

GEÇİCİ KAPAK

*Kapak tasarımı
devam ediyor.*

BİDGE Yayınları

Ortodontide Dijital Gelişmeler ve Yapay Zeka

Editör: Fırat Oğuz

ISBN: -

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: -

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



İÇİNDEKİLER

Ortodontide Yapay Zeka Kullanımı	1
<i>GÜL USLUSOY</i>	
Ortognatik Cerrahide Dijital Planlama ve Yapay Zeka	10
<i>HANDAN GÖZE OĞUZ</i>	
Dijital Görüntüleme ile Tme Değerlendirilmesi	21
<i>AYLA KHANMOHAMMADI</i>	
Ortodontide Ağrı ve Ağrı Kontrol Yöntemleri	44
<i>ANIL DEMİREL</i>	

BÖLÜM 0

ORTODONTİDE YAPAY ZEKÂ KULLANIMI

1.GÜL USLUSOY¹

Giriş

Dijital teknolojilerde yaşanan hızlı gelişmeler, sağlık hizmetlerinin sunumunda önemli değişimlere yol açmış ve yapay zekâ uygulamalarının klinik pratiğe entegrasyonunu hızlandırmıştır. Özellikle son yıllarda artan hesaplama gücü, büyük veri kümelerine erişim ve gelişmiş algoritmaların kullanıma sunulmasıyla birlikte yapay zekâ, sağlık alanında dikkat çekici ilerlemeler kaydetmiştir. Tanı, tedavi planlaması, klinik karar destek sistemleri ve hasta takibi gibi süreçlerde yapay zekâ uygulamalarının kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır (Nordblom et al., 2024; Schwendicke et al., 2020).

Ortodonti, dijital verilerin tanısal amaçla yoğun olarak kullanıldığı diş hekimliği bölümlerinden biridir. Bu amaçla, panoramik ve sefalometrik radyografiler, konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KİBT) görüntüleri, intraoral taramalar, dijital modeller ve yüz görüntüleri gibi çok sayıda veri kaynağının değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu verilerin analiz edilmesi ve yorumlanması geleneksel olarak klinisyenin bilgi ve deneyimine dayansa da günümüzde yapay zekâ tabanlı sistemler bu süreçleri daha hızlı, standart ve objektif hale getirebilmektedir (AYDIN, 2023; Bor et al., 2024; Kazimierczak et al., 2024).

Makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmalarının gelişmesiyle birlikte yapay zekâ, yalnızca görüntü analizi ve tanısal işlemlerde değil; aynı zamanda büyüme ve gelişimin değerlendirilmesi, tedavi planlaması, ortognatik cerrahi gereksiniminin belirlenmesi, tedavi sonuçlarının öngörülmesi ve hasta takibi gibi alanlarda da kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemler, büyük miktardaki klinik veriyi analiz ederek klinisyene karar desteği sağlayabilmekte ve daha kişiselleştirilmiş tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır (Kazimierczak et al., 2024; Liu et al., 2023; Nordblom et al., 2024).

¹ Uzm. Dt., İnönü Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi ,Ortodonti ABD, Orcid: 0009-0008-2306-1259

Bununla birlikte yapay zekâ, klinisyenin yerini alan bir teknoloji olmaktan ziyade, karar vermede yardımcı bir araç olarak değerlendirilmelidir. Yapay zekâ sistemlerinin güvenilirliği, kullanılan verilerin kalitesine ve algoritmaların doğruluğuna bağlı olup, elde edilen sonuçların klinik bilgi ve deneyim ışığında yorumlanması gerekmektedir. Bu nedenle yapay zekâ uygulamalarının avantajlarının yanı sıra mevcut sınırlılıklarının ve gelecekteki potansiyelinin de değerlendirilmesi önem taşımaktadır (Nordblom et al., 2024; Schwendicke et al., 2020).

Bu bölümde, ortodontide yapay zekânın temel kullanım alanları; tanı yöntemleri, tedavi planlaması, tedavi sonuçlarının öngörülmesi, uzaktan hasta takibi ve gelecekteki gelişim alanları çerçevesinde ele alınacaktır.

Yapay Zeka

Yapay zekâ (YZ), insan zekâsının kullanıldığı öğrenme, sorun çözme ve karar verme gibi analitik süreçleri bilgisayar desteği ile gerçekleştirmeyi hedefleyen bir bilim dalıdır. Yapay zekâ teknolojilerinin ortodontik uygulamalara entegrasyonu, çeşitli klinik ve tanısal süreçlerin yüksek doğruluk ve güvenilirlikle otomatikleştirilmesini amaçlamaktadır. Bu otomasyonun temelini, büyük veri kümelerinden öğrenerek karar verme ve tahminlerde bulunabilen makine öğrenimi (ML) ve derin öğrenme (DL) algoritmaları oluşturmaktadır. Derin öğrenme yaklaşımları içerisinde yer alan evrimsel sinir ağları (CNN), karmaşık görüntü verilerini analiz etme konusundaki başarısı sayesinde dentomaksillofasiyal görüntüleme alanında yaygın olarak benimsenmiştir. Bu sistemler, klinik karar verme sürecinde tanı, tedavi planlaması ve prognoz değerlendirmesine katkı sağlamaktadır (AYDIN, 2023).

Günümüzde ortodontide yapay zeka kullanımı; tanı ve tedavi planlaması, otomatik anatomik referans nokta tespiti ve sefalometrik röntgen analizi, büyüme ve gelişimin değerlendirilmesi, tedavi sonuçlarının tahmini ve değerlendirilmesi, hastaların uzaktan takibi ve uyumunun değerlendirilmesi başta olmak üzere birçok klinik uygulamada karşımıza çıkmaktadır (Nordblom et al., 2024).

Yapay Zeka Uygulamalarının Ortodontide Kullanım Alanları

Ortodontik tanı ve görüntüleme yapay zeka kullanımı

Ortodontik tedavilerde tanı, doğru planlama ve sorunsuz bir tedavi süreci için ilk adımı oluşturmaktadır. Ortodontik tanı sürecinde panoramik radyografiler, lateral sefalometrik filmler ve KIBT görüntüleri kullanılmaktadır. Geleneksel olarak bu görüntülerin değerlendirilmesi klinisyenin deneyimine bağlı olarak gerçekleştirilmekte olup, bu durum zaman kaybına ve gözlemciler arası farklılıklara neden olabilmektedir. Son yıllarda gelişen yapay zekâ destekli görüntü yorumlama sistemleri, radyografik verilerin daha kısa sürede, standardize edilerek ve yüksek doğrulukla değerlendirilmesine olanak sağlamıştır (Kazimierczak et al., 2024).

Panoramik radyografiler, dişlerin, alveoler kemik yapıların ve çevre anatomik oluşumların değerlendirilmesinde ortodontik tanının temel görüntüleme yöntemlerinden biridir (Isaacson,

2001). Ancak panoramik görüntülerin manuel olarak incelenmesi; çok sayıda anatomik yapının aynı görüntü üzerinde yer alması, görüntü distorsiyonları ve değerlendiricinin deneyimine bağlı farklılıklar nedeniyle subjektif olabilmektedir. Bu nedenle son yıllarda panoramik radyograflerin değerlendirilmesinde yapay zekâ tabanlı sistemlerin kullanımı giderek yaygınlaşmıştır (Kazimierczak et al., 2024; Lee et al., 2018).

Panoramik radyografler üzerinde geliştirilen yapay zekâ algoritmaları; dişlerin segmentasyonu ve numaralandırılması, gömülü veya eksik dişlerin tespit edilmesi, dental anomalilerin belirlenmesi ile çürük ve periapikal lezyonların saptanması gibi birçok tanısal işlemi yüksek doğrulukla gerçekleştirebilmektedir. Özellikle derin öğrenme tabanlı sistemlerin panoramik görüntüler üzerinde gösterdiği başarılı performans, yapay zekânın klinik karar verme sürecinde etkili bir destek aracı olarak kullanılabilmesini ortaya koymaktadır (Lee et al., 2018; Orhan et al., 2020; Sivari et al., 2023).

Ortodontide tedavi kararlarının önemli bir bölümü sefalometrik analizlerden elde edilen verilere dayanmaktadır. Sefalometrik analizlerin doğruluğu, anatomik referans noktalarının doğru belirlenmesine bağlıdır. Bu nedenle anatomik referans noktalarının doğru belirlenmesi ve ölçümlerin tekrarlanabilir olması klinik açıdan büyük önem taşımaktadır (Proffit et al., 2018). Ancak bazı landmarkların tanımlanmasındaki güçlükler nedeniyle gözlemci içi ve gözlemciler arası farklılıklar ortaya çıkabilmekte, bu durum ölçümlerin tekrarlanabilirliğini etkileyebilmektedir (Baumrind & Frantz, 1971; Houston, 1983). Bu nedenle gelişen yapay zekâ teknolojileri, bu süreçlerin standardizasyonunu artırmak amacıyla sefalometrik analizlere entegre edilmeye başlanmıştır (Bor et al., 2024).

Yapay zekâ tabanlı sistemler, lateral sefalometrik radyografler üzerinde anatomik referans noktalarını otomatik olarak belirleyebilmekte ve sefalometrik analizleri yüksek doğrulukla ve manuel analizlere göre daha kısa sürede gerçekleştirebilmektedir (Hendrickx et al., 2024; Kim et al., 2020; Lee et al., 2020). Ayrıca bu sistemler elde edilen ölçümleri kullanarak bireylerin iskeletsel maloklüzyon paternlerini değerlendirebilmekte ve çenelerin iskeletsel ilişkilerinin belirlenmesinde klinisyene destek sağlayabilmektedir (Liu et al., 2023).

KIBT, kraniyofasiyal yapıların üç boyutta değerlendirilmesine imkan sağlaması nedeniyle ortodontik tanıda yaygın olarak kullanılmaktadır. (Kapila et al., 2011). Ancak KIBT görüntülerinin manuel olarak analiz edilmesi; çok sayıda kesitin incelenmesini gerektirmesi, zaman alıcı olması ve değerlendiricinin deneyimine bağlı olarak farklı sonuçlar ortaya çıkabilmesi gibi bazı sınırlılıklara sahiptir. Bu nedenle son yıllarda KIBT verilerinin daha hızlı, aynı koşullarda ve doğru bir şekilde değerlendirilmesi için yapay zekâ destekli analiz yazılımları geliştirilmiştir (Ezhov et al., 2021; Lahoud et al., 2021).

Yapay zekâ ile geliştirilen algoritmalar KIBT görüntülerinin analizinde giderek daha yaygın kullanılmaktadır. Derin öğrenme yöntemleri sayesinde maksilla ve mandibulanın otomatik segmentasyonu, üst hava yolunun hacimsel değerlendirilmesi, gömülü dişlerin lokalizasyonu, temporomandibular eklem patolojilerinin belirlenmesi ve kök rezorpsiyonlarının tespit edilmesi

yüksek doğrulukla gerçekleştirilebilmektedir. Bu uygulamalar, klinisyenin değerlendirme süresini azaltırken tanısal doğruluğun ve ölçümlerin standardizasyonunun artırılmasına katkı sağlamaktadır (Lee et al., 2025; Meto & Halilaj, 2025; Minnema et al., 2018; Sivari et al., 2023; Sobouti et al., 2026).

Büyüme ve gelişimin yapay zekâ ile değerlendirilmesi

Büyüme ve gelişimin doğru şekilde tespit edilmesi, ortodontik teşhis ve tedavi süreçlerinin temel unsurlarından biridir. Özellikle büyüme modifikasyonu gerektiren sagittal iskeletsel maloklüzyonlarda, bireyin iskeletsel maturasyon düzeyinin belirlenmesi tedavi zamanlamasının başarısını doğrudan etkileyebilmektedir. Geleneksel olarak büyüme ve gelişim değerlendirmesi; el-bilek radyografileri, servikal vertebra maturasyon yöntemi ve kronolojik yaş gibi parametreler kullanılarak yapılmaktadır (Fishman, 1982; Hassel & Farman, 1995). Ancak bu yöntemler gözlemci deneyimine bağlı olmaları nedeniyle subjektif değerlendirmelere neden olabilmektedir.

Son yıllarda yapay zekâ kullanılan sistemler, büyüme ve gelişim değerlendirmelerinde daha objektif ve standart sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır. Özellikle derin öğrenme algoritmaları, el-bilek ve lateral sefalometrik radyografiler üzerinde iskeletsel maturasyon evrelerini otomatik olarak belirleyebilmekte ve büyüme potansiyelini yüksek doğrulukla tahmin edebilmektedir. Bu sistemler, klinisyenin değerlendirme süresini azaltırken gözlemciler arası farklılıkların da önüne geçmektedir. (Makaremi et al., 2019; Tentaş & Özden, 2025). Büyüme ve gelişimin yapay zekâ ile değerlendirilmesi yalnızca mevcut maturasyon aşamasının tespit edilmesiyle sınırlı kalmamakta, aynı zamanda bireyin gelecekteki büyüme potansiyelinin tahmin edilmesine de katkı sağlamaktadır. Bu durum özellikle fonksiyonel aparey tedavileri, maksiller protraksiyon uygulamaları ve ortognatik cerrahi zamanlamasının planlanması açısından önemli avantajlar sunmaktadır (Kazimierczak et al., 2024; Makaremi et al., 2019).

İntraoral tarama ve dijital modellerin yapay zekâ destekli analizi

İntraoral tarayıcıların kullanımıyla elde edilen dijital modeller, ortodontide tanı ve tedavi planlamasında geniş bir veri kaynağı oluşturmaktadır. Yapay zekâ ile geliştirilen sistemler bu modeller üzerinde diş segmentasyonu, otomatik numaralandırma, ark formu analizi ve çeşitli ortodontik ölçümlerin hesaplanması gibi işlemleri gerçekleştirebilmektedir. Ayrıca yapay zekâ algoritmaları, dijital modellerden elde edilen verileri kullanarak tedavi simülasyonları oluşturabilmekte ve planlanan diş hareketlerinin öngörülmesine katkı sağlamaktadır. Bu sayede tanısal süreçlerin hızlandırılması, ölçümlerin standardizasyonu ve daha öngörülebilir tedavi planlarının oluşturulması mümkün olmaktadır (Kazimierczak et al., 2024; Liu et al., 2023; Meto & Halilaj, 2025).

Ortodontide yapay zekâ destekli tedavi planlaması

Ortodontik tedavi planlaması, hastaya özgü klinik ve radyografik verilerin değerlendirilerek uygun tedavi yaklaşımının belirlenmesini içeren çok aşamalı bir süreçtir. Geleneksel olarak bu süreç büyük ölçüde klinisyenin bilgi ve deneyimine dayanmaktadır. Yakın

zamanda gelişmeye devam eden yapay zekâ ile birlikte, büyük veri kümelerinden alınan bilgilerin analiz edilmesi ve yorumlanması mümkün hale gelmiş, böylece tedavi planlaması daha objektif ve öngörülebilir bir yapıya kavuşmuştur. Yapay zekâ tabanlı sistemler; tedavi seçeneklerinin değerlendirilmesi, bireyselleştirilmiş tedavi planlarının oluşturulması ve olası tedavi sonuçlarının tahmin edilmesi gibi alanlarda klinisyenlere karar desteği sağlayabilmektedir. Ayrıca bu sistemler, geçmiş vaka verilerinden öğrenerek farklı tedavi yaklaşımlarının olası etkilerini öngörebilmekte ve tedavi sürecinin daha etkin yönetilmesine katkıda bulunmaktadır (Kazimierczak et al., 2024; Nordblom et al., 2024).

Yapay zekâ tabanlı sistemler, hastaların klinik parametrelerini değerlendirerek çekimli veya çekimsiz tedavi seçeneklerinin belirlenmesinde ortodontistlere karar desteği sağlayabilmektedir (Del Real et al., 2022). Ancak ortodontik tedavide çekim kararı, klinisyenin klinik tecrübesine, eğitimine ve tedavi ekolüne göre değişebilmektedir (Evrard et al., 2019). Yine de son yıllarda gelişen yapay zeka destekli tedavi kararlarının diş çekimli ya da çekimsiz tedavi tahminleri ile uzmanların tedavi kararları arasında yüksek benzerlik bulunmuştur (Jung & Kim, 2016; Li et al., 2019).

Şiddetli dentofasiyal deformiteleri olan yetişkin hastalarda, çenelerin yeniden konumlandırılması için genellikle kombine ortodontik ve ortognatik cerrahi tedavi gereklidir. Ortognatik cerrahi tedavi kararı verilirken en önemli hedef hastanın şikayetinin giderilmesidir. Hastanın şikayeti ve mevcut klinik duruma göre hastaya kamufraj tedavisi ya da ortognatik cerrahi yapılmaktadır. Yapay zekâ destekli programlar ile ortognatik cerrahi tedavi ihtiyacının belirlenmesi; lateral sefalometrik radyograflerin, yüz fotoğraflarının ve yumuşak doku analizlerinin yüksek doğrulukta değerlendirilmesi ile hekimin karar verme sürecine katkı sağlamaktadır (Hong et al., 2022; Jeong et al., 2020).

Bazı yapay zekâ modelleri ayrıca cerrahi vakalarda diş çekimi gereksinimini de öngörebilmektedir (Choi et al., 2019). Bununla birlikte cerrahi karar verme sürecinde evrensel ve kesin kriterlerin bulunmaması nedeniyle geliştirilen modeller büyük ölçüde uzman görüşleri ve klinik deneyimlere dayanmaktadır (Choi et al., 2019; Knoops et al., 2019). Mevcut çalışmaların çoğu belirli hasta grupları üzerinde gerçekleştirilmiş olup, özellikle sınırda vakalarda ve farklı maloklüzyon tiplerinde yapay zekâ sistemlerinin genellenebilirliğinin artırılmasına yönelik daha fazla araştırmaya ihtiyaç bulunmaktadır (Salazar et al., 2024).

Yapay zeka desteği ile ortodontik tedavi sonuçlarının öngörülmesi

Ortodontik ve ortognatik tedavi planlamasında en önemli hedeflerden biri, uygulanacak tedavi sonucunda elde edilecek değişikliklerin mümkün olduğunca doğru şekilde öngörülebilmesidir. Özellikle çekim tedavileri ve ortognatik cerrahi gibi geri dönüşü olmayan işlemlerde, tedavi sonuçlarının önceden tahmin edilmesi hem klinisyen hem de hasta açısından büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda geliştirilen yapay zekâ tabanlı modeller, ortodontik ve ortognatik tedavi sonuçlarının tahmin edilmesinde başarılı sonuçlar ortaya koymuştur (Kazimierczak et al., 2024; Lo et al., 2021; Park et al., 2021; Xu et al., 2022).

Güncel derlemelere göre, yapay zekâ modellerinin ortognatik cerrahi planlaması ve tedavi sonucu tahmininde geleneksel yöntemlerle benzer veya daha yüksek performans gösterebildiği bildirilmiştir (Khanagar et al., 2022). Ayrıca yapay zekâ uygulamaları yalnızca klinik sonuçların değil, şeffaf plak tedavisi sırasında hastaların ağrı düzeyi, kaygı durumu ve yaşam kalitesi gibi hasta deneyimine ilişkin parametrelerin de öngörülmesine olanak sağlamaktadır (Xu et al., 2022).

Ortodontik tedavide yapay zekâ destekli hasta takibi ve uzaktan izlem

Ortodontik tedavide yapay zekâ destekli hasta takibi; kliniklerin hasta yoğunluğunu azalmasına, şehir dışında yaşayan hastaların tedavi takibini uzaktan da yapılabilmesine ve ortodontik aparey kırılması, braket kopması, ligatür batması gibi durumların tespit edilip aciliyetine o an karar verilebilmesine olanak sağlamaktadır (Favero et al., 2009). Bu yaklaşım; başlangıç hizalama ve seviyelendirme aşamalarının değerlendirilmesi, maksiller genişletme tedavilerinin takibi, ağız hijyeninin izlenmesi ve elastik kullanımına uyumun kontrol edilmesi gibi durumlarda da tedavi süreci uzaktan takip etmede hekime yardımcı olmaktadır (Favero et al., 2009). Örneğin Dental Monitoring gibi yapay zekâ uygulamaları ile ortodontist hastaya uzaktan uyarıda ve bildirimde bulanabilir. Böylece hasta kontrol edildiğini ve tedavi süresince dikkatli olması gerektiğini düşünür ve hastanın tedaviye uyumu artırılmış olur (Impellizzeri et al., 2020).

Ortodontide Yapay Zekânın Sınırlılıkları ve Gelecek Perspektifleri

Yapay zekâ uygulamalarının diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılmasının önünde bazı önemli engeller bulunmaktadır. Bunların başında, hasta verilerine erişim ve veri paylaşımındaki kısıtlamalar nedeniyle yeterli büyüklükte ve kalitede veri setlerinin oluşturulamaması gelmektedir. Ayrıca veri işleme süreçlerinin standart olmaması ve birçok çalışmada kullanılan yöntemlerin yeterince tekrarlanabilir olmaması yapay zekâ modellerinin güvenilirliğini sınırlandırmaktadır. Ek olarak yapay zekâ sistemlerinin sunduğu sonuçların klinik karar verme sürecine doğrudan aktarılmasındaki güçlükler, şeffaflık eksikliği ve sorumluluklara ilişkin belirsizlikler de önemli sınırlılıklar olarak görülmektedir (Gianfrancesco et al., 2018; Schwendicke et al., 2019; Schwendicke et al., 2020). Bu sınırlamalar, doğruluğu, erişilebilirliği ve klinisyenlerin yapay zeka sistemlerine olan güvenini azaltabilir.

Yapay zekâ alanındaki gelecekteki gelişmelerin, farklı veri türlerini birlikte analiz edebilen ve daha gelişmiş akıl yürütme yeteneklerine sahip sistemlerin ortaya çıkmasına olanak sağlayacağı öngörülmektedir. Görüntü, metin ve klinik verileri aynı anda değerlendirebilen çok modlu yapay zekâ modelleri sayesinde daha kapsamlı ve doğru klinik karar destek sistemlerinin geliştirilmesi mümkün olacaktır. Ayrıca çevresiyle etkileşim kurabilen, öğrenebilen ve belirli ölçüde planlama yapabilen yapay zekâ sistemleri üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. İnsan benzeri genel yapay zekâ sistemleri henüz klinik kullanıma hazır olmasa da, mevcut gelişmeler gelecekte yapay zekânın diş hekimliği ve ortodontide daha etkin bir rol üstlenebileceğini göstermektedir (Osman & Samek, 2019; Wu et al., 2018).

Sonuç

Sonuç olarak, yapay zekâ uygulamaları ortodontide tanı, tedavi planlaması, büyüme ve gelişimin değerlendirilmesi, tedavi sonuçlarının öngörülmesi ve uzaktan hasta takibi gibi birçok alanda önemli katkılar sağlamaktadır. Özellikle radyografik görüntülerin analizi, sefalometrik landmark tespiti, dijital model değerlendirmeleri ve klinik karar destek sistemlerinde yüksek doğruluk ve zaman tasarrufu sunarak tanısal süreçlerin standardizasyonuna yardımcı olmaktadır. Bununla birlikte, yapay zekâ sistemlerinin performansı kullanılan verilerin kalitesi ve çeşitliliğine bağlı olup, elde edilen sonuçların klinik deneyim ve uzman görüşü ile birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Mevcut teknolojiler klinisyenin yerini almaktan ziyade karar verme sürecini destekleyen araçlar olarak görülmelidir.

Kaynakça

- AYDIN, K. C. (2023). Ağız, Diş ve Çene Radyolojisinde Yapay Zekâ Uygulamaları Neler Yapabiliyor? *Türkiye Klinikleri Oral and Maxillofacial Radiology-Special Topics*, 9(1), 9-15.
- Baumrind, S., & Frantz, R. C. (1971). The reliability of head film measurements: 1. Landmark identification. *American journal of orthodontics*, 60(2), 111-127. DOI: 10.1016/0002-9416(71)90028-5
- Bor, S., Çiğirim, S. Ç., & Kotan, S. (2024). Comparison of AI-assisted cephalometric analysis and orthodontist-performed digital tracing analysis. *Progress in orthodontics*, 25(1), 41. DOI: 10.1186/s40510-024-00539-x
- Choi, H.-I., Jung, S.-K., Baek, S.-H., Lim, W. H., Ahn, S.-J., Yang, I.-H., & Kim, T.-W. (2019). Artificial intelligent model with neural network machine learning for the diagnosis of orthognathic surgery. *Journal of Craniofacial Surgery*, 30(7), 1986-1989. DOI: 10.1097/SCS.0000000000005650
- Del Real, A., Del Real, O., Sardina, S., & Oyonarte, R. (2022). Use of automated artificial intelligence to predict the need for orthodontic extractions. *Korean journal of orthodontics*, 52(2), 102-111. DOI: 10.4041/kjod.2022.52.2.102
- Evrard, A., Tepedino, M., Cattaneo, P. M., & Cornelis, M. A. (2019). Which factors influence orthodontists in their decision to extract? A questionnaire survey. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 11(5), e432. DOI: 10.4317/jced.55709
- Ezhov, M., Gusarev, M., Golitsyna, M., Yates, J. M., Kushnerev, E., Tamimi, D., Aksoy, S., Shumilov, E., Sanders, A., & Orhan, K. (2021). Clinically applicable artificial intelligence system for dental diagnosis with KIBT. *Scientific reports*, 11(1), 15006. DOI: 10.1038/s41598-021-94093-9
- Favero, L., Pavan, L., & Arreghini, A. (2009). Communication through telemedicine: home teleassistance in orthodontics. *European Journal of Paediatric Dentistry*, 10(4), 163-167.
- Fishman, L. S. (1982). Radiographic evaluation of skeletal maturation. *The Angle Orthodontist*, 52(2), 88-112. DOI: 10.1043/0003-3219(1982)052<0088:REOSM>2.0.CO;2
- Gianfrancesco, M. A., Tamang, S., Yazdany, J., & Schmajuk, G. (2018). Potential biases in machine learning algorithms using electronic health record data. *JAMA internal medicine*, 178(11), 1544-1547. DOI: 10.1001/jamainternmed.2018.3763
- Hassel, B., & Farman, A. G. (1995). Skeletal maturation evaluation using cervical vertebrae. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 107(1), 58-66. DOI: 10.1016/s0889-5406(95)70157-5
- Hendrickx, J., Gracea, R. S., Vanheers, M., Winderickx, N., Preda, F., Shujaat, S., & Jacobs, R. (2024). Can artificial intelligence-driven cephalometric analysis replace manual tracing? A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Orthodontics*, 46(4), cjae029. DOI: 10.1093/ejo/cjae029
- Hong, M., Kim, I., Cho, J.-H., Kang, K.-H., Kim, M., Kim, S.-J., Kim, Y.-J., Sung, S.-J., Kim, Y. H., & Lim, S.-H. (2022). Accuracy of artificial intelligence-assisted landmark identification in serial lateral cephalograms of Class III patients who underwent orthodontic treatment and two-jaw orthognathic surgery. *Korean journal of orthodontics*, 52(4), 287-297. DOI: 10.4041/kjod21.248
- Houston, W. (1983). The analysis of errors in orthodontic measurements. *American journal of orthodontics*, 83(5), 382-390. DOI: 10.1016/0002-9416(83)90322-6

- Impellizzeri, A., Horodinsky, M., Barbato, E., Polimeni, A., Philippe, S., & Galluccio, G. (2020). Dental monitoring application: it is a valid innovation in the orthodontics practice? *La Clinica Terapeutica*, *171*(3), 260-267. DOI: 10.7417/CT.2020.2224
- Isaacson, K. G. (2001). Guidelines for the use of radiographs in clinical orthodontics. (*No Title*).
- Jeong, S. H., Yun, J. P., Yeom, H.-G., Lim, H. J., Lee, J., & Kim, B. C. (2020). Deep learning based discrimination of soft tissue profiles requiring orthognathic surgery by facial photographs. *Scientific reports*, *10*(1), 16235. DOI: 10.1038/s41598-020-73287-7
- Jung, S.-K., & Kim, T.-W. (2016). New approach for the diagnosis of extractions with neural network machine learning. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, *149*(1), 127-133. DOI: 10.1016/j.ajodo.2015.07.030
- Kapila, S., Conley, R., & Harrell Jr, W. (2011). The current status of cone beam computed tomography imaging in orthodontics. *Dentomaxillofacial Radiology*, *40*(1), 24-34. DOI: 10.1259/dmfr/12615645
- Kazimierczak, N., Kazimierczak, W., Serafin, Z., Nowicki, P., Nożewski, J., & Janiszewska-Olszowska, J. (2024). AI in orthodontics: Revolutionizing diagnostics and treatment planning—A comprehensive review. *Journal of clinical medicine*, *13*(2), 344. DOI: 10.3390/jcm13020344
- Khanagar, S. B., Alfouzan, K., Awawdeh, M., Alkadi, L., Albalawi, F., & Alghilan, M. A. (2022). Performance of artificial intelligence models designed for diagnosis, treatment planning and predicting prognosis of orthognathic surgery (OGS)—a scoping review. *Applied Sciences*, *12*(11), 5581. DOI: 10.3390/diagnostics14111079
- Kim, H., Shim, E., Park, J., Kim, Y.-J., Lee, U., & Kim, Y. (2020). Web-based fully automated cephalometric analysis by deep learning. *Computer methods and programs in biomedicine*, *194*, 105513. DOI: 10.1016/j.cmpb.2020.105513
- Knoops, P. G., Papaioannou, A., Borghi, A., Breakey, R. W., Wilson, A. T., Jeelani, O., Zafeiriou, S., Steinbacher, D., Padwa, B. L., & Dunaway, D. J. (2019). A machine learning framework for automated diagnosis and computer-assisted planning in plastic and reconstructive surgery. *Scientific reports*, *9*(1), 13597. DOI: 10.1038/s41598-019-49506-1
- Lahoud, P., EzEldeen, M., Beznik, T., Willems, H., Leite, A., Van Gerven, A., & Jacobs, R. (2021). Artificial intelligence for fast and accurate 3-dimensional tooth segmentation on cone-beam computed tomography. *Journal of Endodontics*, *47*(5), 827-835. DOI: 10.1016/j.joen.2020.12.020
- Lee, J.-H., Kim, D.-H., Jeong, S.-N., & Choi, S.-H. (2018). Detection and diagnosis of dental caries using a deep learning-based convolutional neural network algorithm. *Journal of dentistry*, *77*, 106-111. DOI: 10.1016/j.jdent.2018.07.015
- Lee, J.-H., Yu, H.-J., Kim, M.-j., Kim, J.-W., & Choi, J. (2020). Automated cephalometric landmark detection with confidence regions using Bayesian convolutional neural networks. *BMC oral health*, *20*(1), 270. DOI: 10.1016/j.jdent.2018.07.015
- Lee, Y.-H., Kim, H.-S., Jeon, S., Auh, Q.-S., Hong, I. K., Choi, S., Guastaldi, F., Im, H., Noh, Y.-K., & Chaurasia, A. (2025). Deep learning-based diagnosis of temporomandibular joint osteoarthritis using whole-body bone scans. *iScience*, *28*(12). DOI: 10.1186/s12903-020-01256-7
- Li, P., Kong, D., Tang, T., Su, D., Yang, P., Wang, H., Zhao, Z., & Liu, Y. (2019). Orthodontic treatment planning based on artificial neural networks. *Scientific reports*, *9*(1), 2037. DOI: 10.1038/s41598-018-38439-w
- Liu, J., Zhang, C., & Shan, Z. (2023). Application of artificial intelligence in orthodontics: current state and future perspectives. *Healthcare*. DOI: 10.3390/healthcare11202760
- Lo, L.-J., Yang, C.-T., Ho, C.-T., Liao, C.-H., & Lin, H.-H. (2021). Automatic assessment of 3-dimensional facial soft tissue symmetry before and after orthognathic surgery using a machine learning model: a preliminary experience. *Annals of plastic surgery*, *86*(3S), S224-S228. DOI: 10.1097/SAP.0000000000002687
- Makaremi, M., Lacaule, C., & Mohammad-Djafari, A. (2019). Deep learning and artificial intelligence for the determination of the cervical vertebra maturation degree from lateral radiography. *Entropy*, *21*(12), 1222. DOI: 10.3390/e21121222
- Meto, A., & Halilaj, G. (2025). The integration of cone beam computed tomography, artificial intelligence, augmented reality, and virtual reality in dental diagnostics, surgical planning, and education: A narrative review. *Applied Sciences*, *15*(11), 6308. DOI: 10.3390/app15116308
- Minnema, J., van Eijnatten, M., Kouw, W., Diblen, F., Mendrik, A., & Wolff, J. (2018). CT image segmentation of bone for medical additive manufacturing using a convolutional neural network. *Computers in biology and medicine*, *103*, 130-139. DOI: 10.1016/j.combiomed.2018.10.012
- Nordblom, N., Büttner, M., & Schwendicke, F. (2024). Artificial intelligence in orthodontics: critical review. *Journal of Dental Research*, *103*(6), 577-584. DOI: 10.1177/00220345241235606

- Orhan, K., Bayrakdar, I., Ezhov, M., Kravtsov, A., & Özyürek, T. (2020). Evaluation of artificial intelligence for detecting periapical pathosis on cone-beam computed tomography scans. *International endodontic journal*, 53(5), 680-689. DOI: 10.1111/iej.13265
- Osman, A., & Samek, W. (2019). DRAU: dual recurrent attention units for visual question answering. *Computer Vision and Image Understanding*, 185, 24-30. DOI: 10.48550/arXiv.1802.00209
- Park, J. H., Kim, Y.-J., Kim, J., Kim, J., Kim, I.-H., Kim, N., Vaid, N. R., & Kook, Y.-A. (2021). Use of artificial intelligence to predict outcomes of nonextraction treatment of Class II malocclusions. *Seminars in Orthodontics*, DOI: 10.1053/j.sodo.2021.05.005
- Proffit, W. R., Fields, H., Larson, B., & Sarver, D. M. (2018). *Contemporary orthodontics-e-book: contemporary orthodontics-E-Book*. Elsevier Health Sciences.
- Salazar, D., Rossouw, P. E., Javed, F., & Michelogiannakis, D. (2024). Artificial intelligence for treatment planning and soft tissue outcome prediction of orthognathic treatment: A systematic review. *Journal of orthodontics*, 51(2), 107-119. DOI: 10.1177/14653125231203743
- Schwendicke, F., Golla, T., Dreher, M., & Krois, J. (2019). Convolutional neural networks for dental image diagnostics: A scoping review. *Journal of dentistry*, 91, 103226. DOI: 10.1016/j.jdent.2019.103226
- Schwendicke, F. a., Samek, W., & Krois, J. (2020). Artificial intelligence in dentistry: chances and challenges. *Journal of Dental Research*, 99(7), 769-774. DOI: 10.1177/0022034520915714
- Sivari, E., Senirkentli, G. B., Bostanci, E., Guzel, M. S., Acici, K., & Asuroglu, T. (2023). Deep learning in diagnosis of dental anomalies and diseases: A systematic review. *Diagnostics*, 13(15), 2512. DOI: 10.3390/diagnostics13152512
- Sobouti, F., Aryana, M., Mohammad-Rahimi, H., Dadgar, S., Alizadeh-Navaei, R., & Rakhshan, V. (2026). Efficacy of Automatic 3D Segmentation of the Upper Airway in KIBT or CT Scans via Artificial Intelligence Versus Manual Segmentation by Human Experts: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Clinical and Experimental Dental Research*, 12(2), e70314. DOI: 10.1002/cre2.70314
- Tentaş, S., & Özden, S. (2025). Deep Learning Based Evaluation of Skeletal Maturation: A Comparative Analysis of Five Hand-Wrist Methods. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 28(6), 943-954. DOI: 10.1111/ocr.70008
- Wu, J., Liu, X., Zhang, X., He, Z., & Lv, P. (2018). Master clinical medical knowledge at certificated-doctor-level with deep learning model. *Nature communications*, 9(1), 4352. DOI: 10.1038/s41467-018-06799-6
- Xu, L., Mei, L., Lu, R., Li, Y., Li, H., & Li, Y. (2022). Predicting patient experience of Invisalign treatment: an analysis using artificial neural network. *Korean journal of orthodontics*, 52(4), 268-277. DOI: 10.4041/kjod21.255

BÖLÜM 0

ORTOGNATİK CERRAHİDE DİJİTAL PLANLAMA VE YAPAY ZEKA

1.HANDAN GÖZE OĞUZ¹

Giriş

Ortognatik cerrahi, ortodonti ve maksillofasiyal cerrahiyi içeren disiplinlerarası bir alan olup, ortodontik tedavinin tek başına yetersiz kaldığı durumlarda, esas olarak anormal gelişimden kaynaklanan iskeletsel ve fonksiyonel çene anomalilerinin düzeltilmesine odaklanmaktadır. Bu cerrahi yaklaşım, ortodontik hazırlık ve takip tedavisi ile birlikte yüz estetiği üzerinde önemli bir etkiye sahip olmakta, dental oklüzyonun yeniden sağlanmasına katkıda bulunmakta ve hastaların genel yaşam kalitesi ile özgüvenini artırmaktadır. Ortognatik tedavi planlaması; klinik muayene, oklüzal ilişkilerin değerlendirilmesi, görüntüleme incelemeleri, sefalometrik analiz ve ortodontik hazırlığı içermektedir (Alten et al., 2023; Seo & Choi, 2021).

Ortognatik cerrahide başarılı sonuçlar elde edilmesi, doğru tanı ve ayrıntılı klinik değerlendirmelere bağlıdır (Pascal et al., 2018). Uzun yıllar boyunca kullanılan geleneksel cerrahi planlama (Traditional Surgical Planning; TSP), klinik muayeneleri, iki boyutlu radyografileri, fotoğrafları ve alçı model cerrahisini içeren çok aşamalı bir süreç olarak uygulanmıştır. Bu yöntem, çene pozisyonunun facebow aracılığıyla kraniyuma göre aktarılması gibi klinik verilerin fiziksel modellere transfer edilmesini gerektirmektedir. Bununla birlikte, TSP hata potansiyeli taşımaktadır. Özellikle facebow transferindeki hatalar, Frankfurt horizontal düzlemi ile uyumsuzluk durumunda önemli planlama hatalarına neden olabilmektedir (D. T. S. Li & Leung, 2022). Ayrıca iki boyutlu görüntüleme yöntemlerinin doğal sınırlılıkları, derinlik algısının yetersiz kalmasına ve karmaşık üç boyutlu anatomik yapıların tam olarak değerlendirilememesine yol açmaktadır. Lateral sefalogramlar sagittal değişikliklerin değerlendirilmesinde yeterli olmakla birlikte, özellikle roll ve yaw düzlemlerindeki asimetrielerin değerlendirilmesinde yetersiz kalabilmektedir (D. T. S. Li & Leung, 2022). Buna ek olarak, cerrahi splint oluşturma sürecindeki çok sayıda aşama, başlangıç hatalarının büyümesine ve özellikle üç boyutlu ortognatik cerrahi planlamasında doğruluğu azalmasına neden olabilmektedir (Kielczykowski, Kamiński, Perkowski, Zadurska, & Czochrowska, 2023).

Dijital teknolojide üç boyutlu görüntüleme teknolojileri ve Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi (KIBT) sistemlerinin kullanıma girmesiyle birlikte bilgisayar destekli cerrahi

¹ Ortodontist, Özel Klinik, Malatya-Türkiye, aydin_handan_01@hotmail.com, Orcid: 0000-0002-1101-7540

simülasyonlar geliştirilmiştir. Bu sistemler sefalometrik analizlerin gerçekleştirilmesine, sanal cerrahi planlamaya, splint üretimine ve cerrahi simülasyonların oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Üç boyutlu görüntüleme; yaw rotasyonları, oklüzal düzlem eğimi ve mandibula korpusu ile ramus uzunluklarındaki farklılıklar gibi dentofasiyal deformitelerin karmaşık iskeletsel özelliklerinin daha ayrıntılı biçimde görselleştirilmesini sağlamaktadır (Ho, Lin, Liou, & Lo, 2017; T.-Y. Wu, Lin, Lo, & Ho, 2017).

Ortognatik cerrahide dijital iş akışının önemli bileşenlerinden biri de üç boyutlu baskı teknolojileridir. Bu teknoloji, dijital görüntülerden fiziksel üç boyutlu modeller üretilmesine olanak tanımakta; oklüzal splintler, osteotomi kılavuzları, yeniden konumlandırma kılavuzları, spacerlar, anatomik modeller ve fiksasyon plakları gibi çok sayıda uygulamada kullanılmaktadır (Lin, Lonic, & Lo, 2018). Bunun yanı sıra sanal cerrahi planlama, cerraha anatomik yapıların ayrıntılı üç boyutlu görünümünü sunarak cerrahi planın oluşturulmasını kolaylaştırmakta ve tedavi sonuçlarında önemli iyileşmeler sağlamaktadır (Alkhayer, Piffkó, Lippold, & Segatto, 2020; Lin et al., 2018).

Son yıllarda sağlık alanında yaşanan teknolojik gelişmeler, yapay zekâ (YZ) uygulamalarının da hızla yaygınlaşmasına yol açmıştır (Esteve et al., 2017; R. Li, Xiao, Huang, Hassan, & Huang, 2022). Ortognatik cerrahide YZ; KIBT, manyetik rezonans görüntüleme (MRG) ve üç boyutlu yüz taramaları gibi görüntüleme verilerinin analizinde, sanal cerrahi planlamada, cerrahi sonuçların tahmin edilmesinde ve kişiselleştirilmiş tedavi stratejilerinin geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Dental oklüzyonun değerlendirilmesi, sefalometrik analizlerin gerçekleştirilmesi ve hasta-spesifik tedavi planlarının oluşturulması gibi süreçlerde yapay zekâ destekli sistemler, cerrahi işlemlerin hassasiyetini, verimliliğini ve öngörülebilirliğini artırmaktadır. Ayrıca tedavi hatalarının azaltılmasına katkı sağlayarak daha başarılı klinik sonuçlar ve daha yüksek hasta memnuniyeti elde edilmesine yardımcı olmaktadır (Rokhshad, Keyhan, & Yousefi, 2023).

Bu bölümde ortognatik cerrahide dijital tanı yöntemleri, sanal cerrahi planlama, CAD/CAM teknolojileri, üç boyutlu baskı uygulamaları ve yapay zekânın güncel kullanım alanları ele alınacak; bu teknolojilerin sağladığı avantajlar, mevcut sınırlılıkları ve gelecekteki gelişim potansiyelleri güncel literatür ışığında değerlendirilecektir.

Ortognatik Cerrahide Dijital Görüntüleme

Dijital teknolojilerin klinik kullanıma girmesiyle birlikte, ortognatik cerrahide yararlanılan görüntüleme yöntemlerinin tanısal kapasitesi önemli ölçüde artmış ve tedavi planlaması daha öngörülebilir hale gelmiştir. Bu görüntüleme yöntemleri ortognatik cerrahide üç boyutlu sanal cerrahi planlamanın ilk aşamasını oluşturur. Planlama sürecinde kullanılacak görüntülerin standartlaştırılmış protokollere uygun şekilde elde edilmesi gerekmektedir (Donaldson, Manisali, & Naini, 2021). Bu amaçla çeşitli görüntüleme yöntemleri belirli protokollerle kayıt altına alınmalıdır.

Renkli fotoğraflar ve videolar; hasta doğal baş pozisyonundayken (Natural Head Position; NHP) elde edilmektedir (Lundström, Lundström, Le Bret, & Moorrees, 1995). Fotoğraf serisi; sağ ve sol profil görüntüleri, 45° açıyla alınmış görüntüler ile hastanın istirahat ve gülümseme hâlindeki frontal görüntülerini içermelidir. Videolar ise gülümseme ve konuşma

gibi fonksiyonlar sırasında yumuşak dokuların dinamik olarak değerlendirilmesine ve kaydedilmesine olanak sağlamaktadır. Görüntülerin standardizasyonunun sağlanabilmesi için hastalara standart talimatlar verilmesi önerilmektedir (Donaldson et al., 2021).

Üç boyutlu yüz tarayıcıları; dış yüz morfolojisinin hassas şekilde kaydedilmesini sağlayarak kantitatif estetik analizlerin yapılmasına ve elde edilen verilerin KIBT görüntüleri ile birleştirilerek ortak bir kraniyofasiyal model oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Bu entegrasyon, yumuşak doku simülasyonlarının gerçekleştirilmesini kolaylaştırmakta ve hasta ile iletişim sürecini desteklemektedir (J. T. W. Li & Leung, 2025). Üç boyutlu yüz tarayıcıları, yapılandırılmış ışık, lazer triangülasyonu ve stereo-fotogrametri teknikleriyle yüzün üç boyutlu görüntüsünü elde etmede kullanılmaktadır (Donaldson et al., 2021). Bu alanda en sık kullanılan 3dMDface sistemi (3dMD LLC, Atlanta, GA, ABD), bir flaş sistemi ile iki adet ofset görüntüleme ünitesinden oluşmaktadır. Sistem, tek bir taramada kulaktan kulağa uzanan 180°'lik yüz bölgesini yaklaşık 1,5 ms içerisinde, yüksek çözünürlükte ve 0,2 mm'nin altında geometrik hata ile görüntüleyebilmektedir. Bununla birlikte, optik tarama teknolojilerinin saçları gürültü olarak algılayabilmesi nedeniyle yüzey modelinde boşluklar oluşabilmektedir (Donaldson et al., 2021).

KIBT; kemik ve dental yapıların yüksek çözünürlüklü ve distorsiyonsuz üç boyutlu görüntülerinin elde edilmesini sağlayan temel görüntüleme teknolojilerinden biridir. Bu teknoloji, ramus kalınlığındaki farklılıklar gibi anatomik varyasyonların hassas şekilde değerlendirilmesine olanak tanımakta olup, özellikle bisagittal split ramus osteotomisi gibi ayrıntılı planlama gerektiren işlemlerde önemli rol oynamaktadır (Yeung, Wong, Li, Lo, & Leung, 2021). Ayrıca KIBT verileri, osteotomi yollarının ayrıntılı olarak değerlendirilmesini sağlayarak desendan palatin arter gibi önemli anatomik yapıların korunmasına katkıda bulunmakta ve cerrahi güvenliği artırmaktadır (Hui, Hung, Bornstein, & Leung, 2022). KIBT görüntülerinin elde edilmesi sırasında hastanın sentrik ilişkide, doğal baş pozisyonunda, hareketsiz ve yüz mimik kasları istirahat hâlindeyken bulunması gerekmektedir. Bu nedenle hastaya görüntüleme öncesinde açık ve anlaşılır talimatlar verilmesi önerilmektedir. Görüntüleme sırasında yumuşak dokuların, oklüzal kayıt materyalleri veya baş pozisyonunu sabitlemek amacıyla kullanılan cihazlar nedeniyle deformasyona uğramamasına dikkat edilmelidir (Donaldson et al., 2021).

KIBT'ta görüntüleme alanı, kraniokaudal yönde burun ve yumuşak doku çeneyi, lateral yönde ise sağ ve sol temporomandibular eklemleri kapsayacak şekilde belirlenmelidir. Önemli anatomik yapıların ışın distorsiyonundan etkilenmesini önlemek amacıyla görüntüleme alanının sınırlarının yaklaşık 10 mm genişletilmesi önerilmektedir. Kesme kılavuzları ve plakların üretileceği durumlarda, tarama çözünürlüğünün yükseklik, genişlik ve derinlikte maksimum 0,3 mm voksel boyutuna sahip olacak şekilde ayarlanması önerilmektedir. Kesme kılavuzu ve plak üretiminin planlanmadığı durumlarda ise maksimum 0,5 mm³ voksel boyutu kabul edilebilir. Tarama işlemi, preoperatif ortodontik tedavinin tamamlanmasının ardından gerçekleştirilmekte ve elde edilen görüntüler Dijital Görüntüleme ve Tıpta İletişim (Digital Imaging and Communications in Medicine; DICOM) formatında kaydedilip aktarılmaktadır (Donaldson et al., 2021).

İntraoral tarayıcılar; KIBT görüntülemesinin sınırlamaları nedeniyle rutinde kullanılmaya başlanmıştır. KIBT görüntülerinde artefaktlar nedeniyle dentisyon, oklüzyon ve interküspidasyon ayrıntılarını her zaman yeterli doğrulukla yansıtamayabilmektedir. İntraoral tarama, geleneksel aljinat ölçülere kıyasla daha fazla zaman gerektirebilmekle birlikte, üç boyutlu cerrahi planlama yazılımlarıyla doğrudan entegrasyon sağlaması ve elde edilen verilerin ek işlem gerektirmeden kullanılabilmesine olanak tanınması nedeniyle önemli avantajlar sunmaktadır (J. T. W. Li & Leung, 2025). İntraoral tarayıcılar; triangülasyon, konfokal görüntüleme, aktif wavefront örnekleme ve yapılandırılmış ışık teknolojilerine dayalı olarak geliştirilmiştir (Donaldson et al., 2021).

Dijital Görüntülerin Hizalanması ve Birleştirilmesi

Dijital görüntüler standart protokollerde elde edildikten sonra, görüntülerin hizalanıp birleştirilmesi işlemine geçilir. Görüntülerinin hizalanması, sanal hasta modelinin oluşturulabilmesi amacıyla yinelemeli en yakın nokta (iterative closest point; ICP) eşleştirmesi gibi rijit nokta kümesi kayıt algoritmaları kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Plooij et al., 2011). ICP eşleştirmesi, iki veri nokta kümesini aralarındaki farkı en aza indirecek şekilde hizalamak için yinelemeli bir algoritma kullanmaktadır. Bu işlem sonucunda, bir veri kümesinden diğerine ait translasyonel ve rotasyonel hareketleri içeren dönüşüm elde edilmektedir (Donaldson et al., 2021). Hizalanmalar birildikten sonra sanal hasta modeli oluşturulup cerrahi planlama sürecine geçilir. Bu amaçla çeşitli programlar kullanılmaktadır.

IPS CaseDesigner (KLS Martin, Tuttlingen, Almanya), ProPlan CMF (Materialise NV, Leuven, Belçika), 3dMDvultus (3dMD LLC, Atlanta, GA, ABD), Dolphin Imaging (Dolphin Imaging & Management Solutions, Chatsworth, CA, ABD) ve Invivo6 (Anatomage, Santa Clara, CA, ABD) yazılımlarının tamamı, üç boyutlu görüntülerin birleştirilmesinde kayıt algoritmalarından yararlanmakta ve aynı zamanda bilgisayar destekli cerrahi simülasyon yapılmasına olanak sağlamaktadır (Donaldson et al., 2021). Bu programların her biri kendine özgü veri hazırlama, görüntü birleştirme ve sanal cerrahi planlama süreçlerine sahip olmakla birlikte, ortak amaçları hastaya özgü anatomik yapıların doğru şekilde temsil edilmesi ve cerrahi sonucun önceden öngörülebilir hale getirilmesidir. Bu sayede cerrahi hareketlerin sanal ortamda değerlendirilmesi, olası komplikasyonların azaltılması ve cerrahi doğruluğun artırılması mümkün olmaktadır.

Bu amaçla görüntülerin Hounsfield birimlerine göre renk ve opaklık değerleri atanmakta ve bu bilgiler kullanılarak hacimsel görüntü modelleri oluşturulmaktadır (Pelizzari et al., 1996). Bu yöntemin temel avantajı, anatomik ayrıntının korunabilmesidir. Bununla birlikte, hacim işleme yöntemi sanal osteotomilerin gerçekleştirilmesine veya kemik segmentlerinin hareketlerinin simüle edilmesine olanak sağlamaktadır (Donaldson et al., 2021).

Kesit görüntüleme yöntemi ise voksellerin katmanlarının veya işlenmiş konturların ardışık iki boyutlu görüntüler hâlinde incelenmesine olanak sağlamaktadır. Bu görüntüler genellikle sagittal, koronal ve aksiyel düzlemlerde değerlendirilmektedir. Sanal hasta modeli ise hareket ettirilebilen sanal bir kamera aracılığıyla üç boyutlu projeksiyon şeklinde görüntülenebilmektedir (Donaldson et al., 2021).

KIBT görüntülerinin çözünürlüğü, kondil başlarının yüzeylerini glenoid fossa yüzeylerinden ve maksiller dentisyonu mandibular dentisyondan ayırabilecek düzeyde olmayabilmektedir. Bu nedenle söz konusu yapıların ayrıştırılabilmesi amacıyla segmentasyon işlemi uygulanmaktadır. Segmentasyon, yapı sınırlarının manuel, yarı otomatik veya otomatik algoritmalar kullanılarak belirlenmesi ve ardından renk kodlanması sürecini ifade etmektedir. Bu amaçla sıklıkla aktif kontur temelli segmentasyon yöntemlerinden yararlanılmaktadır (Yushkevich et al., 2006). Gerekli görüntülerin elde edilmesi, birleştirilmesi, işlenmesi ve segmentasyon işlemlerinin tamamlanmasının ardından, üç boyutlu sanal cerrahi planlamada kullanılabilecek sanal hasta modeli oluşmuştur (Donaldson et al., 2021).

Ortognatik Cerrahide Dijital Planlama

Sanal hasta modeli oluşturulduktan sonra, dijital cerrahi planlama sürecine geçilir. Bu süreçte maksillofasiyal cerrah ve ortodontistten oluşan multidisipliner bir ekip tarafından planlama toplantısı gerçekleştirilmektedir.

Planlama oturumu sırasında hastaya ait klinik fotoğraf ve videoların hazır bulundurulması büyük önem taşımaktadır. Bu kayıtlar, doğal baş pozisyonunun (NHP) doğrulanmasına, istirahat ve fonksiyon sırasında kesici diş görünümünün değerlendirilmesine ve yumuşak doku orta hattının kemik orta hattına göre konumunun belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca orta yüz iskeletsel düzleminin belirlenmesi otomatik olarak gerçekleştirilebilmektedir (De Momi et al., 2006).

KIBT görüntüleri; temporomandibular eklemlerin, oro-, nazo- ve hipofarenksin sistematik olarak değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır (El & Palomo, 2010). Bunun yanı sıra diş köklerinin morfolojisi ve uzunluğu (Sherrard, Rossouw, Benson, Carrillo, & Buschang, 2010), köklerin alveoler kemik içerisindeki konumu ile fenestrasyon ve dehiscensler de değerlendirilebilmektedir (Shemesh, Cristescu, Wesselink, & Wu, 2011). Yüz kemiklerinin morfolojik özelliklerinin incelenmesi, anteroposterior, vertikal ve transversal yönlerdeki iskeletsel uyumsuzlukların belirlenmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca temporomandibular eklemlerin doğru pozisyonda olup olmadığının değerlendirilmesi planlama sürecinin önemli aşamalarından birini oluşturmaktadır (Donaldson et al., 2021). Bu görüntülerin değerlendirilmesinden sonra cerrahi hareketler planlanmaktadır.

Cerrahi planın oluşturulmasının ardından sanal osteotomiler gerçekleştirilmektedir. Vakanın ihtiyacına göre maxilla-first veya mandibula first cerrahileri planlanabilmektedir. Çeneleri saat yönünün tersine rotasyona uğratıldığı vakalarda mandible-first yaklaşımının daha öngörülebilir sonuçlar sağlayabildiği belirtilmiştir (Liebregts et al., 2017). Sanal osteotomisi gerçekleştirilen maksiller segmentler, üç uzaysal düzlemde (x, y ve z) translasyonel hareketler uygulanarak yeniden konumlandırılmaktadır. Bunu takiben, roll, pitch ve yaw hareketlerini temsil eden x, y ve z eksenleri etrafında rotasyonel düzenlemeler gerçekleştirilmektedir (Naini, 2025).

Bu düzenlemelerin dijital planlama aracılığıyla gerçekleştirilebilmesinin önemli avantajlarından biri, kraniyofasiyal kemik yapılardan elde edilen referans noktaları ve düzlemlerin kullanılabilmesidir. Orbital distopinin bulunmadığı durumlarda, maksiller kant, osteotomize edilmiş maksiller segmentin sagittal eksen (x ekseni) etrafındaki roll hareketinin

düzenlenmesi ve orbitlerin referans alınmasıyla düzeltilmektedir. Osteotomize maksiller segmentin pitch hareketinin (transvers eksen etrafındaki rotasyon) ayarlanması, üst kesici diş eğiminin gerçek vertikal düzleme göre düzeltilmesine olanak sağlamaktadır. Yaw düzeltmesi ise (vertikal eksen etrafındaki rotasyon) maksiller orta hattın yüz orta hattı ile uyumlu hâle getirilmesini sağlamaktadır. Bu özellik, özellikle üç boyutlu kompleks rotasyonel düzeltmeler gerektiren yüz asimetrisi vakalarında önem taşımaktadır (Brito & Mordente, 2018).

Dijital Cerrahi Plakların Üretilmesi

Gerekli planlama ve osteotomiler yapıldıktan sonra çeneler final konumuna gelmiş olur. Bu aşamada ameliyatta kullanılmak üzere cerrahi plakların üretimi aşamasına geçilir. CAD/CAM teknolojisi ile üretilen plaklar, ortognatik cerrahi sırasında sanal planın doğru şekilde uygulanabilmesine yardımcı olmak amacıyla tasarlanmaktadır. Bu kılavuzlar, planlanan osteotomilerin doğru bölgelerde gerçekleştirilmesini ve kemik segmentlerinin önceden belirlenmiş pozisyonlara taşınmasını sağlamaktadır. Böylece cerrahi doğruluğun artırılması ve operasyon süresinin azaltılması mümkün olabilmektedir (Donaldson et al., 2021). Bu yaklaşım, özellikle kompleks asimetri ve çok parçalı osteotomilerin söz konusu olduğu vakalarda önemli avantajlar sağlamaktadır (Donaldson et al., 2021).

Öte yandan, CAD/CAM plak ve kılavuz sistemlerinin kullanımı ek maliyet gerektirmekte ve cerrahi öncesi planlama sürecinin daha ayrıntılı yürütülmesini zorunlu kılmaktadır. Ayrıca sanal planlama ile cerrahi uygulama arasında uyumsuzluk oluşması durumunda intraoperatif modifikasyonların gerçekleştirilmesi güçleşebilmektedir (Donaldson et al., 2021).

Ortognatik Cerrahide Yapay Zekâ Uygulamaları

Oral ve maksillofasiyal cerrahide yapay zekâ görüntüleri analiz etme, görüntü kalitesinin iyileştirmesi, anatomik landmarkları belirleme ve ilgili yapıların segmentasyonunun gerçekleştirme gibi işlemlerde kullanılabilir. (Sankar et al., 2025).

Segmentasyon ve modelleme temelli yapay zekâ uygulamaları, sanal cerrahi planlama akışlarına entegre edilmiştir. Bu entegrasyon sonucu cerrahların operasyon öncesinde cerrahi işlemleri sanal ortamda hızlı ve doğru bir şekilde planlamalarına ve cerrahi kılavuzlarla implantlar tasarlamalarına olanak tanımaktadır. (Sankar et al., 2025).

Derin öğrenme algoritmaları ayrıca sanal plarlardan cerrahi sonuçların tahmin edilmesinde de kullanılmaktadır. Bazı yapay zekâ modellerinin, çenelerin yeniden konumlandırılmasının ardından oluşan yumuşak doku değişikliklerini simüle edebildiği ve yaklaşık 1 mm hata ile milimetre altı doğruluk sağlayabildiği bildirilmiştir (Toffaha, Simsekler, Omar, & ElKebbi, 2025). Bu simülasyonlar, ameliyat sonrası görünümün önceden görselleştirilmesine olanak sağlayarak hem cerrahların planlama sürecine hem de hastaların bilgilendirilmiş onam sürecine katkıda bulunmaktadır.

Planlama aşamasının ötesinde, yapay zekâ teknolojileri intraoperatif uygulamalarda da kullanılmaya başlanmıştır. Yapay zekâ destekli artırılmış gerçeklik (Augmented Reality; AR) ve bilgisayarlı görü sistemleri, operasyon sırasında cerrahlara gerçek zamanlı rehberlik sağlayabilmektedir (Rana, Sakkas, Zimmermann, Kostyuk, & Schwarz, 2026).

Yapay zekânın ortognatik cerrahideki etkisi yalnızca klinik uygulamalarla sınırlı değildir. Randevu planlama, hasta yönlendirme, dokümantasyon ve diğer idari süreçlerin yönetiminde de kullanılabilir. Bu süreçlerin otomatikleştirilmesi, iş yükünün azaltılmasına ve klinik verimliliğin artırılmasına katkı sağlamaktadır (Rana et al., 2026). Öngörücü analizlerin otomasyon sistemleriyle birleştirilmesi, randevu yönetiminin daha verimli ve esnek şekilde yürütülmesine olanak tanımakta; böylece klinik kaynakların daha etkin kullanılmasını desteklemektedir (Rana et al., 2026).

Yapay zekâ, oral ve maksillofasiyal cerrahide hasta iletişimini ve hasta katılımını geliştirmek amacıyla da kullanılmaktadır. Özellikle sohbet botları ve sanal asistanlar, hastaların sık sorulan sorularına günün her saatinde yanıt verebilmekte ve ameliyat öncesi ile sonrası süreçlerde bilgilendirme sağlayabilmektedir (Michelutti et al., 2025; Shhadeh et al., 2025). Doğal dil işleme teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde yapay zekâ sistemleri, karmaşık tıbbi bilgilerin daha anlaşılır hâle getirilmesine katkıda bulunmaktadır. Büyük dil modelleri, radyoloji raporları ve tedavi planları gibi teknik içerikleri hastaların anlayabileceği şekilde sadeleştirebilmekte, böylece hasta eğitimi ve tedaviye uyum desteklenebilmektedir (Gala, Behl, Shah, & Makaryus, 2024).

Yapay zekâ destekli sistemler, tele-tıp uygulamaları ve sanal konsültasyonlarda da kullanılabilir. Bu sistemler görüşmeleri yazılı hâle dönüştürebilmekte, hasta sorularını analiz edebilmekte ve kişiselleştirilmiş bilgi sunabilmektedir (Gilson et al., 2023). Ayrıca ameliyat sonrası takip süreçlerinde ağrı, şişlik ve diğer hasta bildirimlerini değerlendirerek olası komplikasyonların erken dönemde belirlenmesine yardımcı olabilmektedir (Ronsivalle, Santonocito, Cammarata, Lo Muzio, & Cicciù, 2025).

Bununla birlikte, yapay zekâ uygulamalarının hasta-hekim ilişkisinin yerini alması değil, bu ilişkiyi desteklemesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle yapay zekâ sistemlerinin rutin iletişim görevlerinde kullanılması, karmaşık ve duyarlılık gerektiren durumların ise klinisyenler tarafından değerlendirilmesi önerilmektedir (Kim et al., 2016).

Sonuç

Dijital ortognatik cerrahi planlama ve yapay zekâ uygulamaları, geleneksel yöntemlere kıyasla daha doğru, öngörülebilir ve hasta odaklı bir tedavi yaklaşımı sunmaktadır. Teknolojik gelişmelerin devam etmesi, büyük veri tabanlarının oluşturulması ve yapay zekâ sistemlerinin daha kapsamlı klinik doğrulamalardan geçirilmesiyle birlikte, gelecekte ortognatik cerrahi planlama süreçlerinin daha da otomatize olacağı ve kişiselleştirilmiş tedavi yaklaşımlarının yaygınlaşacağı öngörülmektedir. Ancak tüm bu gelişmelere rağmen, klinik deneyim ve uzman değerlendirmesi tedavi planlama sürecinin temel unsuru olmaya devam edecektir.

Kaynakça

Alkhayer, A., Piffkó, J., Lippold, C., & Segatto, E. (2020). Accuracy of virtual planning in orthognathic surgery: a systematic review. *Head & face medicine*, 16(1), 34. <https://doi.org/10.1186/s13005-020-00250-2>

- Alten, A., Gündeş, E., Tuncer, E., Kozanoğlu, E., Akalın, B. E., & Emekli, U. (2023). Integrating artificial intelligence in orthognathic surgery: A case study of ChatGPT's role in enhancing physician-patient consultations for dentofacial deformities. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*, 87, 405-407. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2023.10.097>
- Brito, H. H. d. A., & Mordente, C. M. (2018). Facial asymmetry: virtual planning to optimize treatment predictability and aesthetic results. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 23, 80-89. <https://doi.org/10.1590/2177-6709.23.6.080-089.bbo>
- Brüllmann, D., & Schulze, R. (2015). Spatial resolution in KIBT machines for dental/maxillofacial applications—what do we know today? *Dentomaxillofacial Radiology*, 44(1), 20140204. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20140204>
- De Momi, E., Chapuis, J., Pappas, I., Ferrigno, G., Hallermann, W., Schramm, A., & Caversaccio, M. (2006). Automatic extraction of the mid-facial plane for cranio-maxillofacial surgery planning. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 35(7), 636-642. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2006.01.028>
- Donaldson, C. D., Manisali, M., & Naini, F. B. (2021). Three-dimensional virtual surgical planning (3D-VSP) in orthognathic surgery: Advantages, disadvantages and pitfalls. *Journal of Orthodontics*, 48(1), 52-63. <https://doi.org/10.1177/1465312520954871>
- El, H., & Palomo, J. M. (2010). Measuring the airway in 3 dimensions: a reliability and accuracy study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 137(4), S50. e51-S50. e59. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2009.11.010>
- Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R. A., Ko, J., Swetter, S. M., Blau, H. M., & Thrun, S. (2017). Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *nature*, 542(7639), 115-118. 10.1038/nature21056
- Gala, D., Behl, H., Shah, M., & Makaryus, A. N. (2024). *The role of artificial intelligence in improving patient outcomes and future of healthcare delivery in cardiology: a narrative review of the literature*. Paper presented at the Healthcare. <https://doi.org/10.3390/healthcare12040481>
- Gateno, J., Xia, J. J., & Teichgraeber, J. F. (2011). New 3-dimensional cephalometric analysis for orthognathic surgery. *Journal of oral and maxillofacial surgery*, 69(3), 606-622. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2010.09.010>
- Gilson, A., Safranek, C. W., Huang, T., Socrates, V., Chi, L., Taylor, R. A., & Chartash, D. (2023). How does ChatGPT perform on the United States Medical Licensing Examination (USMLE)? The implications of large language models for medical education and knowledge assessment. *JMIR medical education*, 9, e45312. 10.1038/srep40423
- Ho, C.-T., Lin, H.-H., Liou, E. J., & Lo, L.-J. (2017). Three-dimensional surgical simulation improves the planning for correction of facial prognathism and asymmetry: a qualitative and quantitative study. *Scientific reports*, 7(1), 40423. 10.1038/srep40423
- Hui, L., Hung, K. F., Bornstein, M. M., & Leung, Y. Y. (2022). Linear and angular measurement using cone-beam computed tomography to enhance safety in Le Fort I osteotomy with tuberosity cut. *Clinical Oral Investigations*, 26(12), 7095-7105. doi. 10.1007/s00784-022-04669-6
- Jayarathne, Y. S., Zwahlen, R. A., Lo, J., & Cheung, L. K. (2010). Three-dimensional color maps: a novel tool for assessing craniofacial changes. *Surgical innovation*, 17(3), 198-205. <https://doi.org/10.1177/1553350610370752>
- Kargilis, D. C., Xu, W., Reddy, S., Ramesh, S. S. K., Wang, S., Le, A. D., & Rajapakse, C. S. (2025). Deep learning segmentation of mandible with lower dentition from cone beam CT. *Oral Radiology*, 41(1), 1-9. doi: 10.1007/s11282-024-00770-6

- Kielczykowski, M., Kamiński, K., Perkowski, K., Zadurska, M., & Czochrowska, E. (2023). Application of artificial intelligence (AI) in a cephalometric analysis: a narrative review. *Diagnostics*, *13*(16), 2640. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13162640>
- Kim, S. G., Theera-Ampornpunt, N., Fang, C.-H., Harwani, M., Grama, A., & Chaterji, S. (2016). Opening up the blackbox: an interpretable deep neural network-based classifier for cell-type specific enhancer predictions. *BMC systems biology*, *10*(Suppl 2), 54. doi: 10.1186/s12918-016-0302-3
- Li, D. T. S., & Leung, Y. Y. (2022). Patient-Specific Implants in Orthognathic Surgery. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America*, *35*(1), 61-69. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.coms.2022.06.004>
- Li, J. T. W., & Leung, Y. Y. (2025). Digital Diagnostics and Treatment Planning for Orthognathic Surgery. *Australian Dental Journal*, *70*, S82-S92. <https://doi.org/10.1111/adj.70020>
- Li, R., Xiao, C., Huang, Y., Hassan, H., & Huang, B. (2022). Deep learning applications in computed tomography images for pulmonary nodule detection and diagnosis: A review. *Diagnostics*, *12*(2), 298. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12020298>
- Liebrechts, J., Baan, F., de Koning, M., Ongkosuwito, E., Bergé, S., Maal, T., & Xi, T. (2017). Achievability of 3D planned bimaxillary osteotomies: maxilla-first versus mandible-first surgery. *Scientific reports*, *7*(1), 9314. DOI: 10.1038/s41598-017-09488-4
- Lin, H.-H., Lonic, D., & Lo, L.-J. (2018). 3D printing in orthognathic surgery– A literature review. *Journal of the Formosan Medical Association*, *117*(7), 547-558. <https://doi.org/10.1016/j.jfma.2018.01.008>
- Lundström, A., Lundström, F., Lebet, L., & Moorrees, C. (1995). Natural head position and natural head orientation: basic considerations in cephalometric analysis and research. *European Journal of Orthodontics*, *17*(2), 111-120. <https://doi.org/10.1093/ejo/17.2.111>
- Michelutti, L., Tel, A., Robiony, M., Marini, L., Tognetto, D., Agosti, E., . . . Zeppieri, M. (2025). Updates, Applications and Future Directions of Deep Learning for the Images Processing in the Field of Cranio-Maxillo-Facial Surgery. *Bioengineering*, *12*(6), 585. <https://doi.org/10.3390/bioengineering12060585>
- Naini, F. B. (2025). *Facial aesthetics: concepts and clinical diagnosis*: John Wiley & Sons.
- Pascal, E., Majoufre, C., Bondaz, M., Courtemanche, A., Berger, M., & Bouletreau, P. (2018). Current status of surgical planning and transfer methods in orthognathic surgery. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery*, *119*(3), 245-248. <https://doi.org/10.1016/j.jormas.2018.02.001>
- Pelizzari, C. A., Grzeszczuk, R., Chen, G. T., Heimann, R., Haraf, D. J., Vijayakumar, S., & Ryan, M. J. (1996). Volumetric visualization of anatomy for treatment planning. *International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics*, *34*(1), 205-211. [https://doi.org/10.1016/0360-3016\(95\)00272-3](https://doi.org/10.1016/0360-3016(95)00272-3)
- Plooi, J. M., Maal, T. J., Haers, P., Borstlap, W. A., Kuijpers-Jagtman, A. M., & Bergé, S. J. (2011). Digital three-dimensional image fusion processes for planning and evaluating orthodontics and orthognathic surgery. A systematic review. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, *40*(4), 341-352. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2010.10.013>
- Rana, M., Moellmann, H. L., Schorn, L., Lommen, J., Rana, M., Wilkat, M., & Hufendiek, K. (2022). Primary orbital reconstruction with selective laser melting (SLM) of patient-specific implants (PSIs): an overview of 96 surgically treated patients. *Journal of Clinical Medicine*, *11*(12), 3361. <https://doi.org/10.3390/jcm11123361>
- Rana, M., Sakkas, A., Zimmermann, M., Kostyuk, M., & Schwarz, G. (2026). Artificial Intelligence in Oral and Maxillofacial Surgery: Integrating Clinical Innovation and

- Workflow Optimization. *Journal of Clinical Medicine*, 15(2), 427. <https://doi.org/10.3390/jcm15020427>
- Rieder, M., Remschmidt, B., Gsaxner, C., Gaessler, J., Payer, M., Zemmann, W., & Wallner, J. (2024). Augmented reality-guided extraction of fully impacted lower third molars based on maxillofacial KIBT scans. *Bioengineering*, 11(6), 625. <https://doi.org/10.3390/bioengineering11060625>
- Rokhshad, R., Keyhan, S. O., & Yousefi, P. (2023). Artificial intelligence applications and ethical challenges in oral and maxillo-facial cosmetic surgery: a narrative review. *Maxillofacial Plastic and Reconstructive Surgery*, 45(1), 14. DOI:10.1186/s40902-023-00382-w
- Ronsivalle, V., Santonocito, S., Cammarata, U., Lo Muzio, E., & Cicciù, M. (2025). Current applications of chatbots powered by large Language models in oral and maxillofacial surgery: A systematic review. *Dentistry Journal*, 13(6), 261. <https://doi.org/10.3390/dj13060261>
- Sankar, H., Alagarsamy, R., Lal, B., Rana, S. S., Roychoudhury, A., Agrawal, A., & Wankhar, S. (2025). Role of artificial intelligence in treatment planning and outcome prediction of jaw corrective surgeries by using 3-D imaging: a systematic review. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology and oral radiology*, 139(3), 299-310. <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2024.09.010>
- Seo, H. J., & Choi, Y.-K. (2021). Current trends in orthognathic surgery. *Archives of craniofacial surgery*, 22(6), 287. <https://doi.org/10.7181/acfs.2021.00598>
- Shemesh, H., Cristescu, R. C., Wesselink, P. R., & Wu, M.-K. (2011). The use of cone-beam computed tomography and digital periapical radiographs to diagnose root perforations. *Journal of endodontics*, 37(4), 513-516. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.12.003>
- Sherrard, J. F., Rossouw, P. E., Benson, B. W., Carrillo, R., & Buschang, P. H. (2010). Accuracy and reliability of tooth and root lengths measured on cone-beam computed tomographs. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 137(4), S100-S108. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2009.03.040>
- Shhadeh, A., Daoud, S., Redenski, I., Oren, D., Zoabi, A., Kablan, F., & Srouji, S. (2025). The contribution of real-time artificial intelligence segmentation in maxillofacial trauma emergencies. *Diagnostics*, 15(8), 984. <https://doi.org/10.3390/diagnostics15080984>
- Sui, H., Xiao, M., Jiang, X., Li, J., Qiao, F., Yin, B., . . . Wu, L. (2025). Development and validation of a predictive nomogram for bilateral posterior condylar displacement using cone-beam computed tomography and machine-learning algorithms: a retrospective observational study. *BMC Oral Health*, 25(1), 916. <https://doi.org/10.1186/s12903-025-06098-9>
- Toffaha, K. M., Simsekler, M. C. E., Omar, M. A., & ElKebbi, I. (2025). Predicting patient no-shows using machine learning: A comprehensive review and future research agenda. *Intelligence-Based Medicine*, 11, 100229. <https://doi.org/10.1016/j.ibmed.2025.100229>
- Wu, B.-Z., Hu, L.-H., Cao, S.-F., Tan, J., Danzeng, N.-Z., Fan, J.-F., . . . Peng, X. (2025). Deep learning-based multimodal CT/MRI image fusion and segmentation strategies for surgical planning of oral and maxillofacial tumors: A pilot study. *Journal of Stomatology Oral and Maxillofacial Surgery*, 102324. <https://doi.org/10.1016/j.jormas.2025.102324>
- Wu, T.-Y., Lin, H.-H., Lo, L.-J., & Ho, C.-T. (2017). Postoperative outcomes of two-and three-dimensional planning in orthognathic surgery: a comparative study. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*, 70(8), 1101-1111. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2017.04.012>
- Yeung, A., Wong, N., Li, D., Lo, T., & Leung, Y. (2021). Is there a difference between the thicknesses of the rami in mandibular asymmetry? *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 50(6), 791-797.

Yushkevich, P. A., Piven, J., Hazlett, H. C., Smith, R. G., Ho, S., Gee, J. C., & Gerig, G. (2006). User-guided 3D active contour segmentation of anatomical structures: significantly improved efficiency and reliability. *Neuroimage*, *31*(3), 1116-1128.

BÖLÜM 0

DİJİTAL GÖRÜNTÜLEME İLE TME DEĞERLENDİRİLMESİ

AYLA KHANMOHAMMADI¹

Giriş

Temporomandibular eklem (TME) çiğneme, konuşma ve yutkunma fonksiyonlarında görevi olan, kafatasına mandibula ile bilateral bağlantı yapan karmaşık yapıda bir eklemdir (Yıldırım & Alkış, 2016). Çiğneme kaslarının fonksiyonları ile hareket eden TME menteşe ve kayma hareketlerini yapmaktadır. Temporal kemiğin squamoz parçası ve mandibular kondil, eklem sert doku yapılarıdır. Yoğun fibröz bağ dokusundan oluşan bikonkav yapıdaki artiküler disk, sert dokular arasındaki uyumu sağlamaktadır. Eklem diski daha kalın olan ön ve arka bant ile daha ince olan orta bölgeden oluşur ve arkada yüksek derecede vaskülarize ve innerve retrodiskal dokuya, önde kapsüller ligament ataşmanları arasında süperior lateral pterygoid kas liflerine tutunur. Artiküler disk kapsüller ligament bağlantısıyla eklem boşluğunu alt ve üst eklem kavitelerine ayırmaktadır. Eklem kaviteleri, eklem metabolik ürünleri sağlayan ve kemiksel yapıların sürtünmesini önleyen sinovyal sıvı ile doludur (McNeill, 1997).

¹Uzm. Dt., İnönü Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti AD, Orcid: 0000-0002-7721-0300

TME yapısındaki bozulma, eklemde ve çiğneme kaslarında ağrı, çene hareketlerinde kısıtlanma ve eklemde ses belirtileri ile kendini gösterir. Etiyolojisi çok faktörlü olmakla birlikte mevcut belirtiler kimi zaman düzensizlikler ile ilgili sınırlı bilgi sağlar (Okeson, 2008). Hastanın anamnezinin ve klinik bulgularının radyolojik inceleme ile desteklenmesi teşhis ve tedavi planına katkı sağlamaktadır.

Klinisyenin performansının değişkenliği ve semptomların yorumlanmasındaki farklılıklar nedeniyle radyografik değerlendirme daha bir önem kazanmaktadır (Larheim et al., 2018). Eklemde herhangi bir semptom mevcutsa veya bir patolojiden şüpheleniliyorsa teşhis mutlaka radyografik görüntüleme ile doğrulanmalıdır (LeResche & Von Korff, 1992).

TME Görüntüleme Yöntemleri

TME görüntülenmesi için farklı avantaj ve dezavantaja sahip birçok görüntüleme yöntemi kullanılmaktadır. Görüntüleme yöntemleri TME anatomisinin, kondil ve glenoid fossanın morfolojik değerlendirilmesinde ve TME'deki dejeneratif değişikliklerin incelenmesinde önemlidir (Kocasarac & Celenk, 2017). Her görüntüleme yöntemi eklem yapılarını eşit derecede görüntüleyememektedir. Görüntüleme tekniğinin seçimi klinik muayeneden sonra yapılmalıdır (LeResche & Von Korff, 1992).

Direkt radyografiler

Direkt radyografiler, temporomandibular eklemde mineralize dokularının değerlendirilmesinde kullanılan, sabit bir X-ışını kaynağı ile elde edilen iki boyutlu görüntüleme yöntemleridir. Bu teknikler kemik yapıların incelenmesinde yararlı olmakla birlikte, eklem diski, kıkırdak ve diğer yumuşak dokular hakkında bilgi sağlamamaktadır. Ayrıca iki boyutlu görüntüleme nedeniyle anatomik yapıların üst üste binmesi önemli bir sınırlılık

oluşturmaktadır. Bu nedenle tanısal doğruluğun artırılması amacıyla genellikle birden fazla projeksiyonun birlikte değerlendirilmesi önerilmektedir.

TME incelemeleri için Ortodonti alanında başlıca panoramik radyografi ve lateral sefalometrik radyografilerden yararlanır. Panoramik filmde maksilla, mandibula, dişler, sinüs, orbital fossanın 2/3'ü ve TME tek bir filmde görüntülenir. Böylece dişlerden ve diğer hastalıklardan kaynaklanabilecek problemlerin, TME bozukluklarının semptomlarından ayrılması sağlanır. Bazı panoramik radyografi cihazlarının özel TME çekim programları bulunmaktadır. Her iki eklemde de ağız açık ve kapalı pozisyonda görüntüsünün tek bir film üzerinde gözlenebildiği bu radyografilere ağız açık-kapalı TME grafisi ya da lateral panoramik grafi denilmektedir (Helenius et al., 2005; Petrikowski, 2005; Tvrdy, 2007). Panoramik radyografide ışınlar kondilin uzun aksına oblik şekilde geldiğinden, kondilin lateral ve merkezdeki kısımları gözlenebilir. Kondil morfolojisindeki farklılıklar nedeniyle panoramik radyografideki kondil görüntüsü distorsiyona uğramaktadır. Artiküler tüberkül ve fossa üzerine kafa tabanı ve zigomatik ark süperpoze olduğundan ancak belirgin yapısal değişiklikler teşhis edilebilir. Kondilde belirgin erozyon, skleroz, osteofitler, kondillerde asimetri, kırıklar ve büyük deformasyonlar belirlenebilir (Mah, 2003; Petrikowski, 2005; Westesson, 1991).

Lateral sefalometrik radyografide baş sefalostatta iken görüntü alıcısı sagittal düzleme paralel yerleştirilir ve x-ışını görüntü alıcısına dik olarak, external auditory meatus üzerinden ortalanmış şekilde uygulanır (Rozylo-Kalinowska & Orhan, 2019). Sefalometrik görüntülemenin amacı, maksilla ve mandibulanın kafa kaidesi ile anteroposterior ve vertikal yöndeki ilişkilerini değerlendirmektir (Pamukçu et al., 2019). Kemik ve yumuşak doku profili üzerindeki belirli referans noktalarından ölçüme olanağı sağlamasıyla yüzün büyüme ve gelişiminin değerlendirmesinde

kullanılmaktadır. TME'nin internal düzensizlikleri etkilediği savunulmaktadır (Obamiyi et al., 2018).

Konvansiyonel ve bilgisayarlı tomografi

Konvansiyonel tomografi ile TME, çevre anatomik dokuların süperpozisyonu olmadan çok sayıda ince kesitler elde edilerek görüntülenebilir. Görüntü x-ışın kaynağı ve filmin senkronize hareketiyle oluşur (Isberg, 2001). Konvansiyonel tomografi, X-ışını kaynağı ile görüntü reseptörünün eş zamanlı hareketi sonucunda kesitsel görüntü elde edilmesine dayanan bir görüntüleme yöntemidir. Bu teknik yalnızca mineralize dokuların değerlendirilmesine olanak sağlamakla birlikte, doğrudan radyografik yöntemlerde bulunmayan kesitsel görüntüleme avantajına sahiptir. Böylece kemik yapıların üst üste binmesine bağlı süperpozisyon etkisi önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Bununla birlikte, görüntüleme düzlemi dışında kalan anatomik oluşumlarda bulanıklaşma meydana gelebilmektedir (Brooks et al., 1997). Kemiksel değişikliklerin değerlendirilmesinde panoramik ve transkraniyal radyografilere kıyasla daha yüksek tanısal doğruluk sağladığı bildirilmektedir. Ayrıca gerçek sagittal kesite yakın görüntüler sunması sayesinde kondilin glenoid fossa içerisindeki konumu, transkraniyal görüntülemeye göre daha güvenilir şekilde değerlendirilebilmektedir (Okeson, 2008).

Bilgisayarlı tomografi (BT), incelenen anatomik yapının şekil, boyut ve yoğunluk özelliklerinin üç boyutlu olarak değerlendirilmesine olanak tanıyan bir görüntüleme yöntemidir. Bu teknik, direkt radyografilerde görülebilen anatomik süperpozisyonları ve konvansiyonel tomografide karşılaşılan görüntü bulanıklıklarını büyük ölçüde ortadan kaldırmaktadır (Brooks et al., 1997). Ayrıca farklı düzlemlerde kesitsel görüntüler elde edilmesini sağlayarak ayrıntılı anatomik inceleme olanağı sunar. BT; neoplazmlar, büyüme ve gelişim bozuklukları ile

travmaya bağlı kırıkların değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra dislokasyon, artrit ve ankiloz gibi kemiksel patolojilerin tanısında da önemli bir yere sahiptir. Bununla birlikte, yüksek ekipman maliyeti ve hastanın maruz kaldığı görece yüksek radyasyon dozu yöntemin başlıca dezavantajları arasında yer almaktadır (Guercio Monaco et al., 2022).

Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT)

KIBT, X-ışını kaynağının hastanın başı etrafında sabit bir açıyla tek bir rotasyon gerçekleştirilmesi prensibine dayanmaktadır. Spiral bilgisayarlı tomografide kullanılan yelpaze (fan) biçimindeki ışın demetinden farklı olarak, KIBT sistemlerinde koni şeklindeki X-ışını demeti kullanılmaktadır (Lewis et al., 2008). Elde edilen transmisyon verilerinin dijital olarak işlenmesi ve yoğunluk değerlerine dönüştürülmesi sonucunda incelenen bölgenin üç boyutlu görüntüsü oluşturulmaktadır. KIBT cihazının görüntülenecek alan çevresinde yaklaşık 10–70 saniye arasında değişen sürede tek bir dönüş yapması, hem hastanın maruz kaldığı radyasyon süresini azaltmakta hem de hareket kaynaklı görüntü bozulmalarının önüne geçmektedir. Ayrıca bazı sistemlerde bulunan artefakt azaltıcı yazılımlar sayesinde metal restorasyonlara bağlı görüntü artefaktları da belirli ölçüde azaltılabilmektedir (Scarfe et al., 2006).

KIBT'nin en önemli avantajlarından biri, konvansiyonel BT'ye kıyasla oldukça düşük radyasyon dozu ile görüntüleme sağlayabilmesidir. Yapılan çalışmalarda etkili radyasyon dozunun BT'ye göre yaklaşık %98 oranında daha düşük olduğu bildirilmiştir (Scarfe et al., 2006). Bununla birlikte, görüş alanı (field of view, FOV), tüp voltajı, tüp akımı ve maruziyet süresi gibi teknik parametrelerdeki farklılıklar nedeniyle radyasyon dozu cihazlar arasında değişkenlik gösterebilmektedir. Literatürde temporomandibular eklem görüntülemelerinde KIBT'ye ait etkili doz değerlerinin 20–550 μSv arasında değiştığı rapor edilmiştir

(Kadesjö et al., 2015). Bu geniş doz aralığının başlıca nedenlerinden biri kullanılan FOV boyutlarındaki farklılıklardır. Bilateral temporomandibular eklem incelemelerinde, yüksekliği 5 cm'yi aşmayan ve genişliği en az 12 cm olan bir FOV kullanılması ya da yaklaşık 4 × 4 cm boyutlarında iki ayrı küçük FOV tercih edilmesi önerilmektedir (Kadesjö et al., 2015).

Manyetik rezonans görüntüleme (MRG)

MRG, görüntü oluşumunu güçlü manyetik alanlar ve radyofrekans dalgaları aracılığıyla sağlayan, iyonizan radyasyon içermeyen non-invaziv bir görüntüleme yöntemidir (Brooks et al., 1997). Bu teknikte uygulanan manyetik alan, vücuttaki hidrojen protonlarının belirli bir doğrultuda hizalanmasına neden olur. Ardından gönderilen radyofrekans darbeleri bu hizalanmayı geçici olarak değiştirir ve protonlardan yayılan sinyallerin algılanıp işlenmesiyle görüntü oluşturulur (Lewis et al., 2008).

MRG, temporomandibular eklem yumuşak doku yapılarının değerlendirilmesinde referans yöntem olarak kabul edilmekte olup, özellikle disk deplasmanlarının tanısında altın standart görüntüleme tekniği olarak kullanılmaktadır (Schmitter et al., 2006). Kemik yapıların ayrıntılı değerlendirilmesinde bilgisayarlı tomografi kadar başarılı olmamakla birlikte, kemik konturları ve kortikal sınırlar hakkında değerli bilgiler sağlayabilmektedir. Ayrıca eklem diskinin sagittal ve koronal düzlemlerdeki konumu, mandibular hareketler sırasında meydana gelen kondil translasyonu ve disk hareketleri, disk morfolojisi, eklem efüzyonu, sinovyal inflamasyon, kemik erozyonları ve dejeneratif eklem değişiklikleri MRG ile ayrıntılı olarak incelenebilmektedir (Lewis et al., 2008).

Westesson ve ark.(Westesson & Brooks, 1992), herhangi bir semptom göstermeyen bireylerde T2 ağırlıklı görüntülerde eklem sıvısının eklem yüzeyleri boyunca parlak sinyal odakları veya çizgisel yapılar şeklinde izlenebileceğini bildirmiştir. BT ile

karşılaştırıldığında, özellikle kıkırdak dokuda meydana gelen erken dönem değişikliklerin saptanmasında önemli avantajlar sunmaktadır. Kemik ve yumuşak dokuların birlikte değerlendirilmesinin gerekli olduğu durumlarda ise BT ve MRG görüntülerinin kombine kullanımı önerilmektedir. Bu yaklaşım sayesinde neoplastik oluşumlar ile kemik destrüksiyonlarının aynı görüntü üzerinde değerlendirilmesi ve lezyon sınırlarının daha ayrıntılı şekilde belirlenmesi mümkün olmaktadır (Schmitter et al., 2006).

MRG incelemelerinde kullanılacak çekim protokolü, hastanın klinik bulguları ve ön tanısı doğrultusunda belirlenmelidir. Disk patolojisi veya disk deplasmanından şüphe edilen olgularda, temporomandibular eklem değerlendirilmesi amacıyla kondiler prosese paralel ve dik düzlemlerde elde edilen parakoronal ve parasagittal T1 ağırlıklı görüntüler ile parasagittal T2 ağırlıklı görüntüler alınmalıdır. Ayrıca eklem fonksiyonunun değerlendirilmesi için ağız kapalı pozisyondan maksimum ağız açıklığına kadar kademeli olarak gerçekleştirilen dinamik ağız açma hareketleri sırasında elde edilen parasagittal kesitlerin her iki eklem için kaydedilmesi önerilmektedir (Yalçın & Aktaş, 2010).

T1 ağırlıklı sekanslar eklem anatomisinin ve çevre dokuların ayrıntılı değerlendirilmesine olanak sağlarken, T2 ağırlıklı görüntüler eklem sıvısı ve inflamatuvar değişikliklerin belirlenmesinde daha yararlıdır. Diskin normal anatomik konumda izlendiği durumlarda dahi, T1 ağırlıklı görüntülerde retrodiskal bölgenin genişlemiş görünmesi ve T2 ağırlıklı kesitlerde artmış sinyal yoğunluğunun saptanması inflamatuvar süreçlerin varlığını düşündürülebilir. Kronik veya aktif eklem hastalığı bulunan bireylerde eklem efüzyonu, sinovit ve kemik iliği ödemi gibi patolojik değişiklikler T2 ağırlıklı görüntülerde hiperintens (yüksek sinyalli) alanlar şeklinde izlenmektedir (AKSOY & ORHAN, 2010).

MR artrografi

MR artrografi, eklem boşluğuna kontrast madde uygulanmasını takiben gerçekleştirilen özel bir manyetik rezonans görüntüleme yöntemidir. İnaartikler kontrast madde sayesinde sinovyal kompartmanlar daha ayrıntılı değerlendirilebilmekte ve konvansiyonel MRG'nin sınırlı kaldığı bazı patolojiler ortaya konulabilmektedir. Özellikle disk perforasyonları ve intraartiküler adezyonların tanısında MRG'ye göre daha yüksek tanısal doğruluk sağlayabildiği bildirilmiştir. Ancak invaziv bir yöntem olması nedeniyle rutin kullanım alanı sınırlıdır ve genellikle seçilmiş olgularda tercih edilmektedir (Ogasawara et al., 2002).

Artrografi

Artrografi, st ve alt eklem boşluklarına kontrast madde uygulanmasını takiben gerçekleştirilen ve iyonizan radyasyon kullanılan invaziv bir görüntüleme yöntemidir. Elde edilen kontrastlı görüntüler sayesinde TME'nin yumuşak doku yapıları ve eklem boşlukları ayrıntılı olarak değerlendirilebilmektedir. Uygulama, tek kontrastlı veya çift kontrastlı tekniklerle gerekleştirilebilmekle birlikte, daha uzun işlem süresi ve yüksek operatör deneyimi gerektirmesi nedeniyle çift kontrast yöntemi günümüzde daha sınırlı kullanılmaktadır (Levring Jghagen & Ahlqvist, 2019).

Manyetik rezonans görüntülemenin kontrendike olduğu durumlarda artrografi, eklem diski ve posterior ataşman perforasyonlarının belirlenmesi, eklem fonksiyonunun dinamik olarak değerlendirilmesi ve oklüzal splint tedavisi sırasında disk ile kondil hareketlerinin incelenmesinde yararlı bilgiler sağlayabilmektedir. Ayrıca eklem adezyonlarının ve bazı kıkırdak yüzey değişikliklerinin değerlendirilmesine olanak tanımakta, gerektiğinde terapötik eklem içi girişimlerle birlikte uygulanabilmektedir (Rozylo-Kalinowska & Orhan, 2019).

İyotlu kontrast maddeye karşı aşırı duyarlılığı bulunan, kanama bozukluğu olan, antikoagülan tedavi alan veya enjeksiyon bölgesinde enfeksiyon bulunan hastalarda uygulanması

önerilmemektedir. Her ne kadar genel olarak güvenli bir yöntem olarak kabul edilse de ağrı, geçici ağız açıklığı kısıtlılığı, hematom, enfeksiyon ve kontrast maddeye bağlı reaksiyonlar gibi komplikasyonlar görülebilmektedir. Bazı olgularda MRG'nin yetersiz kaldığı disk perforasyonları, adezyonlar ve sinovyal kondromatozis gibi patolojilerin değerlendirilmesinde artrografi ek tanısal katkı sağlayabilmektedir. Artrografi bulgularının KIBT ile birlikte değerlendirilmesiyle elde edilen artrotomografi yönteminde ise disk pozisyonu üç boyutlu olarak incelenebilmekte, eklem adezyonları, serbest eklem cisimleri ve sert dokulardaki bazı değişiklikler daha ayrıntılı şekilde görüntülenebilmektedir (Levring Jäghagen & Ahlqvist, 2019).

Ultrasonografi

Ultrasonografi, yüksek frekanslı ses dalgalarının dokulardan yansımalarının değerlendirilmesi esasına dayanan, non-invaziv ve iyonizan radyasyon içermeyen bir görüntüleme yöntemidir. Temporomandibular eklemin değerlendirilmesinde gerçek zamanlı görüntüleme olanağı sunması, düşük maliyeti ve kolay uygulanabilirliği nedeniyle yardımcı tanı yöntemi olarak kullanılmaktadır. İnceleme genellikle 7,5–20 MHz frekans aralığındaki problemlerle gerçekleştirilmekte olup, yüksek frekanslı problemlerin daha iyi görüntü kalitesi ve tanısal doğruluk sağladığı bildirilmektedir (Melis et al., 2007).

Ultrasonografi ile eklem efüzyonu, disk morfolojisi, kapsüller adezyonlar ve bazı inflamatuvar değişiklikler değerlendirilebilmektedir. Ayrıca disk deplasmanının ve eklem sıvısının belirlenmesinde yararlı bir yöntem olduğu gösterilmiştir. Bununla birlikte medial ve lateral disk deplasmanlarının değerlendirilmesinde duyarlılığı sınırlıdır. Çeşitli çalışmalarda ultrasonografi ile manyetik rezonans görüntüleme arasında disk deplasmanı, artrit ve eklem hareket bozukluklarının tanısında yüksek düzeyde uyum bildirilmektedir (Emshoff et al., 2002).

MRG'nin uzun çekim süresi ve hasta konforunu azaltabilen özelliklerine kıyasla ultrasonografi daha kısa sürede uygulanabilmekte ve klinik muayene ile eş zamanlı değerlendirme yapılmasına olanak sağlamaktadır. Ancak görüntü kalitesi ve tanısal başarısı büyük ölçüde operatör deneyimine bağlıdır. Bu nedenle günümüzde ultrasonografi, çoğunlukla başlangıç tarama yöntemi olarak kullanılmakta; şüpheli veya ileri inceleme gerektiren durumlarda MRG ile desteklenmektedir (Li et al., 2012).

Radyonüklid görüntüleme

Radyonüklid görüntüleme yöntemleri, anatomik yapılardan çok dokuların metabolik ve fizyolojik aktivitelerini değerlendirmeye yönelik nükleer tıp teknikleridir. Bu yöntemlerde intravenöz olarak uygulanan radyofarmasötik maddelerin dokulardaki dağılımı özel dedektörler aracılığıyla görüntülenmektedir. Konvansiyonel radyografilerde henüz görünür olmayan erken kemik değişikliklerinin saptanabilmesi, bu yöntemlerin önemli avantajlarından biridir (Almeida et al., 2019).

Temporomandibular eklem hastalıklarında radyonüklid görüntüleme; osteoartrit ve romatoid artrit gibi inflamatuvar hastalıkların erken tanısında, metabolik aktivitenin değerlendirilmesinde, kondiler hiperplazinin belirlenmesinde ve metastatik lezyonların araştırılmasında kullanılabilir. Günümüzde kullanılan başlıca nükleer görüntüleme yöntemleri tek foton emisyonlu bilgisayarlı tomografi (SPECT) ve pozitron emisyon tomografisidir (PET). Her iki yöntem de yüksek duyarlılık sağlamasına rağmen maliyetlerinin yüksek olması ve radyasyon maruziyeti nedeniyle genellikle seçilmiş vakalarda tercih edilmektedir (GÜNDOĞDU et al., 2018).

Transkraniyal radyografi

Bu yöntemde X-ışınları, kafa tabanından geçerek orta hattın üst kısmından karşı taraftaki TME'ye yönlendirilir (Okeson, 2008). Uygulamasının kolay olması, düşük maliyet gerektirmesi ve hastanın görece düşük doz radyasyona maruz kalması yöntemin başlıca avantajları arasında yer almaktadır. Periapikal radyografi cihazlarıyla elde edilebilen bu görüntüler, özellikle belirgin deplasmanla seyreden kondil kırıklarının ve ileri derecedeki dejeneratif eklem değişikliklerinin değerlendirilmesinde yararlı olmakla birlikte, erken dönem kemik değişikliklerinin ve eklem diskinin görüntülenmesinde yetersiz kalmaktadır (Brooks et al., 1997).

Transmaksiller radyografi

Transmaksiller radyografi, ışın demetinin kondilin uzun eksenine dik yönde yönlendirildiği modifiye bir anteroposterior görüntüleme tekniğidir. Bu yöntemde kondilin kafa tabanı ile süperpozisyonunu azaltmak amacıyla mandibula öne doğru hareket ettirilir ve X-ışını demeti artiküler eminensin iç yüzeyi ile kondilin superior yüzeyine teğet geçecek şekilde konumlandırılır (Okeson, 2013). Görüntüleme sırasında hastanın ağzının maksimum düzeyde açılması sağlanarak kondilin glenoid fossadan uzaklaşması amaçlanır. Kondilin artiküler eminens seviyesine yeterince ilerleyemediği durumlarda, eklem inferior kısmındaki kemik yapılar kondil üzerine süperpoze olabilir ve görüntü kalitesi olumsuz etkilenebilir.

Uygun şekilde elde edilmiş transmaksiller radyografilerde kondil morfolojisi ve çevre kemik yapılar değerlendirilebilmekte; özellikle medial deplasman gösteren kondil boynu kırıkları, ileri derecedeki dejeneratif eklem değişiklikleri, neoplastik oluşumlar ve bazı gelişimsel anomaliler saptanabilmektedir (Brooks et al., 1997).

Submentoverteks radyografi

Submentoverteks görüntüleme tekniğinde X-ışını demeti mandibular ramusun posterior kenarına paralel olacak şekilde çene altından yönlendirilmektedir (Petrikowski, 2005). Bu projeksiyonda kondiller, kafa tabanı ile süperpoze olarak görüntülenebilmekte ve özellikle kondil başının uzun eksen yöneliminin değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca fasiyal asimetrielerin incelenmesinde, kondilin lateral yöndeki yer değiştirmelerinin belirlenmesinde ve travma ya da ortognatik cerrahi sonrasında mandibulanın horizontal düzlemdeki konum değişikliklerinin değerlendirilmesinde yararlı bilgiler sunabilmektedir (Choi et al., 2013).

Reverse towne radyografi

Reverse Towne projeksiyonunda hasta, yüzü görüntü reseptörüne dönük olacak şekilde konumlandırılır ve başı yaklaşık 25–30° aşağı eğilir. Görüntüleme sırasında ağız açık tutulur ve X-ışını demeti hastanın ön tarafından, sagittal düzleme dik ve koronal düzleme paralel olacak şekilde kondil boynu seviyesine yönlendirilir. Bu teknik sayesinde kondil başları artiküler eminensin inferiorunda görüntülenebilmekte ve kondil bölgesinin daha net değerlendirilmesi sağlanmaktadır (Rozylo-Kalinowska & Orhan, 2019).

Reverse Towne radyografisi özellikle mandibular kondil ve kondil boynunu içeren kırıkların değerlendirilmesinde yararlı bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Ayrıca kırık kondil fragmanının koronal düzlemdeki konumunun belirlenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Buna karşılık, fragmanın sagittal yöndeki deplasmanının ve vertikal örtüşme miktarının değerlendirilmesinde panoramik radyografi daha fazla bilgi sağlayabilmektedir (Sudheesh et al., 2016).

Transorbital radyografi

Transorbital radyografi, orbitomeatal düzlemin yatay konumda tutulduğu ve hastanın başının yaklaşık 10° öne eğildiği bir

görüntüleme tekniğidir. Bu yöntemde X-ışını demeti orbita üzerinden temporomandibular eklem bölgesine yönlendirilirken, görüntü reseptörü başın arka kısmına ışın demetine dik olacak şekilde yerleştirilir. Görüntü kalitesini artırmak amacıyla hastadan ağzını maksimum düzeyde açması veya mandibulasını öne doğru hareket ettirmesi istenir (HARORLI, 2006).

Bu projeksiyon ile artiküler eminensin mediolateral bölümü, kondil başı ve kondil boynu değerlendirilebilmektedir. Özellikle kondil başında meydana gelen dejeneratif değişikliklerin ve kondil boynu kırıklarının saptanmasında yararlı bir görüntüleme yöntemi olarak kabul edilmektedir (Kurita et al., 2001).

Posterioanterior radyografi

Bu projeksiyonda hastanın başı, oksipitomental düzlem yerle yaklaşık 45° açı yapacak şekilde konumlandırılır. Görüntüleme sırasında alın ve burun görüntü reseptörüne temas ederken ağız kapalı tutulur ve X-ışını demeti infraorbital kenar seviyesine yönlendirilir. Elde edilen görüntüler TME'nin genel anatomik yapısının değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır (Quantrill & Lewis, 1974).

Yöntem, özellikle yüz iskeletine ait kemik yapıların incelenmesinde yararlı olup, mandibula ve orta yüz bölgesindeki kırıkların değerlendirilmesinde kullanılabilir. Ayrıca unilateral ankiloz veya mandibular hareket kısıtlılığında şüphelenilen olgularda, ağız açık pozisyonda alınan ek görüntüler ile kondiler hareketler hakkında ilave bilgi elde edilebilmektedir (Quantrill & Lewis, 1974).

Dijital floroskopi

Dijital floroskopi, görüntülerin elektronik dedektörler aracılığıyla elde edildiği ve film kullanılmayan dinamik bir görüntüleme yöntemidir. Bu teknikte X-ışınları kullanılarak elde

edilen görüntüler gerçek zamanlı olarak monitöre aktarılmakta ve hareketli anatomik yapıların değerlendirilmesine olanak sağlanmaktadır. Yüksek görüntü çözünürlüğü sayesinde ince anatomik ayrıntılar incelenebilmekte ve fonksiyonel hareketler eş zamanlı olarak izlenebilmektedir (Pooley et al., 2001).

TME değerlendirmesinde dijital floroskopi, mandibular hareketlerin ve eklem fonksiyonlarının dinamik olarak incelenmesine olanak sağlamaktadır. Bunun yanı sıra artikülasyon analizi, hareketli protezlerin değerlendirilmesi, palatal kalınlığın belirlenmesi ve ağız içindeki protez hareketlerinin incelenmesi gibi farklı dental uygulamalarda da kullanılabilir. Düşük radyasyon dozu önemli bir avantaj olmakla birlikte, görüntü kalitesinin korunması ve gereksiz tekrar çekimlerin önlenmesi için uygun teknik bilgi ve deneyim gerektirmektedir. Özellikle çocuk hastalarda ve kooperasyonun sınırlı olduğu bireylerde uygulama güçlükleriyle karşılaşılabilir (Gupta et al., 2011).

TME dörtlü radyografisi

TME dörtlü radyografisi, her iki temporomandibular eklem için açık ve kapalı ağız pozisyonlarındaki görüntülerinin tek bir radyografik inceleme üzerinde değerlendirilmesine olanak sağlayan bir görüntüleme yöntemidir. Bu teknik doğrudan eklem bölgesine odaklandığından, panoramik radyografilerde elde edilebilen geniş anatomik bilgiye sahip değildir. Özellikle ağız açıklığının yetersiz olduğu hastalarda kondil ve artiküler eminensin üst üste gelmesi görüntülerin yorumlanmasını güçleştirebilir (Im et al., 2018).

Bu yöntem, kondilin translasyon hareketlerinin değerlendirilmesinde ve koronoid çıkıntı hiperplazisinin belirlenmesinde yardımcı olabilmektedir. Bununla birlikte, çeşitli çalışmalarda dejeneratif kemik değişikliklerinin saptanmasındaki tanısal performansının sınırlı olduğu bildirilmiştir. TME dörtlü radyografisinin bazı dejeneratif lezyonların değerlendirilmesinde panoramik radyografiye göre daha yararlı olabileceği belirtilmektedir.

birlikte, KIBT ile karşılaştırıldığında daha düşük tanısal doğruluğa sahip olduğu gösterilmiştir. Bu nedenle günümüzde TME dörtlü radyografisi daha çok yardımcı bir görüntüleme yöntemi olarak değerlendirilmekte, ayrıntılı kemiksel inceleme gereken durumlarda KIBT tercih edilmektedir.

Hibrit yöntem (PET/CT, PET/MRG, SPECT/CT, SPECT/MRG)

Radyonüklid görüntülemelerde elde edilen fonksiyonel verilerin anatomik olarak doğru lokalize edilebilmesi amacıyla PET ve SPECT görüntüleri sıklıkla bilgisayarlı tomografi (BT) veya manyetik rezonans görüntüleme (MRG) ile birleştirilmektedir. Bu hibrit görüntüleme yöntemleri sayesinde anatomik ve metabolik bilgiler aynı anda değerlendirilebilmekte, elde edilen veriler transaksial, koronal ve sagittal düzlemlerde incelenebilmektedir (Quantrill & Lewis, 1974).

PET/BT ve PET/MRG kombinasyonları özellikle tümörlerin yayılımının, metabolik aktivitesinin ve çevre dokularla ilişkisinin değerlendirilmesinde önemli avantajlar sağlamaktadır. Bununla birlikte, bazı benign lezyonlarda da artmış radyofarmasötik tutulumu görülebileceğinden, PET bulgularının anatomik görüntüleme yöntemleri ve klinik veriler ile birlikte yorumlanması gerekmektedir. Bu nedenle hibrit görüntüleme sistemleri, lezyonların karakterizasyonunda ve tedavi planlamasında tamamlayıcı bilgi sunmaktadır (Hu et al., 2017).

Dijital subtraksiyon radyografisi (DSR)

DSR, farklı zamanlarda elde edilen radyografik görüntülerin dijital olarak karşılaştırılması ve anatomik arka planın elimine edilmesi esasına dayanan bir görüntüleme yöntemidir. Bu teknik sayesinde çevre anatomik yapıların süperpozisyonu azaltılmakta ve kemik dokusunda meydana gelen küçük değişikliklerin daha duyarlı şekilde değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. Özellikle alan ve

yoğunluk ölçümleri gibi nicel analizlerin yapılmasına olanak sağlaması önemli avantajlarından biridir (Asieh & Ehsan).

TME değerlendirmesinde DSR, panoramik radyografilerde net olarak görüntülenemeyen kondil başı ve eklem boşluğundaki değişikliklerin belirlenmesinde yararlı olabilmektedir. Literatürde, DSR'nin küçük kemiksel değişikliklerin ve osteofit oluşumlarının saptanmasında konvansiyonel panoramik radyografilere göre daha yüksek tanısal doğruluk sağladığı bildirilmiştir. Ayrıca bazı çalışmalarda, dijital subtraksiyon radyografisinin ve renkle güçlendirilmiş DSR uygulamalarının, TME dörtlü radyografilerine kıyasla osteofitlerin belirlenmesinde daha başarılı sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Bununla birlikte, günümüzde üç boyutlu görüntüleme sağlayan konik ışınlı bilgisayarlı tomografinin yaygınlaşmasıyla birlikte DSR'nin kullanım alanı sınırlanmış olup, daha çok kemik yapılarındaki küçük değişikliklerin izlenmesi ve araştırma amaçlı değerlendirmelerde tercih edilmektedir (Masood et al., 2002).

Sonuç

TME bozukluklarının tanısında ayrıntılı anamnez ve klinik muayene temel yaklaşımı oluşturmakla birlikte, görüntüleme yöntemleri tanının doğrulanması, hastalığın yaygınlığının belirlenmesi, tedavi planlaması ve hasta takibinde önemli katkılar sağlamaktadır. Günümüzde TME'nin farklı anatomik bileşenlerinin değerlendirilmesi için çok sayıda görüntüleme yöntemi kullanılmaktadır. Direkt radyografiler ve panoramik görüntüleme yöntemleri başlangıç değerlendirmesinde yararlı bilgiler sunarken, kemik yapıların ayrıntılı incelenmesinde KIBT öne çıkmaktadır. Yumuşak doku bileşenleri, özellikle eklem diski, ligamentler ve çevre yumuşak dokuların değerlendirilmesinde ise manyetik rezonans görüntüleme MRG günümüzde referans yöntem olarak kabul edilmektedir.

Bu nedenle görüntüleme yöntemi seçimi yapılırken incelenmek istenen anatomik yapı, mevcut patoloji, radyasyon dozu, maliyet, erişilebilirlik ve tanısal katkı gibi faktörler birlikte değerlendirilmelidir. Uygun endikasyonla seçilen görüntüleme yöntemleri, TME hastalıklarının doğru tanınması ve etkin yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır.

Kaynakça

- Aksoy, S., & Orhan, K. (2010). Manyetik rezonans görüntülemenin dentomaksillofasiyal bölgedeki kullanım alanları. *Türkiye Klinikleri Journal of Dental Sciences Special Topics*, 1(2), 44-57.
- Almeida, F. T., Pacheco-Pereira, C., Flores-Mir, C., Le, L. H., Jaremko, J. L., & Major, P. W. (2019). Diagnostic ultrasound assessment of temporomandibular joints: A systematic review and meta-analysis. *Dentomaxillofacial Radiology*, 48(2), 20180144. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20180144>
- Asieh, Z. N., Ehsan, H., & Vahid, S. (2008). Comparative study of accuracy of digital radiography and digital subtraction radiography in detection of simulated lesions on alveolar crest of dried human mandible. *Research Journal of Biological Sciences*, 3(8), 953–956.
- Başaran, M., & Bozdemir, E. (2020). Güncel Literatür Işığında Temporomandibular Eklem Rahatsızlıklarında Kullanılan Görüntüleme Yöntemleri. *Haliç Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 3(1), 15-26. <https://izlik.org/JA93NX87YY>
- Brooks, S. L., Brand, J. W., Gibbs, S. J., Hollender, L., Lurie, A. G., Omnell, K.-Å., Westesson, P.-L., & White, S. C. (1997). Imaging of the temporomandibular joint: A position paper of the American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 83(5), 609–618. [https://doi.org/10.1016/S1079-2104\(97\)90128-1](https://doi.org/10.1016/S1079-2104(97)90128-1)
- Choi, Y. S., Jung, H.-D., Kim, S. Y., Park, H.-S., & Jung, Y.-S. (2013). Remodelling pattern of the ramus on submentoverte

- cephalographs after intraoral vertical ramus osteotomy. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 51(8), e259–e262. <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2013.08.003>
- Emshoff, R., Jank, S., Rudisch, A., & Bodner, G. (2002). Are high-resolution ultrasonographic signs of disc displacement valid? *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 60(6), 623–628. <https://doi.org/10.1053/joms.2002.33105>
- Guercio Monaco, E., De Stefano, A. A., Hernandez-Andara, A., & Galluccio, G. (2022). Correlation between condylar size on CT and position of the articular disc on MRI of the temporomandibular joint. *CRANIO®*, 40(1), 64–71. <https://doi.org/10.1080/08869634.2019.1692283>
- Gupta, P., Thombare, R. U., Pakhan, A. J., Motwani, B. K., & Lakhkar, B. (2011). Digital fluoroscopy in prosthodontics. *Journal of Interdisciplinary Dentistry*, 1(2), 105–107. <https://doi.org/10.4103/2229-5194.85029>
- Gündoğdu, E. A., Özgenç, E., Ekinçi, M., Özdemir, D. İ., & Aşıkoğlu, M. (2018). Nükleer tıpta görüntüleme ve tedavide kullanılan radyofarmasötikler. *Journal of Literature Pharmacy Sciences*, 7(1), 24–34. <https://doi.org/10.5336/pharmsci.2017-56434>
- Harorlı, A. (2006). *Dışhekimliği radyolojisi*. Nobel Tıp Kitabevleri.
- Helenius, L. M. J., Hallikainen, D., Helenius, I., Meurman, J. H., Könönen, M., Leirisalo-Repo, M., & Lindqvist, C. (2005). Clinical and radiographic findings of the temporomandibular joint in patients with various rheumatic diseases: A case-control study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 99(4), 455–463. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2004.06.079>
- Hu, Y., Kuang, B., Chen, Y., & Shu, J. (2017). Imaging features for diffuse-type tenosynovial giant cell tumor of the temporomandibular joint: A case report. *Medicine*, 96(26), e7383. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000007383>
- Im, Y.-G., Lee, J.-S., Park, J.-I., Lim, H.-S., Kim, B.-G., & Kim, J.-H. (2018). Diagnostic accuracy and reliability of panoramic temporomandibular joint (TMJ) radiography to detect bony lesions in patients with TMJ osteoarthritis. *Journal of Dental*

- Sciences, 13(4), 396–404.
<https://doi.org/10.1016/j.jds.2018.08.006>
- Isberg, A. (2001). *Temporomandibular joint dysfunction: A practitioner's guide*. CRC Press.
- Kadesjö, N., Benchimol, D., Falahat, B., Näsström, K., & Shi, X.-Q. (2015). Evaluation of the effective dose of cone beam CT and multislice CT for temporomandibular joint examinations at optimized exposure levels. *Dentomaxillofacial Radiology*, 44(8), 20150041. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20150041>
- Kocasarac, H. D., & Celenk, P. (2017). Effectiveness of digital subtraction radiography in detecting artificially created osteophytes and erosions in the temporomandibular joint. *Imaging Science in Dentistry*, 47(2), 99–107. <https://doi.org/10.5624/isd.2017.47.2.99>
- Kurita, H., Ohtsuka, A., Kobayashi, H., & Kurashina, K. (2001). Resorption of the lateral pole of the mandibular condyle in temporomandibular disc displacement. *Dentomaxillofacial Radiology*, 30(2), 88–91. <https://doi.org/10.1038/sj.dmfr.4600578>
- Larheim, T. A., Hol, C., Ottersen, M. K., Mork-Knutson, B. B., & Arvidsson, L. Z. (2018). The role of imaging in the diagnosis of temporomandibular joint pathology. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America*, 30(3), 239–249. <https://doi.org/10.1016/j.coms.2018.04.001>
- LeResche, L., & von Korff, M. (1992). Research diagnostic criteria for temporomandibular disorders: Review, criteria, examinations and specifications, critique. *Journal of Craniomandibular Disorders*, 6(4), 301–355.
- Levring Jäghagen, E., & Ahlqvist, J. (2020). Arthrography of the temporomandibular joint: Main diagnostic and therapeutic applications. *Clinical Dentistry Reviewed*, 4, 2. <https://doi.org/10.1007/s41894-019-0064-6>
- Lewis, E. L., Dolwick, M. F., Abramowicz, S., & Reeder, S. L. (2008). Contemporary imaging of the temporomandibular joint. *Dental Clinics of North America*, 52(4), 875–890. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2008.06.001>
- Li, C., Su, N., Yang, X., Yang, X., Shi, Z., & Li, L. (2012). Ultrasonography for detection of disc displacement of

- temporomandibular joint: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 70(6), 1300–1309. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2012.01.003>
- Mah, J. (2003). TMJ Disorders and Orofacial Pain. The role of dentistry in a multidisciplinary diagnostic approach. *Dentomaxillofacial Radiology*.
- Masood, F., Katz, J. O., Hardman, P. K., Glaros, A. G., & Spencer, P. (2002). Comparison of panoramic radiography and panoramic digital subtraction radiography in the detection of simulated osteophytic lesions of the mandibular condyle. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 93(5), 626–631. <https://doi.org/10.1067/moe.2002.121704>
- McNeill, C. (1997). Management of temporomandibular disorders: Concepts and controversies. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 77(5), 510–522. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(97\)70145-8](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(97)70145-8)
- Melis, M., Secci, S., & Ceneviz, C. (2007). Use of ultrasonography for the diagnosis of temporomandibular joint disorders: A review. *American Journal of Dentistry*, 20(2), 73–78.
- Obamiyi, S., Malik, S., Wang, Z., Singh, S., Rossouw, E. P., Fishman, L., Feng, C., Michelogiannakis, D., & Tallents, R. H. (2018). Radiographic features associated with temporomandibular joint disorders among African, White, Chinese, Hispanic, and Indian racial groups. *Nigerian Journal of Clinical Practice*, 21(11), 1495–1500. https://doi.org/10.4103/njcp.njcp_63_18
- Ogasawara, T., Kitagawa, Y., Ogawa, T., Yamada, T., Kawamura, Y., & Sano, K. (2002). Inflammatory change in the upper joint space in temporomandibular joint with internal derangement on gadolinium-enhanced MR imaging. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 31(3), 252–256. <https://doi.org/10.1054/ijom.2002.0240>
- Okeson, J. P. (2013). Management of temporomandibular disorders and occlusion (7th ed.). Elsevier Mosby.
- Okeson, J. P. (2008). Temporomandibular disorders and occlusion (6th ed.). Mosby Elsevier.

- Pamukçu, U., Toraman Alkurt, M., & Peker, İ. (2019). Lateral sefalometrik radyografide izlenen artifaktlar. *Yeditepe Journal of Dentistry*, 15(2), 159–165. <https://doi.org/10.5505/yeditepe.2019.36349>
- Petrikowski, G. (2005). Diagnostic imaging of the temporomandibular joint. *Oral Health*, 95(6), 10.
- Pooley, R. A., McKinney, J. M., & Miller, D. A. (2001). The AAPM/RSNA physics tutorial for residents: Digital fluoroscopy. *RadioGraphics*, 21(2), 521–534. <https://doi.org/10.1148/radiographics.21.2.g01mr20521>
- Quantrill, J., & Lewis, J. (1974). The interpretation of temporomandibular joint radiographs. *South African Medical Journal*, 48(45), 1905–1912.
- Rozylo-Kalinowska, I., & Orhan, K. (2019). *Imaging of the temporomandibular joint (Vol. 10)*. Springer International Publishing.
- Scarfe, W. C., Farman, A. G., & Sukovic, P. (2006). Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. *Journal of the Canadian Dental Association*, 72(1), 75–80.
- Schmitter, M., Gabbert, O., Ohlmann, B., Hassel, A., Wolff, D., Rammelsberg, P., & Kress, B. (2006). Assessment of the reliability and validity of panoramic imaging for assessment of mandibular condyle morphology using both MRI and clinical examination as the gold standard. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 102(2), 220–224. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2005.07.039>
- Sudheesh, K. M., Desai, R., Siva Bharani, K., & Subhalakshmi, S. (2016). Evaluation of the mandibular function, after nonsurgical treatment of unilateral subcondylar fracture: A 1-year follow-up study. *Craniomaxillofacial Trauma & Reconstruction*, 9(3), 229–234. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1584399>
- Tvrđy, P. (2007). Methods of imaging in the diagnosis of temporomandibular joint disorders. *Biomedical Papers of the Medical Faculty of Palacký University in Olomouc*, 151(1), 133–136. <https://doi.org/10.5507/BP.2007.020>

- Westesson, P. L., & Brooks, S. L. (1992). Temporomandibular joint: Relationship between MR evidence of effusion and the presence of pain and disk displacement. *American Journal of Roentgenology*, 159(3), 559–563. <https://doi.org/10.2214/ajr.159.3.1503025>
- Westesson, P.-L. (1991). Imaging of the temporomandibular joint: Magnetic resonance imaging.
- Yalçın, S., & Aktaş, İ. (2010). Dişhekimliğinde temporomandibular eklem hastalarına yaklaşım. *Vestiye Yayın Grubu*.
- Yıldırım, D., & Alkış, Ü. (2016). Temporomandibular eklem bozukluklarının değerlendirilmesinde kullanılan görüntüleme yöntemleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 7(2), 51-57. <https://izlik.org/JA88AK95FR>

ORTODONTİDE AĞRI VE AĞRI KONTROL YÖNTEMLERİ

ANIL DEMİREL¹

GİRİŞ

Ortodontik tedavi süresi boyunca ağrı, sık karşılaşılan ve klinik açıdan en istenmeyen komplikasyonlar arasında yer almaktadır. Ağrı, gerçek veya olası doku hasarıyla ilişkili olan ya da bu tür bir hasara bağlı gelişen, hoş olmayan duyuşsal ve emosyonel bir deneyim olarak tanımlanmaktadır (Treede, 2018). Ortodontik tedavi sırasında ortaya çıkan ağrı, hastalar tarafından genellikle dişlerde basınç, hassasiyet ve gerginlik hissi şeklinde algılanmakta olup, görülme sıklığının %72 ile %100 arasında değiştii bildirilmektedir (Fleming et al., 2018; Krishnan, 2007). Çalışmalar, ortodontik ağrının genellikle hafif ile orta şiddette olduğunu, apareylerin uygulanmasını takip eden ilk birkaç saat içerisinde başladığını, ilk 24–48 saatte en yüksek düzeye ulaştığını ve giderek azalarak yaklaşık 5–7 gün devam ettiğini göstermektedir (Costa et al., 2020; Scheurer et al., 1996). Ağrının, posterior dişlere kıyasla anterior dişlerde ve üst arka göre alt arka daha şiddetli hissedildiği bildirilmiştir (Mofti et al., 2020). Ayrıca bu ağrının, özellikle çiğneme gibi fonksiyonel aktiviteler sırasında daha belirgin şekilde hissedildiği bildirilmektedir. Ortodontik tedaviye bağlı ağrı, hasta memnuniyetini azaltabilen ve tedaviye uyumu olumsuz etkileyebilen önemli bir klinik sorundur. Çalışmalar, hastaların yaklaşık %8–30'unun ağrı nedeniyle tedavi sürecini olumsuz etkileyebilecek davranışlar sergilediğini göstermektedir (Krishnan, 2007; Polat & Karaman, 2005). Ağrı şiddetindeki artış, hastaların tedaviye uyumunu azaltabilmekte, hasta-klinisyen ilişkisini olumsuz etkileyebilmekte ve bazı durumlarda tedavinin planlanandan önce sonlandırılmasına neden olabilmektedir. Bununla birlikte ağrı algısı, bireyler arasında farklılık gösteren öznel bir deneyimdir ve duyuşsal durum, yaş, cinsiyet, bireysel ağrı eşiği ile uygulanan ortodontik kuvvetin miktarı gibi çok sayıda faktörden etkilenmektedir (Al Shayea, 2012; Sandhu & Leckie, 2016; Shenoy et al., 2013).

Ortodontik ağrının önlenmesi ve kontrolü amacıyla çeşitli farmakolojik ve non-farmakolojik yöntemler kullanılmaktadır (Maheshwari et al., 2015). Analjezik ilaçlar, düşük seviyeli lazer tedavisi (LLLT), vibrasyon uygulamaları, davranışsal yaklaşımlar, transkutanöz elektriksel sinir stimülasyonu (TENS), bite wafer kullanımı, sakız çiğneme, topikal anestezi ajanlar ve ortodontik mum uygulamaları bu yöntemler arasında yer almaktadır. Mevcut çalışmalar, bu yaklaşımların ortodontik işlemler sonrasında belirli düzeylerde ağrı kontrolü sağlayabildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, farmakolojik ajanların optimal dozları ile non-farmakolojik yöntemlerin standart uygulama protokolleri konusunda henüz tam bir görüş birliği bulunmamaktadır. Ayrıca, farklı yöntemlerin birbirlerine göre klinik üstünlükleri de

¹ Uzm. Dt., İnönü Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı, Orcid: 0009-0007-1708-0712

kesin olarak ortaya konulamamıştır (Dong et al., 2026). Bu nedenle, ortodontik ağrı yönetimi güncelliğini koruyan önemli bir klinik konu olmaya devam etmektedir.

Ortodontik Ağrının Biyolojik Mekanizması

Ortodontik tedavi sürecinde ağrı, separatör uygulamasından braketlerin sökülmesine kadar birçok klinik aşamada karşılaşılabilen yaygın bir semptomdur. Ortodontik diş hareketi amacıyla uygulanan kuvvetler, periodontal ligamentte basınç ve gerilim alanlarının oluşmasına yol açarak dişlerin yer değiştirme sürecini başlatmaktadır. Bu mekanik uyarılara yanıt olarak alveolar kemikte rezorpsiyon ve apozisyon süreçleri gerçekleşmekte, böylece dişlerin yeni konumlarına hareketi mümkün olmaktadır (Arias & Marquez-Orozco, 2006). Diş hareketi sırasında periodontal ligamentte bulunan sinir uçlarının uyarılmasıyla substans P, prostaglandinler, bradikinin ve serotonin gibi çeşitli biyokimyasal mediyatörler salınmaktadır. Bu mediyatörler, nosiseptif sinir uçlarını uyararak ortodontik tedavi sırasında görülen ağrı ve rahatsızlık hissinin ortaya çıkmasında önemli rol oynamaktadır (Farzanegan et al., 2012; V. Krishnan & Z. e. Davidovitch, 2006). Ortodontik ağrı yalnızca periferik dokularda gelişen bir olay değil, merkezi sinir sisteminde işlenen karmaşık bir nörosensoryel deneyimdir. Periodontal ligament ve çevre dokulardan kaynaklanan ağrı uyarıları, trigeminal sinir aracılığıyla trigeminal gangliona ve ardından merkezi sinir sistemindeki üst merkezlere iletilerek ağrının algılanmasını sağlamaktadır (Okeson, 1994). Ayrıca beyin sapındaki yapılar, ağrının şiddeti ve süresinin düzenlenmesinde önemli rol oynamaktadır (Jagła et al., 2025). Bu nedenle ortodontik ağrı yalnızca lokal inflamatuvar yanıtlarla açıklanamayıp, duygusal, bilişsel ve otonomik faktörlerden de etkilenen çok boyutlu bir süreç olarak değerlendirilmektedir (Jagła et al., 2025).

Ortodontik tedavide benzer büyüklükte kuvvetler uygulanmasına rağmen, bireylerin ağrı deneyimleri birbirinden farklı olabilmektedir (Bucci et al., 2021) . Bunun nedeni, ağrı algısının yalnızca biyolojik mekanizmalarla sınırlı olmayıp psikolojik, fizyolojik, kültürel ve sosyal etkenlerden de etkilenen çok boyutlu bir süreç olmasıdır (Lamarca et al., 2018). Psikolojik stresin sempatik sinir sistemi aktivitesini artırarak ağrı eşiğini düşürebildiği ve inflamatuvar yanıtı güçlendirerek ağrı şiddetini artırabildiği bildirilmiştir (Ireland et al., 2016). Bunun yanında, bireylerin önceki ağrı deneyimleri de mevcut ağrı algısını şekillendirebilmektedir (Costa et al., 2020). Özellikle olumsuz veya travmatik deneyimlerin, sonraki ortodontik işlemler sırasında ağrı algısını artırabileceği düşünülmektedir (Ding et al., 2016). Kültürel özellikler ve bireysel yaşam deneyimleri de ağrının ifade edilme biçimini ve ağrıyla baş etme stratejilerini etkileyebilmektedir (Craig & MacKenzie, 2021; Zborowski, 1952). Farklı toplumlar ve etnik gruplar arasında ağrı toleransı ve ağrı şiddetine ilişkin bildirilen farklılıklar, ağrı deneyiminin biyolojik faktörlerin yanı sıra sosyokültürel etmenlerden de etkilendiğini göstermektedir (Craig & MacKenzie, 2021; Zborowski, 1952) . Bu nedenle ortodontik ağrı yönetiminde hastaların bireysel özellikleri ve sosyokültürel farklılıkları göz önünde bulundurulmalıdır. Yaş ve cinsiyetin ağrı algısı üzerindeki etkisi ise kesin olarak ortaya konulamamıştır. Bazı çalışmalarda ileri yaşlardaki bireylerin daha yüksek ağrı eşiğine sahip olduğu (Lautenbacher et al., 2017) ve kadınlarda ağrı duyarlılığının daha fazla olduğu bildirilirken (McDougall et al., 2021), diğer çalışmalarda yaş ve cinsiyet grupları arasında

anlamli farklılık saptanmamıştır (Raak et al., 2022). Bu çelişkili bulgular, ağrı algısının çok sayıda faktörden etkilenen karmaşık bir süreç olduğunu göstermektedir.

Ağrıya Neden Olan Ortodontik İşlemler

Ortopedik Apareyler : Çalışmalar, hızlı maksiller genişletme uygulanan hastalarda ağrı düzeyi ve çiğneme güçlüğünün yavaş genişletme protokollerine kıyasla daha fazla olduğunu göstermektedir (Rabah et al., 2022). Bununla birlikte, tedavi ilerledikçe bu şikayetler giderek azalmaktadır. Benzer şekilde, ekstraoral ankraj amacıyla kullanılan headgear uygulamasını takiben ortaya çıkan rahatsızlık hissi ilk günlerde daha belirgin olup, ağrı genellikle birkaç gün içerisinde azalmaktadır (Cureton, 1994). Sabit ortodontik apareylerin hareketli apareylere kıyasla daha yüksek düzeyde ağrıya neden olduğu bildirilmiştir (Diddige et al., 2020). Bu durumun, sabit apareylerin sürekli kuvvet uygulamasına karşın hareketli apareylerin aralıklı kuvvet üretmesiyle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte, her iki tedavi yaklaşımında da ağrının genellikle hafif ile orta şiddette seyrettiği, ancak yemek yeme güçlüğünün sabit aparey kullanan hastalarda daha belirgin olduğu bildirilmiştir (Wiedel & Bondemark, 2016).

Separatör Yerleştirilmesi: Separatör uygulaması, ortodontik tedavi sırasında ağrı ile en sık ilişkilendirilen işlemlerden biridir. Separatörlerle oluşturulan diş hareketinin, gingival oluk sıvısında biyokimyasal mediyatörlerin salınımını tetikleyerek ağrı oluşumuna neden olduğu gösterilmiştir (Giannopoulou et al., 2006). Ağrı genellikle ilk gün en yüksek düzeye ulaşmakta ve takip eden günlerde azalarak bir hafta içerisinde belirgin şekilde gerilemektedir.

Braketleme ve Başlangıç Hizalama Aşaması : İlk ark telinin yerleştirilmesi sonrasında ortaya çıkan ağrı genellikle ilk 24 saat içerisinde en yüksek düzeye ulaşmakta ve takip eden günlerde kademeli olarak azalmaktadır (Raak et al., 2022). Başlangıç hizalamasında kullanılan ark telinin materyali veya tipinin ağrı algısı üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı bildirilmiştir (Wang et al., 2018). Benzer şekilde, konvansiyonel ve self-ligating braket sistemleri ile farklı braket slot boyutları arasında ağrı algısı açısından anlamlı bir farklılık saptanmamıştır (El-Angbawi et al., 2019). Bununla birlikte, lingual braketlerin, özellikle dilde ülserasyon ve yumuşak doku irritasyonu nedeniyle, labial braketlere kıyasla daha fazla rahatsızlığa yol açabileceği bildirilmektedir (Papageorgiou et al., 2016).

Braketlerin Sökülmesi (Debonding): Braketlerin, bantların ve mine yüzeyindeki rezidüel adezivin uzaklaştırılması sırasında dişlere iletilen kuvvetler nedeniyle ağrı oluşabilmektedir (Kilinç & Sayar, 2019). Ağrı şiddeti diş bölgesine göre değişmekte olup, anterior segmentlerde posterior segmentlere kıyasla daha fazla hissedilmektedir. Ayrıca seramik braketlerin sökülmesi sırasında oluşan ağrının, metal veya plastik braketlere göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Nakada et al., 2021). Debonding işlemi sırasında dişlere parmak basıncı uygulanması veya hastanın pamuk ruloya ısırmasının, oluşan kuvvetleri dengeleyerek ağrı şiddetinin azaltılmasına katkı sağlayabileceği öne sürülmüştür (Gupta et al., 2022).

Ağrının öznel bir deneyim olması, objektif olarak değerlendirilmesini güçleştirmektedir. Bu nedenle ağrı ölçümünde gözlenen farklılıklar, yalnızca metodolojik sınırlılıklardan değil, aynı

zamanda bireysel ağrı algısındaki değişkenlikten de kaynaklanmaktadır. Ortodontik ağrının şiddetinin değerlendirilmesinde genellikle sayısal derecelendirme ölçeği (NRS) ve görsel analog skala (VAS) kullanılmaktadır (Jagła et al., 2025). Ağrı kontrolünde ise farmakolojik ve farmakolojik olmayan çeşitli yaklaşımlar kullanılmaktadır.

Ağrı Kontrolünde Farmakolojik Yöntemler

Ortodontik ağrının kontrolünde farmakolojik yöntemler uzun yıllardır yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin temel amacı, inflamatuvar yanıtı ve ağrı iletim mekanizmalarını baskılayarak ağrı şiddetini azaltmaktır. Günümüzde nonsteroid antiinflamatuvar ilaçlar (NSAİİ'ler), parasetamol ve lokal anestezi ajanları, ortodontik ağrı yönetiminde en sık kullanılan farmakolojik seçenekler arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, bu ajanların etkinlikleri, etki mekanizmaları ve olası yan etkileri birbirinden farklılık göstermektedir.

Nonsteroid Antiinflamatuvar İlaçlar (NSAİİ)

NSAİİ'ler, ortodontik tedavi sırasında ağrı kontrolünde en sık kullanılan farmakolojik ajanlardır (Krishnan, 2007). İbuprofen ve aspirin gibi ilaçlar, prostaglandin sentezinden sorumlu olan siklooksijenaz (COX) enzimini inhibe ederek etki göstermektedir (de Carlos et al., 2006). Prostaglandinlerin ağrı oluşumundaki temel rolü nedeniyle, COX aktivitesinin baskılanması ağrının azalmasını sağlamaktadır. Kısacası NSAİİ'ler, prostaglandinlerin sentezini baskılayarak, ortodontik ağrının azalmasına yardımcı olmaktadır.

Bununla birlikte, prostaglandinler kemik rezorpsiyonu ve remodelasyonunda da rol oynadığından, NSAİİ kullanımının ortodontik diş hareketini etkileyebileceği ve hareket hızını azaltabileceği öne sürülmüştür (Arias & Marquez-Orozco, 2006; Karthi et al., 2012; V. Krishnan & Z. Davidovitch, 2006). Ancak, mevcut klinik kanıtlar bu ilişkinin kesin olarak ortaya konulabilmesi için yeterli değildir. Ayrıca NSAİİ kullanımına bağlı olarak alerjik reaksiyonlar, gastrointestinal sistem bozuklukları, hipertansiyon, kanama eğilimi ve böbrek fonksiyonlarında bozulma gibi çeşitli sistemik yan etkiler de görülebilmektedir (Polat & Karaman, 2005). Bu nedenle, NSAİİ'ler ortodontik ağrı yönetiminde etkili ajanlar olmaya devam etmekle birlikte, kullanım kararı verilirken olası yan etkiler ve diş hareketi üzerindeki potansiyel etkileri göz önünde bulundurulmalıdır.

Parasetamol

Parasetamolün temel etki mekanizması NSAİİ'lere benzemektedir. Ancak NSAİİ'lerden farklı olarak, hücre membranları üzerinden değil, merkezi sinir sistemi düzeyinde etki gösterdiği kabul edilmektedir (Karthi et al., 2012). Temel olarak santral etki göstermesi nedeniyle, prostaglandin inhibisyonu minimal düzeyde olmakta ve diş hareketi hızını etkilemediği düşünülmektedir. Diş hareketi üzerindeki olası etkiler açısından NSAİİ'lere alternatif olarak değerlendirilmektedir (Kehoe et al., 1996). Bununla birlikte, parasetamol her ne kadar etkili bir antipiretik ve analjezik olsa da antiinflamatuvar etkiden yoksundur. Bu nedenle ağrı yönetiminde sıklıkla NSAİİ'lerle birlikte kullanılmaktadır. Bununla birlikte,

periodontal dokulardaki inflamasyonun ağrı oluşumundaki rolü göz önüne alındığında, antiinflamatuvar etkileri nedeniyle NSAİİ'lerin bazı durumlarda daha etkili olabileceği de ileri sürülmektedir. Yapılan çalışmalar, ibuprofen ve asetaminofenin ortodontik ağrının azaltılmasında benzer etkinlik gösterdiğini, ibuprofenin yalnızca ilk saatlerde daha belirgin bir analjezik etki sağlayabildiğini bildirmektedir (Mofti et al., 2020). Son yıllarda selektif siklooksijenaz-2 (COX-2) inhibitörleri de ortodontik ağrı yönetiminde ilgi gören ajanlar arasında yer almaktadır (Clarke et al., 2012). Bu ilaçların ağrı kontrolünde etkili olabileceği, daha uzun etki süresi ve daha az yan etki gibi bazı avantajlar sağlayabileceği bildirilmiştir. Bununla birlikte, ortodontik uygulamalardaki etkinlik ve güvenilirliklerinin net olarak ortaya konulabilmesi için daha fazla klinik çalışmaya ihtiyaç bulunmaktadır.

Lokal Anestezikler

Topikal jel formunda uygulanan lokal anestezikler, sistemik analjeziklere alternatif olarak ortodontik işlemler sırasında ağrı kontrolünde kullanılabilir (Shenoy et al., 2013). Bölgesel etki göstermeleri nedeniyle, bant yerleştirilmesi, ark teli ligasyonu ve braket sökümü gibi lokal girişimlerde kullanım alanı bulmaktadırlar.

Ağrı Kontrolünde Non-Farmakolojik Yöntemler

Ortodontik işlemler öncesinde kullanılan nonsteroid antiinflamatuvar ilaçların (NSAİİ), tedaviye bağlı gelişen ağrının kontrolünde etkili olduğu bilinmekle birlikte (Patel et al., 2011) bu ilaçların gastrointestinal sistem bozuklukları, böbrek fonksiyonlarında değişiklikler, alerjik reaksiyonlar ve kardiyovasküler etkiler gibi çeşitli yan etkilere yol açabilmesi ile ortodontik diş hareketi üzerindeki olası etkilerine ilişkin süregelen tartışmalar, alternatif ağrı kontrol yöntemlerine olan ilgiyi artırmıştır (Long et al., 2016; Polat & Karaman, 2005). Bu nedenle, sistemik etkilerden kaçınmayı amaçlayan noninvaziv ve lokal etkili non-farmakolojik yaklaşımlar son yıllarda giderek daha fazla araştırılmaya başlanmıştır. Özellikle düşük seviyeli lazer tedavisi (Jagla et al., 2025), transkutanöz elektriksel sinir stimülasyonu (TENS) (Kasat et al., 2014), periodontal ligamentin vibrasyonel uyarılması (Lobre et al., 2016), bite wafer kullanımı (Otasevic et al., 2006) ve sakız çiğneme (Farzanegan et al., 2012) ortodontik ağrının kontrolünde kullanılan non-farmakolojik yöntemler arasında yer almaktadır. Bu yöntemlerin temel etki mekanizmasının, kan damarları ve sinir lifleri çevresindeki sıkışmış periodontal ligament liflerini gevşeterek periodontal dokuların normal vasküler ve lenfatik dolaşımını yeniden sağlaması olduğu düşünülmektedir. Böylece inflamasyon ve ödem azaltılmakta, sonuç olarak ağrı ve rahatsızlık hissi hafiflemektedir (Farzanegan et al., 2012).

Düşük Seviyeli Lazer Tedavisi (LLLT),

LLLT, noninvaziv yapısı ve analjezik özellikleri nedeniyle tıp ve diş hekimliğinin birçok alanında kullanılmaktadır (Topolski et al., 2018). Özellikle doku iyileşmesini desteklemesi ve ağrı kontrolüne katkı sağlaması nedeniyle ortodontide ilgi gören non-farmakolojik yöntemlerden biri haline gelmiştir. Fotobiyomodülasyon olarak da adlandırılan LLLT, ortodontik ağrının kontrolünde umut vadeden noninvaziv yöntemlerden biridir. LLLT'nin, prostaglandinler, bradikinin ve madde P gibi proinflamatuvar mediyatörlerin

salınımını azaltarak periodontal ligamentteki nosiseptörlerin duyarlılığını düşürdüğü bildirilmektedir (Al-Maliky et al., 2020). Bunun yanında, sinir sistemi üzerindeki etkileri yoluyla ağrı algısını azaltabileceği öne sürülmektedir (Jagła et al., 2025). Bu mekanizmalar sayesinde LLLT, ortodontik tedavi sırasında ağrı ve rahatsızlık hissinin azaltılmasına katkıda bulunabilmektedir. Diş hekimliğinde kullanılan lazerler, doku penetrasyon özelliklerine göre yüzeysel etkili ve derin dokulara ulaşabilen sistemler olarak sınıflandırılmaktadır. Nd:YAG, He:Ne ve yarı iletken lazerler gibi derin dokulara penetre olabilen lazerlerin ortodontik ağrının azaltılmasında analjezik etki gösterdiği bildirilmektedir (Li et al., 2015). Bunun yanında, lokal CO₂ lazer uygulamasının ortodontik kuvvetlere bağlı ağrıyı diş hareketini olumsuz etkilemeden azaltabildiği gösterilmiştir (Fujiyama et al., 2008). Çok sayıda çalışma, düşük seviyeli lazer tedavisinin ortodontik kuvvet uygulamasına bağlı gelişen ağrı ve rahatsızlık hissinin azaltılmasında etkili olabileceğini göstermektedir (Doshi-Mehta & Bhad-Patil, 2012; Sandhu et al., 2016). Nonfarmakolojik ağrı kontrol yöntemlerine olan ilginin artmasıyla birlikte, düşük seviyeli lazer tedavisinin ortodontik ağrı üzerindeki etkileri son yıllarda birçok çalışmada değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, LLLT'nin özellikle sabit ortodontik tedavinin başlangıç döneminde ağrı şiddetinin azaltılmasına katkıda bulunabileceğini göstermektedir.

Sakız Çiğneme

Çiğneme sırasında periodontal ligamentte oluşan kompresyon ve dekompresyonun, periodontal dokulardaki iskemi, ödem ve inflamasyonun azalmasına katkıda bulunarak vasküler ve lenfatik dolaşımın yeniden düzenlenmesini ortodontik ağrıyı hafiflettiği düşünülmektedir (Mando et al., 2023). Sakız çiğnemenin ortodontik ağrı üzerindeki etkileri diğer non-farmakolojik yöntemlere kıyasla daha sınırlı araştırılmış olup, bunun başlıca nedenlerinden biri aparey kırılma riskine ilişkin endişelerdir (Ireland et al., 2016). Bu risk nedeniyle hastalara genellikle sakız çiğnemekten kaçınmaları önerilse de, yapılan çalışmalarda sakız kullanımının aparey kırılma sıklığını artırmadığı bildirilmiştir (Al Shaye, 2012). Ayrıca yumuşak ve şekersiz sakız çiğnemenin, başlangıç braket yapıştırılması ve ark teli değişimlerini takiben analjezik gereksinimini azaltabileceği gösterilmiştir (Ireland et al., 2016). Mevcut çalışmalar, sakız çiğnemenin özellikle başlangıç ark teli yerleştirilmesini takiben ağrı şiddetini azaltabildiğini ve bazı durumlarda ibuprofen ile benzer düzeyde analjezik etki gösterebildiğini bildirmektedir (Waheed-Ul-Hamid et al., 2016). Bununla birlikte, sakız çiğnemenin ortodontik ağrı kontrolündeki etkinliğinin daha güçlü kanıtlarla desteklenebilmesi için ileri çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır. Bu bulgular, sakız çiğnemenin ortodontik ağrı yönetiminde yardımcı bir yöntem olarak kullanılabilirliğini düşündürmektedir.

Transkutanöz Elektriksel Stimülasyon Yöntemleri (TENS)

TENS ve transkutanöz elektriksel akupunktur noktası stimülasyonu (TEAS), ortodontik ağrının kontrolünde kullanılan nonfarmakolojik yöntemler arasında yer almaktadır. Bu yöntemlerde, deri yüzeyine yerleştirilen elektrotlar aracılığıyla uygulanan elektriksel uyarıların, büyük çaplı sinir liflerini aktive ederek ağrı iletimini baskıladığı ve β -endorfin ile serotonin gibi endojen analjezik mekanizmaları uyardığı düşünülmektedir (Vance et al., 2014). Bu sayede ağrı

toleransının arttığı ve analjezik etki sağlandığı bildirilmektedir. TENS'in akut ve kronik orofasiyal ağrıların kontrolünde etkili olduğu gösterilmiştir (Devi et al., 2021).

TEAS ise belirli akupunktur noktalarına uygulanan düşük frekanslı elektriksel uyarılar yoluyla endorfin salınımını artırarak daha uzun süreli analjezik etki oluşturabilmektedir (Waller-Wise, 2022). Yapılan çalışmalarda, TEAS uygulamasının ortodontik tedavi sonrasında özellikle ilk 24 ve 48 saat içerisinde ağrı şiddetinin azaltılmasına katkıda bulunabileceği bildirilmiştir (Li et al., 2024). Ancak bu yöntemlerin ortodontik ağrı yönetimindeki etkinliklerinin daha net ortaya konulabilmesi için ileri klinik çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

Vibrasyon Stimülasyonu

Vibrasyon stimülasyonu, dişlere iletilen mekanik titreşimler aracılığıyla ağrının azaltılmasını amaçlayan noninvaziv bir yöntemdir. Titreşim uygulamasının, dişler ve çevre dokulardaki kan dolaşımını artırarak iskemiye bağlı ağrının hafiflemesine katkıda bulunduğu düşünülmektedir (Bakdach, 2020). Ayrıca düşük yoğunluklu yüksek frekanslı vibrasyonun, periodontal dokulardaki hücresel yanıtları etkileyerek kemik yeniden şekillenme sürecini düzenleyebileceği ve ortodontik diş hareketini destekleyebileceği öne sürülmüştür (Davidovitch et al., 1980). Hayvan çalışmalarında yüksek frekanslı vibrasyonun diş hareketini hızlandırabildiği ve kök rezorpsiyonu riskini azaltabileceği bildirilmiştir (Tangtanawat et al., 2023). Bununla birlikte, vibrasyon cihazlarının ağrı ortaya çıkmadan önce kullanılmasının daha etkili olabileceği, ağrı başladıktan sonra ise etkinliğinin sınırlı kaldığı ve bazı hastalar tarafından yeterince tolere edilemediği belirtilmektedir (Thammanichanon et al., 2020).

Bilişsel Davranışçı Tedavi (BDT)

BDT; gevşeme eğitimi, yönlendirilmiş imgeleme, aktivite planlaması, problem çözme ve ağrıya bağlı anksiyete ile baş etme becerilerinin geliştirilmesini içeren psikolojik bir yaklaşımdır. Bu yöntem, bireyin ağrı ile baş etme becerisini güçlendirmeyi ve ağrının günlük yaşam üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmayı amaçlamaktadır. Yapılan çalışmalar, bilişsel davranışçı tedavinin ortodontik ağrı kontrolünde etkili olduğunu ve bazı durumlarda ibuprofen ile benzer düzeyde analjezik etki gösterebildiğini bildirmektedir (Wang et al., 2012). Ayrıca, hastaların tedavi süreci ve beklenen ağrı hakkında yeterince bilgilendirilmesi ile ortodontist-hasta iletişiminin güçlendirilmesinin, ağrı algısının azaltılmasına katkıda bulunabileceği vurgulanmaktadır (Ashkenazi et al., 2012). Bu bulgular, psikolojik ve davranışsal yaklaşımların ortodontik ağrı yönetiminde destekleyici bir rol üstlenebileceğini göstermektedir (Wang et al., 2012).

Güncel Kanıtlar ve Klinik Öneriler

Güncel kanıtlar, ortodontik ağrının yönetiminde farmakolojik yöntemlerin, özellikle de nonsteroid antiinflamatuar ilaçların etkili olduğunu göstermektedir. Etorikoksib ve naproksen gibi ajanlar kısa süreli kullanımda belirgin analjezik etki sağlayabilmektedir. Bununla birlikte, sistemik ilaçların olası yan etkileri nedeniyle uzun süreli kullanımlarından kaçınılması önerilmektedir (Dong et al., 2026).

Farmakolojik olmayan yöntemler arasında düşük seviyeli lazer tedavisi, vibrasyon uygulamaları, transkutanöz elektriksel stimülasyon yöntemleri ve davranışsal yaklaşımlar ağrı kontrolüne katkı sağlayabilmektedir. Ancak bu yöntemlerin etkinliği; kullanılan cihazların özellikleri, uygulama parametreleri ve klinik koşullar gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Bu nedenle, lazer dalga boyu, enerji yoğunluğu, vibrasyon frekansı ve uygulama süresi gibi parametrelerin standardizasyonuna yönelik daha fazla çalışmaya ihtiyaç bulunmaktadır.

Klinik uygulamada ağrı yönetimi bireyselleştirilmelidir. Hafif ve orta şiddette ağrı yaşayan hastalarda non-farmakolojik yöntemler destekleyici veya alternatif bir seçenek olarak değerlendirilebilirken, daha şiddetli ağrı durumlarında kısa süreli farmakolojik tedavilerden yararlanılabilmektedir. Tedavi seçiminde ağrının şiddeti, hasta beklentileri, klinik olanaklar ve olası yan etkiler birlikte göz önünde bulundurulmalıdır.

Sonuç

Ortodontik ağrı algısındaki bireysel farklılıklar göz önüne alındığında, ağrı yönetimi hasta merkezli ve bireyselleştirilmiş bir yaklaşımla planlanmalıdır. Tedavi seçiminde ağrının şiddeti, hastanın beklentileri, sistemik durumu, olası yan etkiler ve klinik olanaklar birlikte değerlendirilmelidir. Gelecekte yapılacak iyi tasarlanmış klinik çalışmaların, farklı ağrı kontrol yöntemlerinin etkinliğini daha net ortaya koyması ve standardize edilmiş uygulama protokollerinin geliştirilmesine katkı sağlaması beklenmektedir.

Kaynakça

- Al Shayea, E. I. (2012). Comparative assessment between ibuprofen, chewing gum, and bite wafers in pain control following first arch wire placement in orthodontic patients. **The Journal of Contemporary Dental Practice*, 13*(3), 276–282. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-1148>
- Al-Maliky, M. A., Frentzen, M., & Meister, J. (2020). Laser-assisted prevention of enamel caries: A 10-year review of the literature. **Lasers in Medical Science*, 35*(1), 13–30. <https://doi.org/10.1007/s10103-019-02867-2>
- Arias, O. R., & Marquez-Orozco, M. C. (2006). Aspirin, acetaminophen, and ibuprofen: Their effects on orthodontic tooth movement. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 130*(3), 364–370. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2004.12.027>
- Ashkenazi, M., Berlin-Broner, Y., & Levin, L. (2012). Pain prevention and management during orthodontic treatment as perceived by patients. **Orthodontics (Chic.)*, 13*(1), e76–e81.
- Bakdach, W. M. M. (2020). Effectiveness of supplemental vibrational force in reducing pain associated with orthodontic treatment: A systematic review. **Quintessence International*, 51*(9), 718–726. <https://doi.org/10.3290/j.qi.a44972>
- Bucci, R., Koutris, M., Simeon, V., Lobbezoo, F., & Michelotti, A. (2021). Effects of acute pain and strain of the periodontium due to orthodontic separation on the occlusal tactile acuity of healthy individuals. **Clinical Oral Investigations*, 25*(12), 6833–6840. <https://doi.org/10.1007/s00784-021-03973-9>

- Clarke, R., Derry, S., & Moore, R. A. (2012). Single dose oral etoricoxib for acute postoperative pain in adults. **Cochrane Database of Systematic Reviews, 2012*(4)*, CD004309. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD004309.pub4>
- Costa, E. O., Blagitz, M. N., & Normando, D. (2020). Impact of catastrophizing on pain during orthodontic treatment. **Dental Press Journal of Orthodontics, 25*(1)*, 64–69. <https://doi.org/10.1590/2177-6709.25.1.064-069.oar>
- Craig, K. D., & MacKenzie, N. E. (2021). What is pain: Are cognitive and social features core components? **Paediatric and Neonatal Pain, 3*(3)*, 106–118. <https://doi.org/10.1002/pne2.12039>
- Cureton, S. L. (1994). Headgear and pain. **Journal of Clinical Orthodontics, 28*(9)*, 525–530.
- Davidovitch, Z., Finkelson, M. D., Steigman, S., Shanfeld, J. L., Montgomery, P. C., & Korostoff, E. (1980). Electric currents, bone remodeling, and orthodontic tooth movement: II. Increase in rate of tooth movement and periodontal cyclic nucleotide levels by combined force and electric current. **American Journal of Orthodontics, 77*(1)*, 33–47. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(80\)90238-3](https://doi.org/10.1016/0002-9416(80)90238-3)
- de Carlos, F., Cobo, J., Díaz-Esnal, B., Arguelles, J., Vijande, M., & Costales, M. (2006). Orthodontic tooth movement after inhibition of cyclooxygenase-2. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 129*(3)*, 402–406. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.10.020>
- Devi, M. S., Ranjan, R., Devi, T. D., & Sorokhaibam, B. (2021). Application of transcutaneous electrical nerve stimulation in dentistry. **Indian Journal of Forensic Medicine & Toxicology, 15*(3)*, 2477–2482. <https://doi.org/10.37506/ijfmt.v15i3.15625>
- Diddige, R., Negi, G., Kiran, K. V. S., & Chitra, P. (2020). Comparison of pain levels in patients treated with 3 different orthodontic appliances: A randomized trial. **Medicine and Pharmacy Reports, 93*(1)*, 81–88. <https://doi.org/10.15386/mpr-1370>
- Ding, T. T., Xu, X. X., Cao, Y., Liu, C. R., Gan, Y. H., & Xie, Q. F. (2016). Inflammatory pain memory facilitates occlusal interference-induced masticatory muscle hyperalgesia in rats. **European Journal of Pain, 20*(3)*, 353–364. <https://doi.org/10.1002/ejp.731>
- Dong, X., Qu, H., Ning, X., Wang, Y., & Liang, Y. (2026). The effect of pharmacological and non-pharmacological interventions on pain control after orthodontic treatment: A systematic review and network meta-analysis. **BMC Oral Health, 26**, 407. <https://doi.org/10.1186/s12903-026-07733-9>
- Doshi-Mehta, G., & Bhad-Patil, W. A. (2012). Efficacy of low-intensity laser therapy in reducing treatment time and orthodontic pain: A clinical investigation. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 141(3)*, 289–297. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2011.09.009>
- El-Angbawi, A. M., Yassir, Y. A., McIntyre, G. T., Revie, G. F., & Bearn, D. R. (2019). A randomized clinical trial of the effectiveness of 0.018-inch and 0.022-inch slot orthodontic bracket systems: Part 3—Biological side-effects of treatment. *European Journal of Orthodontics, 41(2)*, 154–164. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjy035>
- Farzanegan, F., Zebarjad, S. M., Alizadeh, S., & Ahrari, F. (2012). Pain reduction after initial archwire placement in orthodontic patients: A randomized clinical trial. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 141(2)*, 169–173. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2011.06.024>
- Fleming, P. S., Al-Moghrabi, D., Fudalej, P., & Pandis, N. (2018). Orthodontic pain: The use of non-pharmacological adjuncts and its effect on compliance. *Seminars in Orthodontics, 24(2)*, 193–199. <https://doi.org/10.1053/j.sodo.2018.02.008>
- Fujiyama, K., Deguchi, T., Murakami, T., Fujii, A., Kushima, K., & Takano-Yamamoto, T. (2008). Clinical effect of CO2 laser in reducing pain in orthodontics. *The Angle*

- Orthodontist*, 78(2), 299–303. [https://doi.org/10.2319/0003-3219\(2008\)078\[0299:CEOCLI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2319/0003-3219(2008)078[0299:CEOCLI]2.0.CO;2)
- Giannopoulou, C., Dudic, A., & Kiliaridis, S. (2006). Pain discomfort and crevicular fluid changes induced by orthodontic elastic separators in children. *The Journal of Pain*, 7(5), 367–376. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2005.12.008>
- Gupta, S. P., Rauniyar, S., Prasad, P., & Pradhan, P. M. S. (2022). A randomized controlled trial to evaluate the effectiveness of different methods on pain management during orthodontic debonding. *Progress in Orthodontics*, 23(1), Article 7. <https://doi.org/10.1186/s40510-021-00405-3>
- Ireland, A. J., Ellis, P., Jordan, A., Bradley, R., Ewings, P., Atack, N. E., Griffiths, H., House, K., Moore, M., & Deacon, S. (2016). Comparative assessment of chewing gum and ibuprofen in the management of orthodontic pain with fixed appliances: A pragmatic multicenter randomized controlled trial. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 150(2), 220–227. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2016.01.022>
- Jagła, S., Bielawska-Victorini, H., & Woźniak, K. (2025). Impact of low-level laser therapy on orthodontic pain. *Frontiers in Neurology*, 16, Article 1666348. <https://doi.org/10.3389/fneur.2025.1666348>
- Karthi, M., Anbuslevan, G. J., Senthilkumar, K. P., Tamizharsi, S., Raja, S., & Prabhakar, K. (2012). NSAIDs in orthodontic tooth movement. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 4(Suppl. 2), S304–S306. <https://doi.org/10.4103/0975-7406.100273>
- Kasat, V., Gupta, A., Ladda, R., Kathariya, M., Saluja, H., & Farooqui, A.-A. (2014). Transcutaneous electric nerve stimulation (TENS) in dentistry: A review. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 6(5), e562–e568. <https://doi.org/10.4317/jced.51724>
- Kehoe, M. J., Cohen, S. M., Zarrinnia, K., & Cowan, A. (1996). The effect of acetaminophen, ibuprofen, and misoprostol on prostaglandin E2 synthesis and the degree and rate of orthodontic tooth movement. *The Angle Orthodontist*, 66(5), 339–350. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1996\)066<0339:TEOAIA>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1996)066<0339:TEOAIA>2.3.CO;2)
- Kilinç, D. D., & Sayar, G. (2019). Evaluation of pain perception during orthodontic debonding of metallic brackets with four different techniques. *Journal of Applied Oral Science*, 27, e20180003. <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2018-0003>
- Krishnan, V. (2007). Orthodontic pain: From causes to management—A review. *European Journal of Orthodontics*, 29(2), 170–179. <https://doi.org/10.1093/ejo/cj1081>
- Krishnan, V., & Davidovitch, Z. (2006). The effect of drugs on orthodontic tooth movement. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 9(4), 163–171. <https://doi.org/10.1111/j.1601-6343.2006.00378.x>
- Krishnan, V., & Davidovitch, Z. (2006). Cellular, molecular, and tissue-level reactions to orthodontic force. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 129(4), 469.e1–469.e32. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.10.007>
- Lamarca, G. de A., Vettore, M. V., & Monteiro da Silva, A. M. (2018). The influence of stress and anxiety on the expectation, perception and memory of dental pain in schoolchildren. *Dentistry Journal*, 6(4), Article 60. <https://doi.org/10.3390/dj6040060>
- Lautenbacher, S., Peters, J. H., Heesen, M., Scheel, J., & Kunz, M. (2017). Age changes in pain perception: A systematic review and meta-analysis of age effects on pain and tolerance thresholds. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 75, 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.01.039>
- Li, F., Zhang, J., Zeng, X., & Guo, Y. (2015). Low-level laser therapy for orthodontic pain: A systematic review. *Lasers in Medical Science*, 30(6), 1789–1803. <https://doi.org/10.1007/s10103-014-1635-2>

- Li, J., Li, S., Chen, H., Feng, J., Qiu, Y., & Li, L. (2024). The effect of physical interventions on pain control after orthodontic treatment: A systematic review and network meta-analysis. *PLOS ONE*, *19*(2), e0297783. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0297783>
- Lobre, W. D., Callegari, B. J., Gardner, G., Marsh, C. M., Bush, A. C., & Dunn, W. J. (2016). Pain control in orthodontics using a micropulse vibration device: A randomized clinical trial. *The Angle Orthodontist*, *86*(4), 625–630. <https://doi.org/10.2319/051315-334.1>
- Long, H., Wang, Y., Jian, F., Liao, L.-N., Yang, X., & Lai, W.-L. (2016). Current advances in orthodontic pain. *International Journal of Oral Science*, *8*(2), 67–75. <https://doi.org/10.1038/ijos.2016.7>
- Maheshwari, S., Verma, S., & Gaur, A. (2015). Recent advances in the management of orthodontic pain. *Journal of Dental Research and Scientific Development*, *2*(1), 13–17. <https://doi.org/10.4103/2348-3407.157643>
- Mando, M., Talaat, S., & Bourauel, C. (2023). The efficacy of chewing gum in the reduction of orthodontic pain at its peak intensity: A systematic review and meta-analysis. *The Angle Orthodontist*, *93*(5), 580–590. <https://doi.org/10.2319/111422-803.1>
- McDougall, J. F., Bailey, N. G., Banga, R., Linde, L. D., & Kramer, J. L. (2021). The influence of examiner gender on responses to tonic heat pain assessments: A preliminary investigation. *Frontiers in Pain Research*, *2*, Article 729860. <https://doi.org/10.3389/fpain.2021.729860>
- Mofti, B., ElShehaby, M., Montasser, M. A., & Bearn, D. R. (2020). Pharmacological management of orthodontic pain: A systematic review and meta-analysis. *Acta Scientifica Dental Sciences*, *4*(9), 125–135.
- Nakada, N., Uchida, Y., Inaba, M., Kaetsu, R., Shimizu, N., Namura, Y., & Motoyoshi, M. (2021). Pain and removal force associated with bracket debonding: A clinical study. *Journal of Applied Oral Science*, *29*, e20200879. <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2020-0879>
- Okeson, J. P. (1994). *Management of temporomandibular disorders and occlusion* (3rd ed.). Mosby.
- Otasevic, M., Naini, F. B., Gill, D. S., & Lee, R. T. (2006). Prospective randomized clinical trial comparing the effects of a masticatory bite wafer and avoidance of hard food on pain associated with initial orthodontic tooth movement. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, *130*(1), 6.e9–6.e15. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.03.041>
- Papageorgiou, S. N., Goelz, L., Jaeger, A., Eliades, T., & Bourauel, C. (2016). Lingual vs. labial fixed orthodontic appliances: Systematic review and meta-analysis of treatment effects. *European Journal of Oral Sciences*, *124*(2), 105–118. <https://doi.org/10.1111/eos.12250>
- Patel, S., McGorray, S. P., Yeziarski, R., Fillingim, R., Logan, H., & Wheeler, T. T. (2011). Effects of analgesics on orthodontic pain. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, *139*(1), e53–e58. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2009.11.020>
- Polat, O., & Karaman, A. I. (2005). Pain control during fixed orthodontic appliance therapy. *The Angle Orthodontist*, *75*(2), 214–219. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(2005\)075<0214:PCDFOA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(2005)075<0214:PCDFOA>2.0.CO;2)
- Raak, C. K., Ostermann, T., Schönenberg-Tu, A.-L., Fricke, O., Martin, D. D., Robens, S., & Scharbrodt, W. (2022). No gender differences in pain perception and medication after lumbar spine sequestrectomy—A reanalysis of a randomized controlled clinical trial. *Journal of Clinical Medicine*, *11*(9), Article 2333. <https://doi.org/10.3390/jcm11092333>
- Rabah, N., Al-Ibrahim, H. M., Hajeer, M. Y., Ajaj, M. A., Mahmoud, G., & Ajaj, M. A., Sr. (2022). Assessment of patient-centered outcomes when treating maxillary constriction using a slow removable versus a rapid fixed expansion appliance in the adolescence

- period: A randomized controlled trial. *Cureus*, 14(3), e23381. <https://doi.org/10.7759/cureus.23381>
- Sandhu, S. S., Cheema, M. S., & Khehra, H. S. (2016). Comparative effectiveness of pharmacologic and nonpharmacologic interventions for orthodontic pain relief at peak pain intensity: A Bayesian network meta-analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 150(1), 13–32. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2015.12.025>
- Sandhu, S. S., & Leckie, G. (2016). Orthodontic pain trajectories in adolescents: Between-subject and within-subject variability in pain perception. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 149(4), 491–500.e4. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2015.09.018>
- Scheurer, P. A., Firestone, A. R., & Bürgin, W. B. (1996). Perception of pain as a result of orthodontic treatment with fixed appliances. *European Journal of Orthodontics*, 18(4), 349–357. <https://doi.org/10.1093/ejo/18.4.349>
- Shenoy, N., Shetty, S., Ahmed, J., & Shenoy, A. (2013). The pain management in orthodontics. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 7(6), 1258–1260. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2013/4867.3087>
- Tangtanawat, P., Thammanichanon, P., Suttapreyasri, S., & Leethanakul, C. (2023). Light orthodontic force with high-frequency vibration accelerates tooth movement with minimal root resorption in rats. *Clinical Oral Investigations*, 27(4), 1757–1766. <https://doi.org/10.1007/s00784-022-04845-9>
- Thammanichanon, P., Kaewpitak, A., Binlath, T., & Leethanakul, C. (2020). Interval vibration reduces orthodontic pain via a mechanism involving down-regulation of TRPV1 and CGRP. *In Vivo*, 34(5), 2389–2399. <https://doi.org/10.21873/invivo.12062>
- Topolski, F., Moro, A., Correr, G. M., & Schimim, S. C. (2018). Optimal management of orthodontic pain. *Journal of Pain Research*, 11, 589–598. <https://doi.org/10.2147/JPR.S130121>
- Treede, R.-D. (2018). The International Association for the Study of Pain definition of pain: As valid in 2018 as in 1979, but in need of regularly updated footnotes. *Pain Reports*, 3(2), e643. <https://doi.org/10.1097/PR9.0000000000000643>
- Vance, C. G., Dailey, D. L., Rakel, B. A., & Sluka, K. A. (2014). Using TENS for pain control: The state of the evidence. *Pain Management*, 4(3), 197–209. <https://doi.org/10.2217/pmt.14.13>
- Waheed-Ul-Hamid, M., Haq, A. U., Mahmood, H. S., Azeem, M., & Irfan, S. (2016). Comparison between ibuprofen and chewing gum for orthodontic pain control. *Pakistan Oral & Dental Journal*, 36(1), 76–80.
- Waller-Wise, R. (2022). Transcutaneous electrical nerve stimulation: An overview. *The Journal of Perinatal Education*, 31(1), 49–54. <https://doi.org/10.1891/J-PE-D-21-00013>
- Wang, J., Jian, F., Chen, J., Ye, N., Huang, Y., Wang, S., Huang, R., Pei, J., Liu, P., & Zhang, L. (2012). Cognitive behavioral therapy for orthodontic pain control: A randomized trial. *Journal of Dental Research*, 91(6), 580–585. <https://doi.org/10.1177/0022034512443926>
- Wang, Y., Liu, C., Jian, F., McIntyre, G. T., Millett, D. T., Hickman, J., & Lai, W. (2018). Initial arch wires used in orthodontic treatment with fixed appliances. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2018(7), CD007859. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD007859.pub4>
- Wiedel, A.-P., & Bondemark, L. (2016). A randomized controlled trial of self-perceived pain, discomfort, and impairment of jaw function in children undergoing orthodontic treatment with fixed or removable appliances. *The Angle Orthodontist*, 86(2), 324–330. <https://doi.org/10.2319/020615-75.1>

Zborowski, M. (1952). Cultural components in responses to pain. *Journal of Social Issues*, 8(4), 16–30. <https://doi.org/10.1111/j.1540-4560.1952.tb01567.x>

