



The Journal of Turkish Dental Research
Türk Diş Hekimliği Araştırma Dergisi

e-ISSN: 2822-4310, Cilt 2, Sayı 3, Eylül - Aralık 2023
Volume , Number 3, September - December 2023

Yapay Zekânın Diş Hekimliği Pratiğine Kazanımları

Benefits of Artificial Intelligence to Dental Practice

Yapay Zeka ve Diş Hekimliği

Cihan AKDOĞAN¹, Hatice ÖZDEMİR²

¹Dt, Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Ana Bilim Dalı
Erzurum, Türkiye
dt.cakdogan@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7209-8487

²Doç. Dr., Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Ana Bilim Dalı
Erzurum, Türkiye
dentist_hatice@hotmail.com
ORCID: 0000-0001-8512-0471

Makale Bilgisi / Article Information
Makale Türü / Article Types: Derleme / Review
Geliş Tarihi / Received: 20-06-2023
Kabul Tarihi / Accepted: 27-12-2023
Yazar Katkı Oranları: %50¹ -%50²

Çıkar Çatışması Beyanı: "Yapay Zekâ' nın Diş Hekimliği Pratiğine Kazanımları" derlememiz ile ilgili herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile mali çıkar çatışması yoktur ve yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Yıl / Year: 2023 | **Cilt – Volume:** 2 | **Sayı – Issue:** 3 | **Sayfa / Pages:** 278-287

Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Cihan AKDOĞAN

<https://doi.org/10.58711/turkishjdentres.vi.1296215>

Yapay Zekânın Diş Hekimliği Pratiğine Kazanımları

Benefits of Artificial Intelligence to Dental Practice

ÖZET

Bilim ve mühendislikteki en yeni alanlardan biri olan “yapay zekâ” insanlar gibi düşünmeye ve hareketlerini taklit etmeye programlanmış makinelerde insan zekasının simülasyonunu ifade etmektedir. Yapay zekâ tıp ve diş hekimliğine uygulandığında hasta bakımını iyileştirmek ve sağlık alanında devrim yapmak için muazzam bir potansiyele sahiptir. Yapay zekâ algoritmalarının veri analizindeki güçlü yetenekleri sayesinde diş hekimliğinde normal ve anormal yapıların tanımlanması, teşhisin doğruluğunu ve etkinliğini artırması, tedavi için görselleştirilmiş anatomik rehberlik sağlaması, ileriye dönük sonuçları tahmin etmesi ve değerlendirmesi beklenmektedir. Bu derlemenin amacı, günümüzde gelişmekte olan teknolojiyle birlikte daha da önem kazanmış olan yapay zekânın diş hekimliğinde uygulama alanlarını açıklamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Derin öğrenme, Diş hekimliği, evrişimli sinir ağları, Yapay zekâ

ABSTRACT

One of the newest fields in science and engineering which is “Artificial intelligence”, refers to the simulation of human intelligence in machines that are programmed to think like humans and mimic their actions. Artificial intelligence has tremendous potential to improve patient care and revolutionize the health care field when applied to medicine and dentistry. Owing to the powerful capabilities of artificial intelligence algorithms in data analysis, it is expected to identify normal and abnormal structures, increase the accuracy and efficiency of diagnosis, provide visualized anatomical guidance for treatment, and predict and evaluate prospective results, in dentistry. The purpose of this review is to explain in dentistry, the application areas of artificial intelligence which has gained more importance with the developing technology today.

Keywords: Deep learning, Dentistry, Convolutional neural networks, Artificial intelligence

Giriş

Bilim dünyasında, araştırmacılar ve teknoloji uzmanları birbirleriyle bağlantılı ve tüm vücuda sinyaller ileten bir nöronlar labirenti olan insan beyninin karmaşıklığını çözmeye çalışmaktadırlar. Tıpkı insan beyni gibi taklit edecek bir model tasarlamak, bilim camiası için çözülmesi gereken büyük bir bilmece olarak kalmıştır. Son yıllarda araştırmacıların sıkı çalışmalarının sonucu “Yapay zekâ (AI)” evrimi ile sonuçlanmıştır.¹ AI, insanoğlunun görevini makine ve teknoloji yardımıyla yerine getirmesini ifade eden genel bir terimdir.²

Yapay zeka, ilk olarak 1956’da John McCarthy tarafından tanımlanan uygulamalı bilgisayar biliminin bir dalıdır.³ Yapay zeka akıllı davranışı, eleştirel düşünmeyi ve insanlara benzer karar vermeyi simüle etmek için bilgisayar teknolojisini kullanan “dördüncü sanayi devrimi” olarak tanımlanmıştır.^{4,5} Belirli bir görevi gerçekleştirmek için tasarlanmış bir dizi işlem olarak da tanımlanmıştır. Eskiden akıllı sistemlere, çözmeleri gereken belirli görevler konu uzmanları tarafından manuel olarak girildiği bilinmektedir.⁶ Günümüz dünyasında yapay zekâ, problem çözme gibi insan bilişsel becerilerini taklit edebilen herhangi bir makine veya teknolojiyi ifade etmektedir. Yapay zekayı anlamak için;

1. Makine öğrenimi

2. Sinir ağları

3. Derin öğrenme gibi temel kavramları bilmek önemlidir.^{7,8}

Makine öğrenimi, belirgin bir şekilde programlanmadan algoritmalar oluşturarak veriler aracılığıyla otomatik öğrenme yeteneğini geliştiren, AI’nın alt grubudur. Böylece birinci hedefi insan yardımı olmadan otomatik öğrenmeye izin vermektir.^{2,6,9} Makine öğrenimi algoritmaları, elle girilmiş çok sayıda veriyi inceleyerek veya öğrenerek doğru spesifik bir cevap vermek üzere eğitilmiştir. Bu, bilgisayarın veriler (input) ve çıktı (output) arasındaki uygunluğu elde etmek için algoritma içindeki parametreleri ayarlayarak doğru bir şekilde genelleştirmesini sağlamaktadır.^{10,11} Yapay zekanın temelini algoritmalar oluşturmaktadır. Algoritma basitçe bir matematik problemini çözmek için belli tekrarlardan oluşan bir çözüm yoludur. Basitçe tanımlamak gerekirse, makine öğrenimi, bir algoritmanın excel çizelgeleri, resimler vb. verileri aldığı ve daha sonra verileri, istenen görevi çö-

mek için özel olarak geliştirilen önceden belirlenmiş bir yola (yapay sinir ağı) göre inceler.¹²

Sinir ağları, insan sinir ağlarına benzeyen ve matematiksel doğrusal olmayan bir modelde insan beynini taklit eden yapay nöronlar kullanılmaktadır. Sinir ağları, problem çözme, öğrenme ve karar vermeyi içeren insan düşünme yetenekleri gibi bilişsel becerileri simüle edebilir.⁹ Bir sinir ağı, giriş katmanı (bilginin sisteme girdiği yer), gizli katman (verilerin işlendiği yer) ve çıkış katmanı (sistemin ne yapacağına karar verdiği yer) olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır.^{6,9} Bir dizi matematiksel model verildiğinde, sinir ağları herhangi bir girdiyi bir çıktıya aktarabilmektedir. Yeterince büyük miktarda veri mevcutsa, bu tür sinir ağları sağlanan verilerin içsel istatistiksel rakamlarını temsil edecek şekilde eğitilebilmektedir. En yaygın kullanılan sinir ağları türleri yapay sinir ağları, evrişimli sinir ağları ve tekrarlayan sinir ağlarıdır.^{7,13-15}

Derin öğrenme ise, bilgisayarın verileri nasıl işleyeceğini kendi kendine öğrendiği sinir ağlarının bir parçasıdır.⁹ Derin öğrenme, makine öğreniminin bir alt dalıdır ve birbirine bağlı ve tek başına anlam ifade etmeyen veriler halinde katmanlara ayrılmış, çok sayıda algoritma katmanından oluşmaktadır.^{1,16} Her değerlendirme farklı bir katmanda gerçekleştirilir, yani bir önceki katmanın çıktısına dayalıdır. Bu hesaplama katmanlarına, girdileri ve çıktıları görülemediği için gizli katmanlar adı verilmektedir. Örneğin, girilen veri polip arayan bir kolonoskopi görüntüsü ise öncelikle görüntü çarpılacaktır. Daha sonra her görüntü farklı filtreler kullanılarak taranacaktır. Her filtre, daha sonra başka bir filtre katmanına aktarılacak bir puan alacaktır (örneğin, renk filtreleri, kenar işaretleme filtreleri vb.). Bu iş akışı, gerektiğinde birden fazla katmanla devam eder her filtre, nihai bir sonuç elde edilene kadar bir sonraki katmanın giriş puanı olan bir çıktı puanı oluşturur.¹²

Tıp ve diş hekimliğinde yapay sinir ağının en yaygın kullanılan alt sınıflarından biri, evrişimli sinir ağıdır. Bir evrişimli sinir ağı; ses, görüntü ve video gibi dijital sinyalleri işlemek için özel bir nöron bağlantı mimarisi ve matematiksel işlem kullanılmaktadır. Evrişimli sinir ağları, daha geniş bir görüntüyü veya sinyali analiz etmek için bir seferde küçük bir girdiyi soldan sağa ve yukarıdan aşağıya taramak için kayan bir pencere kullanılmaktadır.⁶

Yapay zeka uygulamalarıyla ilgili çalışmalarda sağlık hizmetlerinde kalite ve verimliliğin arttığı, maliyetlerin azaldığı, insan/sistem kaynaklı hataların azaldığı gösterilmiştir. Ayrıca zaman tasarrufu sağlaması, manuel ve beceri isteyen birçok işi otomatize ederek standardize edilmesini sağlaması, iş yükünü azaltması gibi avantajları da bildirilmiştir. Öte yandan algoritmayı geliştiren mühendislerin yeterli tıbbi bilgiye sahip olmaması, algoritmayı kullanacak radyoloğun konuya hâkim olmaması yanlış kullanım ve yorumlamaya bağlı hatalara sebep olabileceğinden multidisipliner çalışma gerektirmesi, görüntü analizi için çok sayıda veri gerektirmesi, klinik ilaç tedavisi uygulamalarında henüz çok somut örneklerin olmaması, ahlaki ve etik boyutu ile ilgili belirsizliğin olması gibi dezavantajları da bulunmaktadır.¹⁷

Yapay zekâ, tıp ve diş hekimliği alanlarına uygulandığında teşhis doğruluğunu iyileştirmede ve bakımda devrim yaratmada çok önemli bir rol oynayabilmektedir. Yapay zekâ, şu anda diş hekimliğinde normal ve anormal yapıların tanımlanması, hastalıkların teşhisi ve tedavi sonuçlarının tahmini gibi çeşitli amaçlara hizmet etmektedir. Ayrıca, AI diş laboratuvarlarında yaygın olarak kullanılmaktadır ve diş hekimliği eğitiminde büyüyen bir rol oynamaktadır.⁶ Bu derlemenin amacı, günümüzde gelişmekte olan teknolojiyle birlikte daha da önem kazanmış olan yapay zekanın diş hekimliğinde uygulama alanlarını incelemektir.

Diş Hekimliğinde Yapay Zekâ Uygulama

Alanları

Ağız, Diş ve Çene Radyolojisi Alanında

Yapay Zekâ

Yapay zeka ve evrimsel sinir ağlarının diş hekimliği radyolojisinde; radyografilerin otomatik olarak yorumlanması, görüntü analizi, diş tespit ve segmentasyonu, kemik kalitesinin (osteoporoz) değerlendirilmesi, diş çürüğü ve periapikal patoloji tespiti, dişlerin kök morfolojisinin değerlendirilmesi, sefalometrik radyografilerde anatomik landmarkların belirlenmesinde ve görsel yorumlama ile fark edilemeyecek görüntülerdeki anormalliklerin belirlenmesinde kullanıldığı bildirilmiştir.^{10,18-20}

Radyolojik görüntülerdeki süperpoze alanlar ve düşük kontrast nedeniyle radyolojik görüntülerde bazen fark edilmeyen proksimal çürükler ve periapikal patolojiler için AI kullanılmıştır.²¹ Ayrıca periapikal radyog-

rafilerde geliştirilen evrimsel sinir ağı yöntemi ile diş çürüklerini sınıflandırmasının yanı sıra tespit etmede de iyi sonuçlar elde edilmiştir.^{22,23} Bununla birlikte, radyoloji alanında periodontal kemik kaybı tespitinde de yapay zeka algoritmaları kullanılmıştır. Radyoloji alanında yapay zekânın bir diğer kullanım alanı da maksiller sinüs patolojilerinin teşhisidir. Yapay zeka algoritmalarının maksiller sinüzit teşhisinde diş hekimlerine tanısız destek sağlayabileceğini belirtmişlerdir.²⁴ Ayrıca Flores ve ark.²² ve Okada ve ark.²³, evrimsel sinir ağı kullanarak konik ışıklı bilgisayarlı tomografide dental granülom ve radiküler kisti otomatik olarak ayırt etmek için bilgisayar destekli tanı geliştirmişlerdir.

Ortodonti Alanında Yapay Zekâ

Yapay zekâ, ortodonti alanında tedavi planlaması, anatomik analizler, büyüme gelişmenin değerlendirilmesi ve tedavi sonuçlarının değerlendirilmesi gibi birçok alanda yerini almıştır.²⁵⁻²⁸ Ortodontik çekime karar vermek, tedavinin prognozu üzerinde büyük etkisi olan en önemli ve kritik kararlardan biridir. Diş çekimi işlemi geri döndürülemez olduğu için çok önemli kabul edilmektedir. Klinisyenin kararı klinik bilgisine, uzmanlığına ve tanısız testlerin sonuçlarına dayanmaktadır.²⁹ Son yıllarda AI teknolojisi, ortodontik çekim ihtiyacına karar vermek için kullanılmıştır. Ortodontik tedaviden önce çekimlerin gerekli olup olmadığına karar vermek için Yapay zeka modeli kullanılan bir çalışmada, modelin %80 doğrulukla çekim kararı vermede etkili bir araç olduğu kanıtlanmıştır.³⁰ Bununla birlikte, Leonardi ve ark.³¹ hücrel sinir ağlarına dayalı çalışmada sefalometrik radyografilerde sefalometrik landmarkları bulmadaki doğruluğu değerlendirilmiştir ve model tatmin edici sonuçlar göstermiştir. Ayrıca Auconi ve ark. çalışmalarında sınıf III hastalarda tedavi sonuçlarını tahmin etmek için bir model geliştirmişlerdir ve bu modelin tedavi sonucu riskini tahmin etmek için faydalı olabileceğini bildirmişlerdir.²⁵ Büyüme ve gelişmenin değerlendirilmesi ve/veya büyüme modellerinin değerlendirilmesi ile ilgili olarak Spampinato ve ark. iskelet kemik yaşını otomatik olarak değerlendirmek için çeşitli derin öğrenme yaklaşımları önermiş ve test etmişlerdir. Sonuçlar, manuel ve otomatik değerlendirme arasında ortalama 0,8 yıllık bir farklılık göstermiştir ve yazarlara göre son teknoloji performans güvenilirliği olarak kabul edilmiştir.²⁸

Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi Alanında Yapay Zekâ

Literatürde, sinir ağlarının ağız, diş ve çene cerrahisinde yaygın olarak kullanıldığı bildirilmiştir. Sinir ağları tarafından yapılan simülasyonlar, cerrahlar, ortodontistler ve hastalar için tedavi planlarını iyileştirmede yardımcı olabilmektedir.⁹ Cerrahi işlemlerde alt üçüncü molarların çekimi en yaygın işlemlerden biridir. Mandibular yirmi yaş diş çekimi sonrası sinirin parestезisi yaygın bir komplikasyondur.³² Kim ve ark.³² çalışmasında alt üçüncü molar çekiminin alveolar sinirin parestезisine yol açıp açmayacağını tahmin etmek için evrişimli sinir ağı kullanılmıştır. Buna ek olarak AI teknolojisi gömülü diş çekimi sonrası oluşacak ödemi tahmin etmek için de kullanılmıştır.³³ Evrişimli sinir ağlarının baş ve boyun kanseri lezyonlarının teşhisi sürecinde umut verici bir yardımcı olduğu gösterilmiştir.^{34,35}

Patcas ve ark.³⁶ çalışmalarında evrişimli sinir ağları kullanılarak ortognatik cerrahinin yüz estetiği ve yaş görünümü üzerindeki etkisinin analiz edilebileceği gösterilmiştir. Aynı yazar başka bir çalışmada, yarık dudak ameliyatı geçirmiş hastaların yüz estetiğini değerlendirmek için evrişimli sinir ağının yararlı bir araç olabileceğini bildirmiştir.³⁷

Çene cerrahisi alanında sinir ağlarının kullanıldığı bir diğer alan ise implantolojidir. Panoramik radyograflarda dental implant markalarını belirlemek ve tedavi aşamasını belirlemek için evrişimli sinir ağları kullanılabilir.³⁸ Ek olarak literatürde osteointegrasyonun kalitesinin değerlendirilmesinde ve implant çevresi kemik kaybını ölçmek için de evrişimli sinir ağlarının kullanıldığı gösterilmiştir.^{39,40} Ayrıca, konik ışıklı bilgisayarlı tomografi görüntülerinin kullanımı ile dental implantlarının tedavi planlaması AI sistemleri tarafından kolaylaştırılabilir.⁴¹

Yapay zeka alanında robotik sistemlerin gelişmesiyle çene cerrahisi alanında; kemik yüzeylerinin frezelenmesi, osteotomi kesilerinin hazırlanması, osteosentez plaklarının seçilmesi ve ortognatik cerrahi planlanması için robotik cerrahi teknikler kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca yarık damak onarımında robotik sistemlerin kullanılmasıyla sinir hasarı riskinin azaldığı ve ikinci cerrahi operasyon riskini azalttığı bildirilmiştir.⁴²

Periodontoloji Alanında Yapay Zekâ

Periodontitis, dünya çapında milyarlarca insanı ilgilendiren ve tedavi edilmediği takdirde dişlerde mobili-

teye ve ciddi vakalarda diş kaybına neden olan yaygın bir hastalıktır. Periodontitis yönetmek için hastalığın erken teşhisi ve etkili tedavisi gerekmektedir.⁹ Teşhisteki hataları en aza indirmek için bazı yazarlar sinir ağlarını kullanmışlardır. Krois ve ark.⁴³ panoramik radyograflerde periodontal kemik kaybının teşhisi için evrişimli sinir ağlarının tanısal etkinliğini değerlendirmişlerdir ve altı deneyimli diş hekimiyle karşılaştırmışlardır. Periodontal kemik kaybının teşhisinde evrişimli sinir ağının diş hekimlerinden daha yüksek doğruluk ve güvenilirlik sağladığını göstermişlerdir. Bununla birlikte Lee ve ark.⁴⁴ periodontal hasarlı dişlerin teşhisinde evrişimli sinir ağını kullanmışlardır ve diş çekimi kararında premolar dişler için %82,8, molar dişler için %73,4 doğruluk oranı bildirmişlerdir. Öte yandan Papantonopoulos ve ark.⁴⁵ hastaları immün yanıt profillerine göre agresif periodontitis ve kronik periodontitis olarak sınıflandırmada yapay sinir ağlarının etkinliğini değerlendirmişler ve %90-98 doğruluk oranı bildirmişlerdir. Ayrıca evrişimli sinir ağlarının periimplantitis şiddetini ve implant çevresi kemik kaybı oranını değerlendirmede de kullanılabileceği belirtilmiştir.⁴⁶ Sinir ağlarının kullanıldığı bir diğer çalışmada ise radyografik kemik kaybı değerlendirilmiştir ve periodontitis ve periimplant hastalıkları ve koşullarının sınıflandırılmasına ilişkin 2017 dünya çalıştayında önerilen yeni kriterlere göre periodontitis evrelemesi için otomatik bir yöntem geliştirmişlerdir. Periodontal kemik seviyesini, mine-sement birleşimi seviyesini ve dişleri saptamak için panoramik görüntüler ve evrişimli sinir ağını kullanmışlar ve periodontal kemik kaybının otomatik teşhisinde ve periodontitisin evrelendirmesinde yüksek doğruluk ve mükemmel güvenilirlik bildirmişlerdir.⁴⁷

Periodontoloji alanının önemli konularından biri ağız hijyeninin geliştirilmesidir. Bu konuda yapay zeka tabanlı robotik sistemle diş fırçalama etkinliğinin manuel diş fırçalama etkinliğiyle karşılaştırıldığı in vitro çalışmada robotik fırçalamanın diş plağını uzaklaştırmada manuel fırçalamayla karşılaştırılabilir bir teknik olduğu hatta manuel diş fırçalamanın yerini alabileceği bildirilmiştir.⁴⁸

Endodonti Alanında Yapay Zekâ

AI endodonti alanında giderek önem kazanmaya başlamıştır. Periapikal lezyonların ve kök kırıklarının tespitinde kök kanal anatomisinin değerlendirilmesinde, dental pulpa kök hücrelerinin canlılığının tahmin edilme-

sinde, kanal boyu belirlenmesinde ve retreatment tedavisi prosedürlerinin başarısının tahmin edilmesinde faydalı olduğu bildirilmiştir.⁵ Kanal tedavisinin başarısı, esas olarak kanal boyunun belirlenmesine bağlıdır. Tedavinin prognozu ancak enstrümantasyon apikal daralmada sona erdiğinde sağlanabilir.⁴⁹ Saghiri ve ark.⁵⁰ kanal boyu belirlemede yapay sinir ağı sistemini kullanmışlardır. Kanal boyu belirlemede, endodontistler dişlerin %76'sında doğru, yapay sinir ağı sistemi ise %96 oranında doğru belirlemiştir. Aynı yazarların bir diğer çalışmasında da minör apikal foramenleri bulmak için yapay sinir ağını kullanmışlar ve %93 doğruluk oranı bildirmişlerdir.⁵¹ Öte yandan Ekert ve ark.⁵² panoramik radyografide evrişimli sinir ağı kullanarak periapikal lezyonları değerlendirmişlerdir ve radyografik görüntü oluşturma süreci nedeniyle farklı diş tiplerinin farklı şekillerde değerlendirilmesinin zor olduğu sonucuna varmışlardır. Bu nedenle sinir ağı tarafından periapikal lezyon tespitinin sonuçları tatmin edici olmasına rağmen, tanı belirsiz olabilir. Bununla birlikte dikey kök kırıklarının teşhisinde evrişimli sinir ağını kullanan Fukuda ve ark.⁵³ oldukça tatmin edici sonuçlar elde etmiştir.

Mandibular birinci molar dişin distalinde ekstra kök bulunması endodontik tedavinin başarısını direkt etkileyebilmektedir. Bu nedenle Hiraiwa ve ark.⁵⁴ panoramik radyografide mandibular birinci molar dişlerin kök morfolojisinin sınıflandırılması için bir derin öğrenme sisteminin tanısal performansını değerlendirmişlerdir ve derin öğrenmenin distal kökte ekstra kök varlığını belirlemede %86,9 oranında tanısal doğruluğa sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Protetik Diş Tedavisi Alanında Yapay Zekâ

Yapay zeka modelleri, diş preparasyonlarının bitiş çizgisinin planlanması veya bilgisayar destekli tasarım (CAD) yöntemleri kullanılarak diş restorasyonlarının otomatik tasarımı için diş anatomisi seçimine yardımcı olmak gibi farklı protetik uygulamalar için kullanılmıştır. Ek olarak, metal bir alt yapının başarılı bir şekilde dökümü için optimal parametreleri tahmin etmek veya diş rengi seçiminde ve renk eşleştirmesini gerçekleştirmek için önerilen bir porselen seçimi sağlamak için AI modelleri geliştirilmiştir.⁵⁵⁻⁶⁰ Bununla birlikte protetik diş tedavisi estetik beklentinin yüksek olduğu bir alandır ve yapay zeka uygulamaları ile yüz bölgesinde ölçümler ve ant-

ropolojik hesaplamalar yapılarak estetik beklentinin karşılanabileceği bildirilmiştir.⁶¹ Günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlanan dijital gülüş tasarımı tekniğinde de yapay zeka kullanılarak yüz ve ağız içi görüntülerini otomatik olarak entegre eden bir sistem geliştirilmiştir ve bu sistemin görüntü entegrasyon sürecini kolaylaştırdığı belirtilmiştir.⁶²

Wang ve ark.⁶³ güvenli ve doğru üç boyutlu (3D) diş ablasyonu hazırlamak için robotik ve lazer teknolojisini birleştiren bir sistem geliştirmişlerdir. Bu sistem yüksek hız ve doğrulukta kuron hazırlamayı hedefleyen üç boyutlu harekette lazer odağını kontrol etmek için geliştirilmiştir. Ablasyonun deneysel sonuçları, robotik sistemin hareket aralığının ve çözünürlüğünün, diş kronu hazırlığı için tipik diş operasyonlarının gereksinimlerini karşılayabildiğini göstermiştir. Ayrıca diş şekli ve preparasyon açısındaki hatalar klinik kron preparasyonunun gereksinimlerini karşılayabilmiştir. Zhang ve ark.⁵⁹ dişlerde preparasyon sonrası marjinal bölgenin özelliklerini öğrenen ve marjin çizgisini otomatik olarak belirleyen evrişimli sinir ağlarına dayalı diş preparasyonları için segmentasyon ağ yapısı tasarlamışlardır ve tasarlanan bu ağ yapısı ile %97,43'lük başarı bildirmişlerdir. Bununla birlikte Otani ve ark.⁶⁴ porselen laminate veneerler için otomatik robotik diş hazırlama sisteminin doğruluk ve hassasiyetini bir in vitro çalışma yaparak değerlendirmişlerdir. Yapılan çalışmaya göre preparasyonu yapılan dişlerin tüm alanlarında otomatik robotik diş hazırlama sistemi, diş modelini geleneksel preparasyon yöntemi kadar doğru ve hassas bir şekilde hazırlamıştır. Otomatik robotik diş hazırlama sistemi bitiş çizgisinde önemli ölçüde daha iyi doğruluk ve hassasiyet göstermiştir.

Takahashi ve ark.⁶⁵ hareketli bölümlü protezler için bir yapay zeka sistemi geliştirmişlerdir. AI kullanarak hareketli bölümlü protezleri tasarlarken, bilgisayarın tahminleri formüle etmek için dental ark ve kalan dişler hakkında bilgi edinmesi gerekmektedir. Geliştirdikleri AI sisteminde tanısal doğruluk maksilla için %99,5 ve mandibula için %99,7 olduğu belirtilmiştir. Ayrıca; tüm dental arklarda doğru tahmin yüzdesinin %95'in üzerinde olduğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte Xiao ve ark.⁶⁶ 3D baskı kullanılarak yumuşak doku protezlerinin üretimi için bir renk reproduksiyon sistemi geliştirmişlerdir ve bir grup insan ten rengi kullanılarak renk

reproduksiyonundaki performansı değerlendirmişlerdir. Ayrıca bu çalışmada sırasıyla renk gamı ve renk çıktısının tutarlılığını gösteren renk kapasitesi ve tekrarlanan bilirlilik hatası dikkate alınarak renk performansının kabul edilebilir olduğu bildirilmiştir. Hareketli protezlerde AI'nın uygulandığı bir diğer çalışmada ise total protezlerde dental arkın otomatik oluşturulmasında robotik bir sistem denenmiştir ve hastanın ark parametrelerine göre hastaya uyacak şekilde otomatik olarak bir dental ark oluşturabileceği sonucuna varmışlardır.⁶⁷

Lerner ve ark.⁶⁸ yapay zeka kullanılarak kişiye özel hibrit abutmentler üzerine yapıştırılmış implant destekli monolitik zirkonya kronlar üretmeyi hedeflemiştir. Bu retrospektif klinik çalışmada monolitik zirkonya kronların marjinal adaptasyon, interproksimal ve oklüzal temasların kalitesi ve estetik entegrasyonun mükemmel olduğu belirtilmiştir. Ek olarak Yamaguchi ve ark.⁶⁹ yaptığı çalışmada, evrişimli sinir ağı kullanılarak CAD/CAM teknolojisi ile hazırlanan kompozit reçine kronlarının desimantasyon olasılığını tahmin etmede önemli ölçüde iyi performans gösterdiği bildirilmiştir. Protetik diş tedavisi alanında yapay zekanın kullanıldığı Wei ve ark.⁵⁸ çalışmasında yeni geliştirdikleri renk eşleştirme sistemi, geleneksel görsel renk eşleştirme sisteminden daha üstün olduğu gösterilmiştir. Bu bilgisayar renk eşleştirme sisteminin, belirli bir renk alanı içinde doğal diş renginin yeniden üretilmesinde klinik olarak kullanılma potansiyeline sahip olduğu bildirilmiştir.

Sonuç

Yapay zeka sistemleri, diş hekimliği alanında teşhisin doğruluğunu geliştirerek ve tedavi prognozunu tahmin ederek klinisyenlerin hasta başında geçirdiği süreyi azaltabilir ve hastalarına en iyi kalitede tedavi sunmalarına yardımcı olabilir. Bu derleme, yapay zekanın son yıllarda diş hekimliği alanında teşhis, tedavi ve prognoz tahminlerinde hızla geliştiğini ve yakın zamanda modern diş hekimliğinde kullanılabileceğini göstermektedir. Fakat bu sistemlerin diş hekimliğinde günlük pratikte uygulamaya konulması ve diş hekiminin işini kolaylaştırması için kullanımıyla ilgili daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

Kaynaklar

1. Tandon D., Rajawat J. Present and future of artificial intelligence in dentistry. *J Oral Biol Craniofacial Res.* 2020;10(4):391–6.
2. Ahmed N., Abbasi MS., Zuberi F., Qamar W., Halim MS Bin., Maqsood A., et al. Artificial Intelligence Techniques: Analysis, Application, and Outcome in Dentistry - A Systematic Review. *Biomed Res Int.* 2021;2021.
3. Moor J. Artificial Intelligence Conference : The Next Fifty Years. *AI Mag.* 2006;27(4):87–91.
4. Shan T., Tay FR., Gu L. Application of Artificial Intelligence in Dentistry. *J Dent Res.* 2021;100(3):232–44.
5. Aminoshariae A., Kulild J., Nagendrababu V. Artificial Intelligence in Endodontics: Current Applications and Future Directions. *J Endod.* 2021;47(9):1352–7.
6. Nguyen TT., Larrivée N., Lee A., Bilaniuk O., Durand R. Use of Artificial Intelligence in Dentistry: Current Clinical Trends and Research Advances. *J Can Dent Assoc.* 2021;87(C):17.
7. Khanagar SB., Al-chaideb A., Maganur PC., Vishwanathiah S., Patil S., Baeshen HA., et al. Developments, application, and performance of artificial intelligence in dentistry – A systematic review. *J Dent Sci.* 2021;16(1):508–22.
8. Rajaraman V. John McCarthy – Father of Artificial Intelligence. 2014;(March):198–207.
9. Ossowska A., Kusiak A. Artificial Intelligence in Dentistry — Narrative Review. *Int J Env Res Public Heal.* 2022;19(6):3449.
10. Hwang J-J., Azernikov S., Efros AA., Yu SX. Learning Beyond Human Expertise with Generative Models for Dental Restorations. *ArXiv:180400064.* 2018:1–18.
11. Khanna S., Dhaimade P. Artificial Intelligence: Transforming Dentistry Today. *Indian J Basic Appl Med Res.* 2018 May;6(3):161–7.
12. Mintz Y., Brodie R. Introduction to artificial intelligence in medicine. *Minim Invasive Ther Allied Technol.* 2019;28(2):73–81.
13. Javed S., Zakirulla M., Baig RU., Asif SM., Meer AB. Development of artificial neural network model for prediction of post-streptococcus mutans in dental caries. *Comput Methods Programs Biomed.* 2020;186:105198.
14. Hamet P., Tremblay J. Artificial intelligence in medicine. *Metabolism.* 2017;69:S36–40. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2017.01.011>.
15. Schwendicke F., Samek W., Krois J. Artificial Intelligence in Dentistry: Chances and Challenges. *J Dent Res.* 2020;99(7):769–74.
16. Hopfield JJ. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 1982;79(8):2554–8.
17. Akalın B., Veranyurt Ü. Sağlık Hizmetleri ve Yönetiminde Yapay Zekâ. *Acta Infologica.* 2021;5(1):231–40.
18. Hung K., Montalvao C., Tanaka R., Kawai T., Bornstein MM. The use and performance of artificial intelligence applications in dental and maxillofacial radiology: A systematic review. *Dentomaxillofacial Radiol.* 2019;49(1):20190107.
19. Wong SH., Al-Hasani H., Alam Z., Alam A. Artificial intelligence in radiology: how will we be affected? *Eur Radiol.* 2019;29(1):141–3.
20. Hosny A., Parmar C., Quackenbush J., Schwartz LH., Aerts HJWL. Artificial intelligence in radiology. *Nat Rev Cancer.* 2018;18(8):500–10.
21. Geetha V., Aprameya KS., Hinduja DM. Dental caries diagnosis in digital radiographs using back-propagation neural network. *Heal Inf Sci Syst.* 2020;8(1):1–14.
22. Flores A., Rysavy S., Enciso R., Okada K. Non-invasive differential diagnosis of dental periapical lesions in cone-beam CT. *Proc - 2009 IEEE Int Symp Biomed Imaging From Nano to Macro, ISBI 2009.* 2009:566–9.
23. Okada K., Rysavy S., Flores A., Linguraru MG. Noninvasive differential diagnosis of dental periapical lesions in cone-beam CT scans. *Med Phys.* 2015;42(4):1653–65.
24. Kim Y., Lee KJ., Sunwoo L., Choi D., Nam CM., Cho J., et al. Deep Learning in Diagnosis of Maxillary Sinusitis Using Conventional Radiography. *Invest Radiol.* 2019;54(1):7–15.
25. Auconi P., Scaccocchio M., Cozza P., McNamara JA., Franchi L. Prediction of Class III treatment outcomes through orthodontic data mining. *Eur J Orthod.* 2015;37(3):257–67.
26. Gupta A., Kharbanda OP., Sardana V., Balachandran

- R., Sardana HK. A knowledge-based algorithm for automatic detection of cephalometric landmarks on CBCT images. *Int J Comput Assist Radiol Surg.* 2015;10(11):1737–52.
27. Thanathornwong B. Thanathornwong, B. (2018). Bayesian-based decision support system for assessing the needs for orthodontic treatment. *Healthcare informatics research*, 24(1), 22-28. 2018;24(1):22–8.
 28. Spampinato C., Palazzo S., Giordano D., Aldinucci M., Leonardi R. Deep learning for automated skeletal bone age assessment in X-ray images. *Med Image Anal.* 2017;36:41–51.
 29. Ribarevski R., Vig P., Dryland Vig K., Weyant R., O'Brien K. Consistency of orthodontic extraction decisions. *Eur J Orthod.* 1996;18(1):77–80.
 30. Xie X., Wang L., Wang A. Artificial neural network modeling for deciding if extractions are necessary prior to orthodontic treatment. *Angle Orthod.* 2010;80(2):262–6.
 31. Leonardi R., Giordano D., Maiorana F. An evaluation of cellular neural networks for the automatic identification of cephalometric landmarks on digital images. *J Biomed Biotechnol.* 2009;2009:717102.
 32. Kim BS., Yeom HG., Lee JH., Shin WS., Yun JP., Jeong SH., et al. Deep learning-based prediction of paresthesia after third molar extraction: A preliminary study. *Diagnostics.* 2021;11(9):1–11.
 33. Zhang W., Li J., Li ZB., Li Z. Predicting postoperative facial swelling following impacted mandibular third molars extraction by using artificial neural networks evaluation. *Sci Rep.* 2018;8(1):1–9.
 34. Halicek M., Lu G., Little J V., Wang X., Patel M., Griffith CC., et al. Deep convolutional neural networks for classifying head and neck cancer using hyperspectral imaging. *J Biomed Opt.* 2017;22(6):060503.
 35. Poedjiastoeti W., Suebnukarn S. Application of convolutional neural network in the diagnosis of Jaw tumors. *Healthc Inform Res.* 2018;24(3):236–41.
 36. Patcas R., Bernini DAJ., Volokitin A., Agustsson E., Rothe R., Timofte R. Applying artificial intelligence to assess the impact of orthognathic treatment on facial attractiveness and estimated age. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2019;48(1):77–83.
 37. Patcas R., Timofte R., Volokitin A., Agustsson E., Eliades T., Eichenberger M., et al. Facial attractiveness of cleft patients: A direct comparison between artificial-intelligence-based scoring and conventional rater groups. *Eur J Orthod.* 2019;41(4):428–33.
 38. Sukegawa S., Yoshii K., Hara T., Matsuyama T., Yamashita K., Nakano K., et al. Multi-task deep learning model for classification of dental implant brand and treatment stage using dental panoramic radiograph images. *Biomolecules.* 2021;11(6).
 39. Kwak Y., Hieu Nguyen V., Hériveaux Y., Belanger P., Park j. Ultrasonic assessment of osseointegration phenomena at the bone-implant interface using convolutional neural network. *J Acoust Soc Am.* 2021;149(6):4337.
 40. Teh Lee C., Kabir T., Nelson J., Sheng S., Wan Meng H., Van Dyke T., et al. Use of the deep learning approach to measure alveolar bone level. *J Clin Periodontol.* 2022;49(3):260–9.
 41. Bayrakdar SK., Orhan K., Bayrakdar IS., Bilgir E., Ezhov M., Gusarev M., et al. A deep learning approach for dental implant planning in cone-beam computed tomography images. *BMC Med Imaging.* 2021;21(1):1–9.
 42. Adel S., Zaher A., El Harouni N., Venugopal A., Premjani P., Vaid N. Robotic Applications in Orthodontics: Changing the Face of Contemporary Clinical Care. *Biomed Res Int.* 2021;2021:9954615.
 43. Krois J., Ekert T., Meinhold L., Golla T., Kharbot B., Wittemeier A., et al. Deep Learning for the Radiographic Detection of Periodontal Bone Loss. *Sci Rep.* 2019;9(1):1–6.
 44. Lee JH., Kim DH., Jeong SN., Choi SH. Diagnosis and prediction of periodontally compromised teeth using a deep learning-based convolutional neural network algorithm. *J Periodontal Implant Sci.* 2018;48(2):114–23.
 45. Papantonopoulos G., Takahashi K., Bountis T., Loos BG. Artificial neural networks for the diagnosis of aggressive periodontitis trained by immunologic parameters. *PLoS One.* 2014;9(3):4–11.
 46. Cha JY., Yoon HI., Yeo IS., Huh KH., Han JS. Peri-implant bone loss measurement using a region-based convolutional neural network on dental periapical radiographs. *J Clin Med.* 2021;10(5):1–12.

47. Chang HJ., Lee SJ., Yong TH., Shin NY., Jang BG., Kim JE., et al. Deep Learning Hybrid Method to Automatically Diagnose Periodontal Bone Loss and Stage Periodontitis. *Sci Rep.* 2020;10(1):1–8.
48. Ahmad P., Alam MK., Aldajani A., Alahmari A., Alanazi A., Stoddart M., et al. Dental robotics: A disruptive technology. *Sensors.* 2021;21(10):1–15.
49. Baugh D., Wallace J. The role of apical instrumentation in root canal treatment: A review of the literature. *J Endod.* 2005;31(5):333–40.
50. Saghiri MA., Garcia-Godoy F., Gutmann JL., Lotfi M., Asgar K. The Reliability of artificial neural network in locating minor apical foramen: A cadaver study. *J Endod.* 2012;38(8):1130–4.
51. Saghiri MA., Asgar K., Boukani KK., Lotfi M., Aghili H., Delvarani A., et al. A new approach for locating the minor apical foramen using an artificial neural network. *Int Endod J.* 2012;45(3):257–65.
52. Ekert T., Krois J., Meinhold L., Elhennawy K., Emara R., Golla T., et al. Deep Learning for the Radiographic Detection of Apical Lesions. *J Endod.* 2019;45(7):917-922.e5.
53. Fukuda M., Inamoto K., Shibata N., Arijii Y., Yanashita Y., Kutsuna S., et al. Evaluation of an artificial intelligence system for detecting vertical root fracture on panoramic radiography. *Oral Radiol.* 2020;36(4):337–43.
54. Hiraiwa T., Arijii Y., Fukuda M., Kise Y., Nakata K., Katsumata A., et al. A deep-learning artificial intelligence system for assessment of root morphology of the mandibular first molar on panoramic radiography. *Dentomaxillofacial Radiol.* 2019;48(3):1–7.
55. Revilla-León M., Gómez-Polo M., Vyas S., Barmak BA., Gallucci GO., Att W., et al. Artificial intelligence models for tooth-supported fixed and removable prosthodontics: A systematic review. *J Prosthet Dent.* 2021:1–17.
56. Paulus D., Wolf M., Meller S., Niemann H. Three-dimensional computer vision for tooth restoration. *Med Image Anal.* 1999;3(1):1–19.
57. Matin I., Hadzistevic M., Vukelic D., Potran M., Brajlilh T. Development of an expert system for the simulation model for casting metal substructure of a metal-ceramic crown design. *Comput Methods Programs Biomed.* 2017;146:27–35.
58. Wei J., Peng M., Li Q., Wang Y. Evaluation of a Novel Computer Color Matching System Based on the Improved Back-Propagation Neural Network Model. *J Prosthodont.* 2018;27(8):775–83. <https://doi.org/10.1111/jopr.12561>.
59. Zhang B., Dai N., Tian S., Yuan F., Yu Q. The extraction method of tooth preparation margin line based on S-Octree CNN. *Int j Numer Method Biomed Eng.* 2019;35(10):1–13.
60. Li H., Lai L., Chen L., Lu C., Cai Q. The prediction in computer color matching of dentistry based on GA+BP neural network. *Comput Math Methods Med.* 2015;2015.
61. Vera V., Corchado E., Redondo R., Sedano J., García ÁE. Applying soft computing techniques to optimise a dental milling process. *Neurocomputing.* 2013;109:94–104.
62. Li M., Xu X., Punithakumar K., Le LH., Kaipatur N., Shi B. Automated integration of facial and intra-oral images of anterior teeth. *Comput Biol Med.* 2020;122:103794.
63. Wang L., Wang D., Zhang Y., Ma L., Sun Y., Lv P. An automatic robotic system for three-dimensional tooth crown preparation using a picosecond laser. *Lasers Surg Med.* 2014;46(7):573–81.
64. Otani T., Raigrodski AJ., Mancl L., Kanuma I., Rosen J. In vitro evaluation of accuracy and precision of automated robotic tooth preparation system for porcelain laminate veneers. *J Prosthet Dent.* 2015;114(2):229–35.
65. Takahashi T., Nozaki K., Gonda T., Ikebe K. A system for designing removable partial dentures using artificial intelligence. *Off J Japan Prosthodont Soc.* 2021;65:115–8.
66. Xiao K., Zardawi F., Van Noort R., Yates JM. Color reproduction for advanced manufacture of soft tissue prostheses. *J Dent.* 2013;41(SUPPL.5).
67. Gang Jiang J., De Zhang Y. Motion planning and synchronized control of the dental arch generator of the tooth-arrangement robot. *Int J Med Robot.* 2013;9(1):94–102.
68. Lerner H., Mouhyi J., Admakin O., Mangano F. Artificial intelligence in fixed implant prosthodontics:

A retrospective study of 106 implant-supported monolithic zirconia crowns inserted in the posterior jaws of 90 patients. *BMC Oral Health*. 2020;20(1):1–16.

69. Yamaguchi S., Lee C., Karaer O., Ban S., Mine A., Imazato S. Predicting the Debonding of CAD/CAM Composite Resin Crowns with AI. *J Dent Res*. 2019;98(11):1234–8.