

YAPAY ZEKANIN ORTODONTİK TEDAVİDEKİ ROLÜ

The Role of Artificial Intelligence in Orthodontic Treatment

Alaattin TEKELİ¹ 

¹ Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Diş Hekimliği Sağlık Uygulama Merkezi Gülhane Külliyesi, ANKARA, TÜRKİYE

ÖZ

Yapay zeka, genellikle 21. yüzyılın en dönüştürücü teknolojisi olarak kabul edilmektedir. Yapay zekanın giderek daha fazla entegre edildiği alanlardan biri de sağlık hizmetleridir. Bu geniş kapsam içinde, yapay zekanın derin etkilerini görmeye başlayan özel bir disiplin ise ortodonti alanıdır. Bu derlemenin amacı, yapay zekanın ortodontide entegrasyonu üzerine daha fazla tartışmayı teşvik etmek ve hastanın bakımında artan doğruluk, verimlilik ve kişiselleştirme getirerek bu alanı dönüştürme ve geliştirme potansiyeline odaklanmaktır.

ABSTRACT

Artificial intelligence, is generally considered one of the most transformative technologies of the 21st century. One of the fields in which artificial intelligence is increasingly being integrated is healthcare services. Within this broad scope, a particular discipline that is starting to witness the profound impacts of artificial intelligence is orthodontics. The purpose of this review is to encourage further discussion on the integration of artificial intelligence in orthodontics and to focus on its potential to transform and enhance this field by bringing increased accuracy, efficiency, and personalization to patient care.

Anahtar Kelimeler: Yapay zeka, ortodonti, makine öğrenmesi

Keywords: Artificial intelligence, orthodontics, machine learning



Yazışma Adresi / Correspondence:
Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Diş Hekimliği Sağlık Uygulama Merkezi Gülhane Külliyesi, ANKARA,
TÜRKİYE
Tel / Phone: +95423445819
Geliş Tarihi / Received: 31.07.2023

Dr. Alaattin TEKELİ

Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Diş Hekimliği Sağlık Uygulama Merkezi Gülhane Külliyesi, ANKARA,

TÜRKİYE

E-posta / E-mail: atekeli1915@gmail.com

Kabul Tarihi / Accepted: 01.08.2023

GİRİŞ

Yapay zeka (YZ), genellikle 21. yüzyılın en dönüştürücü teknolojisi olarak kabul edilen, sosyal etkileşimlerden ekonomik yapılanmalara, bilimsel araştırmalardan sağlık hizmetlerine kadar hemen hemen hayatımızın tüm alanlarına nüfuz etmiş bir teknolojidir (1,2). Uygulama alanlarının geniş yelpazesi, YZ'nin ne kadar çok yönlü ve etkili olabileceğini göstermektedir. Bu güçlü aracın bir alt kümesi olan makine öğrenimi, karmaşık veri kümelerinde desenleri tanıma, tahmin yapma ve karar verme süreçlerine yardımcı olma yeteneğine sahiptir ve bu nedenle büyük miktarda verinin hızlı ve doğru bir şekilde analiz edilmesinin gerektiği alanlarda kritik bir rol oynamaktadır (3).

YZ'nin giderek daha fazla entegre edildiği alanlardan biri de sağlık hizmetleridir, özellikle teşhis, tedavi planlaması, hastanın takibi ve prognoz üzerine odaklanmıştır (4). Bu geniş kapsam içinde, YZ'nin derin etkilerini görmeye başlayan özel bir disiplin ise ortodonti alanıdır. Geleneksel olarak manuel ölçümlere, klinik deneyime ve niteliksel değerlendirmelere dayanan bir alan olan ortodonti yanlış ölçümler ve tedavi başarısızlıkları gibi bazı sınırlamalara maruz kalmaktadır. YZ'nin ortodontiye entegrasyonu, tedavinin hem teşhis hem de tedavi planlama yönlerini optimize ederek bu sınırlamaları aşmak için yeni fırsatlar sunmaktadır.

Bu derlemenin temel amacı, YZ'nin ortodontideki yükselen rolüne derinlemesine bir bakış sunmak ve mevcut ve potansiyel uygulamalarını kapsamlı bir şekilde açıklamaktır (5). Yazımızda, YZ'nin ortodontiye girişi ve geleneksel manuel yöntemlerden dijitalleşmeye ve ardından YZ'nin entegrasyonuna olan geçişi vurgulanarak, ortodontik teşhis ve tedavi planlamasındaki rolü incelenecektir. Ardından, YZ'nin tedavi sonuçlarını tahmin etmedeki yeteneklerine dair bir analiz sunulacaktır.

Ayrıca, şeffaf plaklar ve robotik sistemler gibi YZ ve ortodonti arasında buluşan bazı en son gelişmeler incelenecek ve bu yeniliklerin ortodontik tedavinin yüzünü nasıl değiştirdiği vurgulanmaya çalışılacaktır. YZ'nin sunduğu sayısız fırsatların yanı sıra, ortodontide

kullanımıyla ilişkili zorlukları ve etik sorunları da göz önünde bulundurmaya son derece önemlidir. Bu, veri gizliliği ve güvenliği konularından YZ algoritmalarının şeffaflığına ve girdi verilerinin kalitesine kadar çeşitli alanlarda olabilir.

Bu derleme aracılığıyla amacımız, YZ'nin ortodontide entegrasyonu üzerine daha fazla tartışmayı teşvik etmek ve hastanın bakımında artan doğruluk, verimlilik ve kişiselleştirme getirerek bu alanı dönüştürme ve geliştirme potansiyeline odaklanmaktır.

Ortodontide Yapay Zekanın Ortaya Çıkışı

YZ, dişlerin radyolojik görüntülenmesinin dijitalleştirilmesine dayanan köklü bir değişimle ortodonti endüstrisinde belirleyici bir güç olarak ortaya çıkmıştır (6). Ortodonti tarihini izlemek mümkündür ve bu yolculuk, alçı modeller, el çizimi ile çekilen sefalometrik çizimler ve iki boyutlu görüntüler gibi geleneksel yöntemlere dayanan değerlendirme ve tedavi planlama yöntemleriyle başlamıştır (7).

Ancak, son yıllarda, bu uygulamalar giderek dijital teknolojilere yerini bırakmıştır. Koni ışıklı bilgisayarlı tomografi (KBT), dijital modeller ve intraoral tarayıcıların tanıtımı, dijital diş verilerinin hacimli bir şekilde artmasına neden olmuştur. Örneğin, KBT, kraniyofasial yapıların üç boyutlu görüntülenmesine olanak tanır ve iki boyutlu görüntülerle elde edilemeyen detay seviyesini sunar. Öte yandan, intraoral tarayıcılar, geleneksel diş izlenimlerine alternatif olarak etkili ve hasta dostu bir seçenek sunarak, ağız boşluğunun son derece doğru dijital kopyalarını oluşturmuştur (8).

Bu dijital teknolojilerin ortaya çıkışı, ortodontiyi YZ'nin uygulanabileceği bir alan haline getirmiştir. Bu zengin dijital verilerin birikimi, YZ ve makine öğrenme algoritmalarının tanıtılması için zemin hazırlamıştır. YZ, özellikle makine öğrenme, büyük miktardaki veriye dayanarak desenleri tespit etmekte, bunlardan öğrenmekte ve tahminler yapmaktadır (5). Dolayısıyla, ortodontide dijital devrim sadece teşhis ve tedavide iyileştirmeler getirmekle kalmamış, aynı zamanda alanında YZ uygulamalarının doğmasını da kolaylaştırmıştır.

Ortodontide YZ'nin rolü henüz erken aşamalarında olsa da, şimdiden ortodontik bakımın verimliliğini, doğruluğunu ve öngörülebilirliğini artırmada umut verici sonuçlar göstererek, gelecekteki potansiyeli için heyecan uyandırmaktadır.

Teşhis ve Tedavi Planlamada Yapay Zeka

YZ, ortodontide teşhis ve tedavi planlamayı devrimleştirme yolunda, geleneksel hasta bakım modelini temelden yeniden şekillendirmektedir. Makine öğrenme algoritmalarının gücünü kullanarak, ortodontistler artık karmaşık kraniyofasial yapıları analiz edebilmekte, maloklüzyonları doğru bir şekilde tespit edebilmekte ve manuel hesaplamaları büyük ölçüde aşan hız, hassasiyet ve nesnellikle en uygun tedavi planlarını önerebilmektedirler (9).

Ortodontik teşhiste YZ'nin rolü, dişin radyolojik görüntülenmesi ile başlar. Makine öğrenme algoritmaları şimdi KBT taramaları ve intraoral tarayıcıların görüntülerini işleyerek analiz edebilmekte, insan gözünden kaçabilecek karmaşık desenleri tanıyabilmekte ve öğrenebilmektedir (10). Bu algoritmalar, diş ve kemik yapılarında değişiklikleri tanıyabilir, maloklüzyonun erken belirtilerini saptayabilir ve hatta gelecekteki oral sağlık sorunlarının olasılığını tahmin edebilirler. Bu yetenek, erken teşhisi ve önleyici tedaviyi önemli ölçüde geliştirme potansiyeline sahiptir, böylece ortodontik bakımı daha önceden reaktif olmaktan çok proaktif hale getirmektedir.

Tedavi planlaması açısından YZ önemli potansiyel göstermiştir. Ortodontide etkili bir tedavi planı oluşturmak, hastanın benzersiz diş anatomisini anlamayı, gelecekteki diş hareketlerini tahmin etmeyi ve çeşitli tedavi seçeneklerini göz önünde bulundurmaya gerektirir (11). YZ, özellikle tahminsel modellemede, tüm bu yönlerde yardımcı olabilir. Örneğin, geçmiş vakalardan elde edilen verileri analiz ederek, makine öğrenme algoritmaları hastanın dişlerinin farklı tedavi seçeneklerine nasıl tepki verebileceğini tahmin edebilir ve ortodontistlere en etkili ve kişiye özel tedavi planını oluşturma konusunda yardımcı olabilir.

Derin öğrenme, makine öğrenmenin bir alt kümesi olarak, sefalometrik analizde de kullanılmıştır, ki bu da ortodontik teşhis ve tedavi planlamanın önemli bir unsuru olarak kabul edilir. Geleneksel olarak, bu işlem sefalometrik radyografilerde anatomik işaret noktalarını manuel olarak belirlemeyi içerir ve bu süreç zaman alıcı ve insan hatasına açıktır. Ancak, derin öğrenme algoritmaları şimdi bu işaret noktalarını otomatik olarak tanımlayabilir ve ölçümleri gerçekleştirebilir, böylece manuel işaretleme süresini önemli ölçüde azaltırken doğruluğu artırır (12).

YZ'nin büyük miktarda veriyi analiz etme ve tahminlerde bulunma yeteneği, ortodontistlerin daha verimli tedavi programları oluşturmasına yardımcı olabilir, randevu sayısını azaltabilir ve tahmin edilen sonuçlara dayanarak tedaviyi gerektiğinde ayarlayabilir. Bu durum ortodontik bakımı daha hastaya dost ve maliyet etkin hale getirerek, genel hasta deneyimini iyileştirir (13).

Ancak, YZ'nin teşhis ve tedavi planlamadaki potansiyeli ne kadar büyük olursa olsun, YZ, ortodontistin yardımcı aracıdır, onun yerine geçmez. Klinik uzmanlık, değerlendirme ve insana dokunma, kapsamlı ve şefkatli bakımın sağlanmasında vazgeçilmezdir. YZ ilerlemeye devam ettikçe, ortodontideki rolü muhtemelen genişleyecek ve teşhis ve tedavi planlamasının geleceği için heyecan verici olasılıklar sunacaktır.

Tedavi Sonuçlarını Tahmin Etmede Yapay Zekanın Rolü

Ortodontide YZ'nin en umut verici uygulamalarından biri, tedavi sonuçlarını tahmin etme yeteneğinde yatmaktadır. Ortodontik işlemlerin sonuçlarını doğru bir şekilde tahmin edebilme yeteneği, hasta danışmanlığını, karar verme süreçlerini ve genel tedavi planlamayı devrimleştirebilir (14).

Geleneksel olarak, ortodontik tedavi sonuçlarını tahmin etmek büyük ölçüde klinik uzmanlık ve değerlendirmeye dayalı olmuş, deneysel kanıtlar ve istatistiksel modellerle desteklenmiştir. Ancak, bu yöntemler, kullanışlı olsa da, bazı sınırlamalara sahiptir. Tedavi sonuçlarını etkileyebilecek çeşitli bireysel değişkenleri hesaba katmamış olabilirler ve sıklıkla

kesinlikten yoksundurlar. YZ, geniş miktarda veriyi işleme ve karmaşık desenleri algılama yeteneği sayesinde, bu zorlukların üstesinden gelmek için yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır (14).

Makine öğrenme algoritmaları, geçmiş ortodontik vakaların büyük veri kümelerini kullanarak, çeşitli değişkenleri analiz edebilir; bunlar maloklüzyon türleri, kullanılan tedavi yöntemleri, hastaların tedavi protokollerine uyumu, tedavi başlama yaşları ve daha birçok şeyi içerebilir. Bu verilerdeki desenleri ve ilişkileri belirleyerek, bu algoritmalar tedavi süresini, istenen sonuçlara ulaşma olasılığını ve potansiyel komplikasyonların veya nükslerin riskini tahmin edebilirler (11).

Derin öğrenme algoritmaları gibi yakın zamandaki ilerlemeler, ortodontik tedavi sırasında diş hareketlerini yüksek bir doğrulukla tahmin etmeyi de mümkün kılmıştır. Örneğin, Invisalign® sistemi, istenen sonuca ulaşmak için gerekli diş hareketlerinin sırasını tahmin etmek için bir YZ algoritması kullanır. Bu, şeffaf plakların tasarımını dönüştürmüş ve daha tahmin edilebilir ve etkili bir tedavi seçeneği haline getirmiştir (15).

Bu ilerlemelere rağmen, YZ'nin tahminleri, çok değerli olsa da, tamamen hatasız değildir. Tahminler, girdi verilerinin kalitesine ve eksiksizliğine bağlıdır. Yanlış yorumlamalar hala olabilir ve YZ, klinik değerlendirmenin yerine koyulmamalı, onu tamamlayıcı olarak kullanılmalıdır (16). Ayrıca, hassas sağlık verilerini işleyen herhangi bir teknolojiye olduğu gibi, veri gizliliğini ve güvenliğini korumak son derece önemlidir.

Sonuç olarak, YZ'nin tedavi sonuçlarını tahmin edebilme yeteneği, ortodontinin geleceği için önemli vaatler taşımaktadır. Daha fazla araştırma ve geliştirme ile YZ, ortodontik tedavinin kişiselleştirilmesinde, hasta deneyiminin iyileştirilmesinde ve tedavi sonuçlarının optimize edilmesinde önemli bir rol oynayabilir.

Yenilikçi Teknolojiler: Şeffaf Plaklar ve Robotik Sistemler

YZ, özellikle şeffaf plakların ve robotik sistemlerin tasarımı ve uygulanmasında, ortodontideki yenilikçi

teknolojilerin ön saflarında yer almaktadır. Bu yeni teknolojiler, ortodontik tedavinin yürütülmesini temelden değiştirerek, hassasiyeti ve hasta konforunu artırarak, ortodontide yeni bir dönemi müjdelemektedir.

Şeffaf Plak Tedavisi

Şeffaf plaklar, ortodontide devrim niteliğinde bir yenilik olarak, ortodontik tedavinin estetik ve konfor yönlerini büyük ölçüde iyileştirmiştir. YZ'nin şeffaf plakların tasarımı ve üretiminde kullanımı, işlevselliğini ve öngörülebilirliğini önemli ölçüde optimize etmiştir. Bunun en dikkate değer örneği Invisalign® sistemidir (15).

Invisalign®, istenen ortodontik sonucu elde etmek için gerekli diş hareketlerinin sırasını tahmin etmek için geniş bir veri tabanını kullanan özel bir YZ algoritması kullanır. Algoritma, belirli bir süre için kullanılmak üzere tasarlanmış bir dizi özel plak tasarlar ve her bir plak belirli diş hareketlerini indüklemeyi amaçlar. Bu YZ'nin kullanımı, şeffaf plak tedavisini daha hassas ve öngörülebilir hale getirmiştir ve hem ortodontistler hem de hastalar arasında kabulünü artırmıştır. YZ'nin şeffaf plak teknolojisiyle entegrasyonu, kişiselleştirilmiş ortodontik bakımda önemli bir gelişmeyi temsil etmektedir (17).

Robotik Ortodonti

YZ'nin etkisi, ortodontide yeni bir alan olan robotik ortodontiye de uzanmaktadır. Robotik sistemler, diş implantlarının yerleştirilmesi gibi cerrahi işlemler sırasında ortodontistlere gerçek zamanlı yönlendirme sağlayarak onlara yardımcı olmak için tasarlanmıştır (18).

Robotik sistemlerdeki YZ algoritmaları, ameliyat öncesi BT taramalarını işleyerek sanal bir cerrahi plan oluşturur. Ameliyat sırasında, sistem, implantın planlandığı gibi hassas bir şekilde yerleştirilmesini sağlamak için görsel ve fiziksel rehberlik sunar. Sistem, ameliyat sırasında plan üzerindeki değişikliklere de uyum sağlayabilir, böylece cerrahi hassasiyeti ve kontrolü daha da artırır. YZ'nin robotik sistemlerdeki uygulaması, yalnızca ameliyata yardımcı olmakla sınırlı değildir. Ortodontik biyomekaniğinde, robotlar braket veya plakların uyguladığı kuvvetleri simüle edebilir ve

ortodontistlere farklı kuvvet sistemlerinin diş hareketini nasıl etkileyebileceğini anlama konusunda yardımcı olabilir. Bu tedavi planlamasını ve tedavi sonuçlarının tahmin edilmesini geliştirebilir (19).

Zorluklar ve Gelecek Perspektifleri

YZ, ortodontide önemli faydalar vadetmesine rağmen, entegrasyonu zorluklarla beraber gelmektedir. Bu zorluklar, teknik ve etik sorunlardan düzenleyici çerçevelerin ve eğitim değişikliklerinin gerekliliğine kadar çeşitlilik göstermektedir.

Teknik Zorluklar

YZ algoritmaları temel olarak eğitildikleri verilerin kalitesi ve miktarına bağlıdır. Ortodontide, farklı kayıt tekniklerinden ve hastalar arasında ortodontik parametrelerin tanımında tutarsızlık olabileceğinden verilerde değişkenlik ve potansiyel önyargı olabilir. Bu zorluklar, YZ algoritmalarının yüksek kaliteli ve temsilci veri kümeleri üzerinde eğitildiğinden emin olmak için titiz veri düzenleme ve standartlaştırma protokollerini gerektirir (5,20).

Etik ve Hukuki Zorluklar

Etik ve yasal endişeler YZ'nin tüm kullanım alanlarında olduğu gibi ortodontide kullanımıyla da ortaya çıkmaktadır. Veri gizliliği, hasta görüntüleri ve sağlık kayıtları gibi hassas bilgilerin korunması gereken önemli bir konudur. Ayrıca, YZ temelli kararlarla ilişkili bir yanlış teşhis veya olumsuz tedavi sonucu durumunda sorumluluk sorunları ortaya çıkabilir. Etik endişeler ayrıca birçok YZ algoritmasının "kara kutu" niteliğine sahip olması ve algoritmanın kararının arkasındaki nedenin kolayca anlaşılabilir olmasıyla ilgili konuları da içerir (21,22).

Düzenleyici Zorluklar

Düzenleyici mevzuat da başka bir zorluk alanıdır. YZ gelişiminin hızı göz önüne alındığında, mevcut düzenleyici çerçeveler, YZ'nin hasta bakımında kullanımıyla ilgili karmaşık konuları tam olarak ele almak için yeterince donanımlı olmayabilir. Bu konular, YZ algoritmalarının doğrulanması, sürekli kalite kontrolü ve algoritmik karar verme süreçlerinde şeffaflık gibi meseleleri içerir (22).

Eğitim Zorlukları

YZ tabanlı ortodontiye geçiş aynı zamanda ortodontik eğitimde değişiklikleri gerektirir. Ortodontistler, YZ'nin prensiplerine hakim olmalı, yeteneklerini ve sınırlamalarını anlamalı ve yeni gelişmeleri takip etmelidir. Bu, YZ eğitiminin ortodontik eğitim programlarına dahil edilmesini gerektirir (23).

Zorluklara rağmen, ortodontide YZ'nin geleceği umut verici görünmektedir. Bu alandaki devam eden araştırma ve gelişmeler, daha gelişmiş ve verimli YZ uygulamalarına yol açacak ve böylece ortodontik bakımın doğruluğunu, verimliliğini ve hasta odaklılığını daha da artıracaktır (24).

YZ'nin kişiselleştirilmiş ortodontideki potansiyeli özellikle heyecan vericidir. YZ algoritmaları hastaya özgü verileri kullanarak bireysel, hastalara özel ortodontik tedavi planları oluşturabilir, hastaların benzersiz özelliklerini dikkate alabilir ve tedaviye verdikleri tepkiyi tahmin edebilir.

Ayrıca, YZ geliştikçe, tedavinin ilerlemesini gerçek zamanlı olarak izleyebilen ve gerekli olduğunda tedaviyi uyum sağlayabilen akıllı diş teli veya plaklar gibi daha gelişmiş ortodontik cihazların ve tekniklerin geliştirilmesine olanak sağlayabilir.

SONUÇ

Ortodontide hala emekleme aşamasında olan YZ, büyük bir potansiyele sahiptir. Teşhis hassasiyetini artırma, tedavi planlama ve sonuç tahminini geliştirme yetenekleri etkileyicidir. YZ, teknoloji olgunlaştıkça ve mevcut sınırlamaları aştıkça, ortodontik tedaviyi daha verimli, tahmin edilebilir ve kişiselleştirilmiş hale getirmede önemli bir rol oynayabilir.

KAYNAKLAR

1. Ishii E, Ebner DK, Kimura S, Agha-Mir-Salim L, Uchimido R, Celi LA. The advent of medical artificial intelligence: lessons from the Japanese approach. J Intensive Care. 2020;8:35.
2. Chen H, Chen S, Zhao J. Integrated design of financial self-service terminal based on artificial

- intelligence voice interaction. *Front Psychol.* 2022;13:850092.
3. Theodosiou AA, Read RC. Artificial intelligence, machine learning and deep learning: Potential resources for the infection clinician. *J Infect.* 2023;S0163-4453(23)00379-1.
 4. Jiang F, Jiang Y, Zhi H, Dong Y, Li H, Ma S, et al. Artificial intelligence in healthcare: Past, present and future. *Stroke Vasc Neurol.* 2017;2(4):230-43.
 5. Liu J, Chen Y, Li S, Zhao Z, Wu Z. Machine learning in orthodontics: Challenges and perspectives. *Adv Clin Exp Med.* 2021;30(10):1065-74.
 6. Israni ST, Verghese A. Humanizing artificial intelligence. *JAMA.* 2019;321(1):29-30.
 7. Ghafari JG. Centennial inventory: the changing face of orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2015;148(5):732-9.
 8. Conejo J, Dayo AF, Syed AZ, Mupparapu M. The digital clone: Intraoral scanning, face scans and cone beam computed tomography integration for diagnosis and treatment planning. *Dent Clin North Am.* 2021;65(3):529-53.
 9. Strunga M, Urban R, Surovková J, Thurzo A. Artificial intelligence systems assisting in the assessment of the course and retention of orthodontic treatment. *Healthcare (Basel).* 2023;11(5):683.
 10. Abesi F, Maleki M, Zamani M. Diagnostic performance of artificial intelligence using cone-beam computed tomography imaging of the oral and maxillofacial region: A scoping review and meta-analysis. *Imaging Sci Dent.* 2023;53(2):101-8.
 11. Bianchi J, Mendonca G, Gillot M, Oh H, Park J, Turkestani NA, et al. Three-dimensional digital applications for implant space planning in orthodontics: A narrative review. *J World Fed Orthod.* 2022;11(6):207-15.
 12. Schwendicke F, Chaurasia A, Arsiwala L, Lee JH, Elhennawy K, Jost-Brinkmann PG, et al. Deep learning for cephalometric landmark detection: Systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig.* 2021;25(7):4299-309.
 13. Chung EJ, Yang BE, Park IY, Yi S, On SW, Kim YH, et al. Effectiveness of cone-beam computed tomography-generated cephalograms using artificial intelligence cephalometric analysis. *Sci Rep.* 2022;12(1):20585.
 14. Khanagar SB, Al-Ehaideb A, Vishwanathaiah S, Maganur PC, Patil S, Naik S, et al. Scope and performance of artificial intelligence technology in orthodontic diagnosis, treatment planning, and clinical decision-making: A systematic review. *J Dent Sci.* 2021;16(1):482-92.
 15. Kravitz ND, Kusnoto B, BeGole E, Obrez A, Agran B. How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;135(1):27-35.
 16. Auconi P, Gili T, Capuani S, Saccucci M, Caldarelli G, Polimeni A, Di Carlo G. The validity of machine learning procedures in orthodontics: What is still missing? *J Pers Med.* 2022;12(6):957.
 17. Thurzo A, Kurilová V, Varga I. Artificial intelligence in orthodontic smart application for treatment coaching and its impact on clinical performance of patients monitored with AI-Telehealth system. *Healthcare (Basel).* 2021;9(12):1695.
 18. van Riet TCT, Chin Jen Sem KTH, Ho JTF, Spijker R, Kober J, de Lange J. Robot technology in dentistry, part two of a systematic review: An overview of initiatives. *Dent Mater.* 2021;37(8):1227-36.
 19. 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.
 20. Gianfrancesco MA, Tamang S, Yazdany J, Schmajuk G. Potential biases in machine learning algorithms using electronic health record data. *JAMA Intern Med.* 2018;178(11):1544-7.
 21. Gerke S, Minssen T, Cohen G. Ethical and legal challenges of artificial intelligence-driven

- healthcare. In: Artificial Intelligence in Healthcare, 2020;295-336.
22. Lopes IM, Guarda T, Oliveira P. General data protection regulation in health clinics. J Med Syst. 2020;44(2):53.
23. Schwendicke F, Samek W, Krois J. Artificial intelligence in dentistry: Chances and challenges. J Dent Res. 2020;99(7):769-74.
24. Fatima A, Shafi I, Afzal H, Díez IT, Lourdes DRM, Breñosa J, et al. Advancements in dentistry with artificial intelligence: Current clinical applications and future perspectives. Healthcare (Basel). 2022;10(11):2188.