya genel bir bakış. *Takvim-i Vekayi*. 2018;6 (2):25-36.
2. Aminoshariae A, Kulild J, Nagendrababu V. Artificial Intelligence in Endodontics: Current Applications and Future Directions. *J Endod*. 2021;47 (9):1352-7. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2021.06.003>
3. Lee J-H, Kim D-H, Jeong S-N et al. Detection and diagnosis of dental caries using a deep learning-based convolutional neural network algorithm. *Journal of dentistry*. 2018;77:106-11. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2018.07.015>
4. Hwang J-J, Jung Y-H, Cho B-H, et al. An overview of deep learning in the field of dentistry. *Imaging science in dentistry*. 2019;49 (1):1-7. <https://doi.org/10.5624/isd.2019.49.1.1>
5. Jha S, Topol EJ. Adapting to artificial intelligence: radiologists and pathologists as information specialists. *Jama*. 2016;316 (22):2353-4. [10.1001/jama.2016.17438](https://doi.org/10.1001/jama.2016.17438)
6. Chan S, Siegel EL. Will machine learning end the viability of radiology as a thriving medical specialty? *The British journal of radiology*. 2019;92 (1094):20180416. <https://doi.org/10.1259/bjr.20180416>
7. Katne T, Kanaparthi A, Gotoor S, et al. Artificial intelligence: demystifying dentistry—the future and beyond. *Int J Contemp Med Surg Radiol*. 2019;4 (4):D6-D9. <http://dx.doi.org/10.21276/ijcmsr.2019.4.4.2>
8. Tuzoff DV, Tuzova LN, Bornstein MM, et al. Tooth detection and numbering in panoramic radiographs using convolutional neural networks. *Dentomaxillofacial Radiology*. 2019;48 (4):20180051. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20180051>
9. Davies A, Mannocci F, Mitchell P, et al. The detection of periapical pathoses in root filled teeth using single and parallax periapical radiographs versus cone beam computed tomography—a clinical study. *International Endodontic Journal*. 2015;48 (6):582-92. <https://doi.org/10.1111/iej.12352>
10. Krois J, Ekert T, Meinhold L, et al. Deep learning for the radiographic detection of periodontal bone loss. *Scientific reports*. 2019;9 (1):1-6.
11. Poedjastoeti W, Suebnukarn S. Application of convolutional neural network in the diagnosis of jaw tumors. *Healthcare informatics research*. 2018;24 (3):236-41. <https://doi.org/10.4258/hir.2018.24.3.236>
12. Kim DW, Lee S, Kwon S, et al. Deep learning-based survival prediction of oral cancer patients. *Scientific reports*. 2019;9 (1):1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43372-7>
13. Lee J-H, Lee J-S, Choi J-K, et al. National dental policies and socio-demographic factors affecting changes in the incidence of periodontal treatments in Korean: a nation-



- wide population-based retrospective cohort study from 2002–2013. *BMC Oral Health*. 2016;16 (1):1-9.
14. Mohammad-Rahimi H, Motamedian SR, Pirayesh Z, et al. Deep learning in periodontology and oral implantology: A scoping review. *Journal of Periodontal Research* 57.5 (2022): 942-951. <https://doi.org/10.1111/jre.13037>
  15. Lee D-W, Kim S-Y, Jeong S-N, et al. Artificial intelligence in fractured dental implant detection and classification: evaluation using dataset from two dental hospitals. *Diagnostics*. 2021;11 (2):233. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11020233>
  16. Kurt Bayrakdar S, Orhan K, Bayrakdar IS, et al. A deep learning approach for dental implant planning in cone-beam computed tomography images. *BMC Medical Imaging*. 2021;21 (1):1-9.
  17. Murata S, Lee C, Tanikawa C, Date S, editors. Towards a fully automated diagnostic system for orthodontic treatment in dentistry. 2017 IEEE 13th international conference on e-science (e-science); 2017: IEEE.
  18. Leonardi R, Giordano D, Maiorana F, et al. Automatic cephalometric analysis: a systematic review. *The Angle Orthodontist*. 2008;78 (1):145-51. <https://doi.org/10.2319/120506-491.1>
  19. Gupta A, Kharbanda OP, Sardana V, et al. A knowledge-based algorithm for automatic detection of cephalometric landmarks on CBCT images. *International journal of computer assisted radiology and surgery*. 2015;10 (11):1737-52. DOI 10.1007/s11548-015-1173-6
  20. Montúfar J, Romero M, Scougall-Vilchis RJ. Automatic 3-dimensional cephalometric landmarking based on active shape models in related projections. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*.2018;153 (3):449.58<https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2017.06.028>
  21. Montúfar J, Romero M, Scougall-Vilchis RJ. Hybrid approach for automatic cephalometric landmark annotation on cone-beam computed tomography volumes. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2018;154 (1):140-50. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2017.08.028>
  22. Jung S-K, Kim T-W. New approach for the diagnosis of extractions with neural network machine learning. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2016;149 (1):127-33. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2015.07.030>
  23. Patcas R, Bernini DA, Volokitin A, et al. Applying artificial intelligence to assess the impact of orthognathic treatment on facial attractiveness and estimated age. *International journal of oral and maxillofacial surgery*. 2019;48 (1):77-83. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2018.07.010>
  24. Le Y, Verdonschot E. Performance of diagnostic systems in occlusal caries detection compared. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*. 1994;22 (3):187-91. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0528.1994.tb01838.x>
  25. Akpata E, Farid M, Al-Saif K, et al. Cavitation at radiolucent areas on proximal surfaces of posterior teeth. *Caries research*. 1996;30 (5):313-6. <https://doi.org/10.1159/000262336>
  26. Srivastava MM, Kumar P, Pradhan L, et al. Detection of tooth caries in bitewing radiographs using deep learning. *arXiv preprint arXiv:171107312*. 2017. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1711.07312>

27. Cantu AG, Gehrung S, Krois J, et al. Detecting caries lesions of different radiographic extension on bitewings using deep learning. *Journal of dentistry*. 2020;100:103425. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2020.103425>
28. Askar H, Krois J, Rohrer C, et al. Detecting white spot lesions on dental photography using deep learning: A pilot study. *Journal of dentistry*. 2021;107:103615. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103615>
29. Casalegno F, Newton T, Daher R, et al. Caries detection with near-infrared transillumination using deep learning. *Journal of dental research*. 2019;98 (11):1227-33.
30. Khanagar SB, Al-Ehaideb A, Maganur PC, et al. Developments, application, and performance of artificial intelligence in dentistry—A systematic review. *Journal of dental sciences*. 2021;16 (1):508-22. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2020.06.019>
31. De Tobel J, Radesh P, Vandermeulen D, et al. An automated technique to stage lower third molar development on panoramic radiographs for age estimation: a pilot study. *The Journal of forensic odonto-stomatology*. 2017;35 (2):42.
32. Patil V, Vineetha R, Vatsa S, et al. Artificial neural network for gender determination using mandibular morphometric parameters: A comparative retrospective study. *Cogent Engineering*. 2020;7 (1):1723783. <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1723783>
33. Widmann G. Image-guided surgery and medical robotics in the cranial area. *Biomedical imaging and intervention journal*. 2007;3 (1). doi: 10.2349/bij.3.1.e11
34. Pereira KR, Sinha R. Welcome the “new kid on the block” into the family: artificial intelligence in oral and maxillofacial surgery. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2020;58 (1):83-4.
35. Zhang W, Li J, Li Z-B, et al. Predicting postoperative facial swelling following impacted mandibular third molars extraction by using artificial neural networks evaluation. *Scientific reports*. 2018;8 (1):1-9. DOI:10.1038/s41598-018-29934-1
36. Yoo J-H, Yeom H-G, Shin W, et al. Deep learning based prediction of extraction difficulty for mandibular third molars. *Scientific Reports*. 2021;11 (1):1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104430>
37. Lim K, Moles D, Downer M, et al. Opportunistic screening for oral cancer and precancer in general dental practice: results of a demonstration study. *British dental journal*. 2003;194 (9):497-502.
38. Ilhan B, Lin K, Guneri P, et al. Improving oral cancer outcomes with imaging and artificial intelligence. *Journal of dental research*. 2020;99 (3):241-8. <https://doi.org/10.1177/0022034520902128>
39. Vera V, Corchado E, Redondo R, et al. Applying soft computing techniques to optimise a dental milling process. *Neurocomputing*. 2013;109:94-104. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2012.04.033>
40. Khanna SS, Dhaimade PA. Artificial intelligence: transforming dentistry today. *Indian J Basic Appl Med Res*. 2017;6 (3):161-7.
41. Wang Y, Hays R, Marcus M, et al. Developing Children’s Oral Health Assessment Toolkits Using Machine Learning Algorithm. *JDR Clinical & Translational Research*. 2020;5 (3):233-43. <https://doi.org/10.1177/2380084419885612>
42. Cote CD, Kim PJ. Artificial intelligence in anesthesiology: Moving into the future. *University of Toronto Medical Journal*. 2019;96 (1).

43. Ekert T, Krois J, Meinhold L, et al. Deep learning for the radiographic detection of apical lesions. *Journal of endodontics*. 2019;45 (7):917-22. e5. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.03.016>
44. Setzer FC, Shi KJ, Zhang Z, et al. Artificial intelligence for the computer-aided detection of periapical lesions in cone-beam computed tomographic images. *Journal of endodontics*. 2020;46 (7):987-93. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2020.03.025>
45. Endres MG, Hillen F, Salloumis M, et al. Development of a deep learning algorithm for periapical disease detection in dental radiographs. *Diagnostics*. 2020;10 (6):430. <https://doi.org/10.3390/diagnostics10060430>
46. Bayraktar IS, Orhan K, Çelik Ö, et al. A U-Net Approach to Apical Lesion Segmentation on Panoramic Radiographs. *BioMed Research International*. 2022;2022. <https://doi.org/10.1155/2022/7035367>
47. Orhan K, Bayraktar IS, Ezhov M, et al. Evaluation of artificial intelligence for detecting periapical pathosis on cone-beam computed tomography scans. *Int Endod J*. 2020;53 (5):680-9. <https://doi.org/10.1111/iej.13265>
48. Talwar S, Utneja S, Nawal RR, et al. Role of cone-beam computed tomography in diagnosis of vertical root fractures: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Endodontics*. 2016;42 (1):12-24. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.09.012>
49. Johari M, Esmaili F, Andalib A, et al. Detection of vertical root fractures in intact and endodontically treated premolar teeth by designing a probabilistic neural network: an ex vivo study. *Dentomaxillofacial Radiology*. 2017;46 (2):20160107. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20160107>
50. Fukuda M, Inamoto K, Shibata N, et al. Evaluation of an artificial intelligence system for detecting vertical root fracture on panoramic radiography. *Oral Radiol*. 2020;36 (4):337-43.
51. Saghiri MA, Asgar K, Boukani K, et al. A new approach for locating the minor apical foramen using an artificial neural network. *International endodontic journal*. 2012;45 (3):257-65. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2011.01970.x>
52. Hiraiwa T, Arijji Y, Fukuda M, et al. A deep-learning artificial intelligence system for assessment of root morphology of the mandibular first molar on panoramic radiography. *Dentomaxillofacial Radiology*. 2019;48 (3):20180218. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20180218>
53. Bruellmann D, Tjaden H, Schwanecke U, et al. An optimized video system for augmented reality in endodontics: a feasibility study. *Clinical oral investigations*. 2013;17 (2):441-8.
54. Sherwood AA, Sherwood AI, Setzer FC, et al. A Deep Learning Approach to Segment and Classify C-Shaped Canal Morphologies in Mandibular Second Molars Using Cone-beam Computed Tomography. *Journal of Endodontics*. 2021;47 (12):1907-16. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2021.09.009>
55. Qu Y, Lin Z, Yang Z, et al. Machine learning models for prognosis prediction in endodontic microsurgery. *Journal of Dentistry*. 2022;118:103947. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.103947>
56. Gao X, Xin X, Li Z, et al. Predicting postoperative pain following root canal treatment by using artificial neural network evaluation. *Scientific reports*. 2021;11 (1):1-8.

57. Li Y, Zeng G, Zhang Y, et al. Agmb-transformer: Anatomy-guided multi-branch transformer network for automated evaluation of root canal therapy. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*. 2021;26 (4):1684-95. DOI: 10.1109/JBHI.2021.3129245
58. Campo L, Aliaga IJ, De Paz JF, et al. Retreatment Predictions in Odontology by means of CBR Systems. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2016;2016. <https://doi.org/10.1155/2016/7485250>
59. Li S, Liu J, Zhou Z, et al. Artificial intelligence for caries and periapical periodontitis detection. *Journal of Dentistry*. 2022;122:104107. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104107>