

GELİŞEN DİŞ HEKİMLİĞİ TEKNOLOJİLERİ: YAPAY ZEKÂ, İMPLANTOLOJİ VE DİJİTAL ÖLÇÜ



Editör
EMİNE GÖNCÜ BAŞARAN



BİDGE Yayınları

**GELİŞEN DİŞ HEKİMLİĞİ TEKNOLOJİLERİ: YAPAY
ZEKÂ, İMPLANTOLOJİ VE DİJİTAL ÖLÇÜ**

Editör: EMİNE GÖNCÜ BAŞARAN

ISBN: 978-625-372-760-4

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 2025-06-25

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.

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



ÖNSÖZ

Gelişen diş hekimliği teknolojileri, diş hekimlerine hem mesleki hem de akademik olarak ışık tutmaya devam etmektedir. Bu kitap yapay zeka, implant ve dijital ölçü gibi güncel yaklaşımlarla hekimler için bilgilendirici bir konu yelpazesi sunmaktadır.

İÇİNDEKİLER

İMLANT DESTEKLİ SABİT PROTEZLERDE MEKANİK KOMPLİKASYONLAR	1
--	---

ELİF GAMZE YILDIZ, EMİNE GÖNCÜ BAŞARAN, ETEM TAYFUN GÖKŞEN

YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ DİŞ HEKİMLİĞİ: MEVCUT UYGULAMALAR VE GELECEĞE DAİR ÖNGÖRÜLER	24
---	----

RAVZA ERASLAN, MUSTAFA AYATA

AĞIZ İÇİ TARAYICI İLE ALINAN ÖLÇÜNÜN HASSASİYETİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER	46
---	----

MUSTAFA AYATA, RAVZA ERASLAN

İMLANT DESTEKLİ SABİT PROTEZLERDE **MEKANİK KOMPLİKASYONLAR**

BÖLÜM 1

- 1. YAZAR ADI-ELİF GAMZE YILDIZ**
- 2. YAZAR ADI-EMİNE GÖNCÜ BAŞARAN**
- 3. YAZAR ADI-ETEM TAYFUN GÖKŞEN**

GİRİŞ:

Günümüzde, dental implantlarla desteklenen protezler, hastaların estetik ve fonksiyonel gereksinimlerini karşılamak için en etkili tedavi yöntemlerinden biridir. İmplant destekli rehabilitasyonlarda, protetik restorasyonu destekleyen bileşenler gövdesi, abutment ve abutment vidasından oluşur.

Başarılı bir implant tedavisi, biyolojik ve mekanik faktörler arasındaki dinamik dengenin korunmasını gerektirir. Bu denge sağlanamadığında, çeşitli komplikasyonlar ortaya çıkabilir. Yapılan bir çok çalışmada , implant kaynaklı komplikasyonların büyük bir bölümünün mekanik komplikasyonlar olduğu belirtilmektedir.

İmplant-protez sisteminin mekanik komplikasyonlarını sıralayacak olursak;(Prado CJ et al.,2014).

1. Vida gevşemesi ve kırığı
2. İmplant gövde kırığı
3. Abutment kırığı
4. Veneer materyalinin chippingi
5. Restorasyonun desimantasyonudur.

En sık görülen mekanik komplikasyonlardan birinin ise vida gevşemesi olduğu bildirilmiştir.(Zembic A et al.,2014).

1-VİDA GEVŞEMESİ VE KIRIĞI:

Bickford'a göre, vida gevşemesi iki aşamalı bir süreçtir. İlk aşamada, eksternal fonksiyonel kuvvetler vida bağlantısını etkileyerek sıkıştırma torkunun azalmasına neden olur. Bu süreçte, vibrasyon ve mikro hareketlilik nedeniyle vida gevşer ve etkili ön yük kuvvetinde kayıp meydana gelir. İkinci aşamada ise, ön yük kuvvetinin kritik eşik değerin altına inmesiyle vida yivleri rotasyona uğrar ve bu durum, vida bağlantısının fonksiyon kaybına yol açar.(Bickford J H. et al.,2008).

Literatürde 'bükülme ve yerleşme etkisi' olarak tanımlanan bu iki mekanizmaya bağlı olarak gelişen vida gevşemesi, restorasyon üzerindeki bükülme kuvvetlerinin vidanın akma dayanımını aşması durumunda, vidada kalıcı deformasyona ve vida kökündeki çekme kuvvetlerinin kaybına neden olmaktadır. Bunu takiben, implant ve abutment arasındaki temas kuvvetlerinin azalması sonucunda vida bağlantısında gevşeme meydana gelmektedir.(C. E. Misch 2009).

Vida gevşemesinde rol oynayan faktörler ise; (Kourtis S. et al.,2017).

1. Ön yük
2. Yerleşme etkisi
3. İmplant-abutment bağlantı mekanizması
4. Restorasyonun retansiyon tipi
5. Protetik abutment materyali
6. Vida materyali
7. Rotasyon serbestliği

8. Restorasyonun tekli veya çoklu olması
9. İmplant çapı ve sayısı
10. Bruksizm
11. Kantilever varlığı olarak sıralanabilir.

ÖN YÜK

Abutment vidasına uygulanan sıkıştırma torku, vidada bir ön yük oluşturur. Bu ön yük, vidanın elastik deformasyon kapasitesi sayesinde bağlantı elemanlarının stabilitesini sağlayarak bileşenlerin bir arada tutulmasına olanak tanır.(Guzaitis KL et al.,2011). Önerilen sıkıştırma torkundan daha düşük kuvvetlerle torklanan abutment vidalarında, yetersiz ön yük nedeniyle vida gevşemesi riski artmaktadır. Öte yandan, aşırı tork uygulanması vidanın akma dayanımının aşılmasına yol açarak mekanik özelliklerinin kaybına ve plastik deformasyona uğramasına neden olur. Bu nedenle, ön yükün vidanın bükülmesini veya kırılmasını önleyecek kadar yeterli, ancak elastik limitler içinde kalacak şekilde optimize edilmesi gerekmektedir.(Xia D et al.,2014).

Sıkıştırma torkunun uygulanması, bağlantı bileşenlerinin temas yüzeylerindeki mikrodüzensizlikleri yumuşatır. Bu süreç sırasında harcanan enerji, nihai yükleme kuvvetinin azalmasına neden olmaktadır.(Dincer Kose et al.,2017). Literatürde yayımlanan birçok çalışma, vidanın üretici firma tarafından belirlenen tork değerinde ilk kez sıkıldıktan sonra, yerleşme etkisiyle kaybolan ön yükün geri kazanılması amacıyla 10 dakika beklenerek torklama işleminin tekrarlanması gerektiğini belirtmektedir.(Yao KT et al.,2012). Öte yandan, Misch, 35 N’a kadar torklanan vidanın tamamen çıkarıldıktan sonra yeniden 35 N tork uygulanarak sıkılması gerektiğini belirtmiştir.(C. E. Misch 2009).

YERLEŞME ETKİSİ(SETTLING EFFECT)

Yerleşme etkisi, bağlantı yüzeylerindeki mikrodüzensizliklerin varlığı nedeniyle vidanın stabilitesinde kritik bir rol oynamaktadır. Pürüzlü yüzeylerin basınç altında zamanla düzleşmesi sonucu yerleşme etkisi meydana gelir. Literatürde, ilk yüklemenin yaklaşık %2 ila %10'unun bu etki nedeniyle kaybolduğu belirtilmektedir. Bunun sonucunda, vidayı gevşetmek için gerekli tork kuvveti, başlangıçtaki sıkıştırma torkuna kıyasla daha düşük olmaktadır.(Abou-Obaid AI et al.,2016). Toplam yerleşme etkisi vidanın elastik uzamasından daha yüksek olduğunda, vidayı pozisyonunda sabit tutacak temaslar olmadığından vida gevşer(Gupta S et al.,2015).

İMLANT ABUTMENT BAĞLANTI TİPİ

Genel olarak, implant-abutment bağlantıları eksternal ve internal olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Bu iki bağlantı türü, stres dağılımı ve bağlantı stabilitesi açısından önemli farklılıklar göstermektedir.

Eksternal altıgen bağlantı tipi, yüksek çiğneme kuvvetleri altında protez dayanağında mikro hareketliliğe yol açarak bağlantı stabilitesini olumsuz etkileyebilir. Bu durum, abutment vidasının gevşemesine veya kırılmasına neden olabilmektedir.

Buna karşın, internal bağlantı tipi, daha etkili bir tork kaybı önleyici mekanizmaya sahiptir ve lateral kuvvetler nedeniyle abutment vidasında meydana gelebilecek bükülmeyi engelleyerek bağlantının daha stabil kalmasını sağlamaktadır(Gracis S et al.,2012).

Konik bağlantı, implant ve abutment arasındaki boşluğu en aza indiren bir internal bağlantı türüdür. Bu bağlantı türünün avantajları arasında, tork kaybına karşı daha yüksek direnç,

artırılmış yorulma direnci ve maksimum bükülme direnci bulunmaktadır. Ayrıca, konik bağlantı, eksternal altıgen sistemlere kıyasla abutment vidası üzerindeki kuvvet dağılımını daha düşük seviyede tutarak mekanik stabiliteyi artırmaktadır(Neumann EAF et al.,2014).

RESTORASYONUN RETANSİYON TİPİ

Restorasyonun retansiyonu, siman veya vida ile sağlanabilmektedir. Klinik çalışmalar, mekanik komplikasyonların vida ile tutturulan restorasyonlarda (%57), siman ile tutturulanlara kıyasla (%22,8) daha sık görüldüğünü göstermektedir. Bu komplikasyonlar arasında en yaygın olanı ise abutment vidasının gevşemesidir(Sailer I et al.,2012).

Vida tutuculu bir restorasyonda abutment vidasının gevşemesi, vidaya vida erişim deliğinden ulaşıp tekrar torklanması ile tek seansta kolayca tedavi edilebilirken, siman tutuculu bir restorasyonda, restorasyonun okluzalinden açılan bir yuva ile vidaya ulaşmak gerekir.

PROTETİK ABUTMENT MATERYALİ

Abutment tipleri; malzeme (metal, seramik veya PEEK), şekil (düz veya eğimli) ve üretim yöntemi (döküm, prefabrik veya CAD/CAM) gibi faktörlere bağlı olarak farklılık göstermektedir.

Literatürde, siman tutuculu restorasyonlarda protetik abutment malzemesinin protezin başarısı üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı bildirilirken, vida tutuculu restorasyonlarda altın

alaşımlarından üretilen abutmentlerin daha yüksek başarısızlık oranlarına sahip olduğu belirtilmiştir.(Wittneben JG et al.,2014)

Yapılan bir araştırmada, vida gevşeme sıklığı karşılaştırılmış ve metal ile seramik abutmentler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığı rapor edilmiştir(Wittneben JG et al.,2014).

Seramik abutmentler, malzemenin doğasından kaynaklanan kırılma ve çekme kuvvetlerine karşı yetersiz mekanik dayanıklılıkları nedeniyle, yüzeylerinde çatlak ve defektlerin kolaylıkla oluşmasına bağlı olarak kırılma riski taşımaktadır(Rinke S et al .,2015).

Yapılan bir çalışmada, PEEK abutment kullanımının implant üstü protetik restorasyon üzerindeki stres seviyesini artırabileceği ve bunun sonucunda vida gevşemesi ile kırılma gibi komplikasyonlara yol açabileceği gösterilmiştir(Tekin S et al .,2019).

VİDA MATERYALİ

Literatürde, abutment vidası olarak kullanılan materyaller arasında saf titanyum, kaplanmış veya işlem görmüş titanyum, altın ve PEEK gibi çeşitli malzemeler yer almaktadır. Vida üretiminde en yaygın kullanılan materyallerden biri olan saf titanyum, yalnızca elastik deformasyona uğradığı için birden fazla kez kullanılabilme özelliğine sahiptir. Ancak, daimi restorasyonlarda kullanımı önerilmemekte olup, daha çok geçici restorasyonlar ve laboratuvar prosedürleri için uygun bir seçenek olarak değerlendirilmektedir(Shafie HR et al.,2014).

Kaplanmış veya işlenmiş titanyum, sürtünmeyi azaltmak ve ön yüklemeyi artırmak amacıyla geliştirilmiştir. Bu

kaplamalar ve işlemler arasında altın, tungsten, karbon, karbür ve nitrid bileşenleri yer almaktadır. Üretim maliyetleri yüksek olan bu alaşımlar, oldukça yüksek çekme dayanımı ve tokluğa sahiptir. Genel olarak, kaplanmış ve işlenmiş protetik vidalar, saf olmayan titanyum protetik vidalara kıyasla daha yüksek ön yükleme sağlayabilmekte ve döngüsel yükleme sonrasında bu ön yüklemeyi koruyabilmektedir(Shafie HR et al.,2014).

Yapılan araştırmalarda, titanyum alaşımlı abutment vidaları ile elmas benzeri karbon kaplamalı titanyum alaşımlı abutment vidalarının, ön yükün devamlılığını sağlayan maksimum torku koruduğu rapor edilmiştir(Assunção WG et al.,2012).

Chen ve çalışma arkadaşları, PEEK ve PTFE kaplamalı abutment vidalarının uzun vadede vida gevşemesini önlediğini ve implantın internal yivinde meydana gelebilecek abrazyonu azalttığını rapor etmiştir(ChenX et al.,2020).

ROTASYONEL SERBESTLİK

İmplant ve abutment arasındaki rotasyonel serbestlik derecesi, bu iki bileşen arasındaki uzun vadeli stabilitenin belirlenmesinde kritik bir faktör olarak kabul edilmektedir. Artan rotasyonel serbestlik, vida gevşeme oranında artış ile ilişkilendirilmiştir. Bu faktör, abutmentin tam olarak oturmasının ve lateral temas noktalarında anti-rotasyon mekanizmasının sağlanmasının zorunlu olduğu tek diş restorasyonlarında özellikle önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca, Morse taper bağlantı tipinde olduğu gibi, implant içindeki dayanak tabanının daha sıkı mekanik kilitlenmesi, mekanik komplikasyonları en aza indirmek amacıyla birçok üretici tarafından tercih edilen bir strateji olarak benimsenmiştir(Kourtis S et al.,2017).

Protez dayanağının altıgen yapısı ile implant arasındaki optimum stabilitenin sağlanabilmesi için kabul edilen maksimum rotasyonel serbestlik 5 derece olarak belirlenmiştir. Bu değerin aşılması durumunda, implant ile protez dayanağı arasındaki temasın gevşemesini önlemek için gerekli tork değeri önemli ölçüde azalmakta ve stabilite riske girmektedir(Junqueira MC et al.,2013).

TEKLİ YA DA ÇOKLU RESTORASYONLAR

Bazı araştırmalar, tek kronlarda köprü protezlere oranla daha çok teknik komplikasyon görüldüğü konusunda hemfikirdir. Pjetursson ve ark. , implant destekli köprülerde % 5,6 ; tek üye restorasyonlarda % 12,7 oranında vida gevşemesi bildirmiştir(Pjetursson BE et al.,2007).

Sailer ve ark. , vida gevşemesinin vida tutuculu tek kron restorasyonlarında köprü restorasyonlarına kıyasla daha sık meydana geldiğini bildirmiştir(Sailer I et al .,2012).

Bunun nedeni ise köprü restorasyonlarında dönme momenti çoklu destekle dengelenirken tek kronlarda dönme momenti tek bir dönme önleme mekanizması ve bir sabitleme vidası üzerine uygulanır(Erdoğan H.G et al.,2021)

OKLÜZAL TABLA:

İmplant üstü protezlerde oluşan stresi minimize etmek amacıyla belirli modifikasyonların uygulanması gerekebilir. Bu doğrultuda, protezin oklüzal tablasının daraltılması, tüberkül eğiminin azaltılması, kuvvet yönünün optimize edilmesi, nonaksiyal yüklemelerin minimize edilmesi, kantilever uzunluğunun kısaltılması ve oklüzal temasların hafif temas hâline getirilmesi gibi düzenlemeler önerilmektedir(Koyano K et al., 2015)

Bakaeen ve çalışma arkadaşları, gerçekleştirdikleri araştırmada, okluzal tablanın bukkolingual yönde %40 oranında daraltılmasının ve yüklerin implant merkezine yönlendirilmesinin, abutment ve abutment vidasına iletilen yükleri önemli ölçüde azalttığını ne sürmüştür. (Bakaeen LG et al.,2001)

İMLANT ÇAPI VE SAYISI:

Geniş çaplı implantlar, çiğneme sırasında oluşan fonksiyonel yükleri implant-dayanak bağlantısına daha az yoğunlukta ileterek bu kuvvetlerin daha geniş bir yüzey alanına yayılmasına katkı sağlar. Ayrıca, iki parçalı endossez kök formundaki implant sistemlerinde implant sayısının artırılması, bağlantı elemanlarında meydana gelebilecek vida gevsemesi riskini önemli ölçüde düşürebilir..(Bakaeen LG et al.,2001)

Eğer dişsiz bir bölgenin mesio-distal genişliği artmışsa, bu alana tek bir implant yerleştirmek yerine iki ayrı implant uygulanması, kuvvetlerin daha dengeli dağılmasını sağlayarak abutment vidalarında gevseme oluşma ihtimalini azaltır.(Krishnan V et al., 2014)

BRUKSİZM:

Bruksizm, implant tedavilerinde çeşitli biyomekanik komplikasyonlara yol açabilen parafonksiyonel bir alışkanlıktır. Bu durum; implant gövdesinde kırık oluşumu, bağlantı ya da abutment vidalarının gevsemesi veya kırılması, overdenture protezlerde yapısal bileşenlerin gevsemesi ya da aşırı aşınması, ayrıca porselen ya da akrilik dişlerde materyal kaybı veya fraktür gibi olumsuz sonuçlara neden

olabilir. Protetik restorasyonlar üzerine iletilen oklüzal yüklerin, implant-vida bağlantısındaki stabiliteyi sağlayan kuvvetleri aşması durumunda ise vida gevşemesi sık görülen bir komplikasyon olarak ortaya çıkmaktadır..(Gothberg C et al.,2003)

Manfredini ve çalışma arkadaşları tarafından gerçekleştirilen sistematik derlemede, bruksizmin implant tedavilerinde biyolojik komplikasyonlardan çok mekanik komplikasyonlar açısından anlamlı bir risk faktörü oluşturduğu vurgulanmıştır.(Manfredini D. Et al.,2014)

KANTİLEVER VARLIĞI:

İn vitro olarak gerçekleştirilen bir çalışmada, implant destekli protetik restorasyonlarda kullanılan kantilever uzantıların, özellikle dişsiz boşluğa en yakın konumda yer alan implanta yönelik stres birikimini artırabileceği gösterilmiştir.(Mumcu E. Et al.,2011).

Kantilever uzantılarının uzunluk ve yüksekliğinin artması, kaldıraç etkisi oluşturarak abutment vidası üzerinde yoğun gerilme birikimine neden olabilir; bu durum, bağlantı stabilitesini olumsuz etkileyerek vida gevşemesi riskini artırabilir.(Abichandani S. et al.,2013)

Kantilever uzantılarının uzunluğundaki artışın, protetik restorasyonlarda görülen mekanik komplikasyonların sıklığını anlamlı düzeyde artırdığı literatürde belirtilmiştir.(Goodacre CJ. Et al.,2003)

VIDA GEVŞEMESİNE KLİNİK YAKLAŞIM:

İmplant üstü protetik restorasyonlarda meydana gelen vida gevşemesi, zamanında müdahale edilmediğinde, ilerleyen

aşamalarda vida fraktürü ya da implant gövdesinde yapısal kırık gibi daha ciddi mekanik sorunlara zemin hazırlayabilir.

Bu komplikasyon, hastalar tarafından genellikle protezde hafif oynama hissi, dişetinde rahatsızlık, kızarıklık ya da hassasiyet gibi belirtilerle fark edilebilir. Bu tür bulguların değerlendirilmesinde klinisyenin temel görevi, semptomların kaynağının vida gevşemesi mi, bağlantı elemanlarında kırık mı yoksa implant çevresindeki kemik dokuda meydana gelen osteolitik değişiklikler mi olduğunu doğru biçimde saptamaktır. Bu amaçla radyografik incelemeler temel tanı yöntemidir.

Vida gevşemesine yönelik tedavi yaklaşımı, kullanılan protez tipine göre değişkenlik gösterir. Vida tutuculu restorasyonlarda, ilgili vida kanalındaki restoratif materyal çıkarıldıktan sonra, vida uygun tork değerinde sıkılır ve ardından kanal yeniden restoratif materyal ile kapatılır.

Simanla sabitlenmiş restorasyonlarda ise özellikle posterior bölgelerde, vidaya ulaşımı sağlamak amacıyla oklüzal yüzeyden bir tünel oluşturmak etkili bir yöntemdir. Tünelin konumunun belirlenmesinde periapikal radyografilerden yararlanılır.

Eğer vida bileşenine erişim sağlanamıyorsa, kronun zarar vermeden kesilerek uzaklaştırılması gerekebilir. Bu işlem sırasında abutmentin bütünlüğünün korunması önemlidir.(Erdoğan et al.,2021)

VIDA KIRIĞINA KLİNİK YAKLAŞIM:

Tespit edilemeyen ya da göz ardı edilen vida gevşemesi; bruksizm, aşırı oklüzal yüklenme, vida bağlantılarında tekrarlayan gevşeme ve yeniden sıkma işlemleri, protezin pasif oturmamasına bağlı stres birikimi ve üretim kaynaklı yapısal kusurlar gibi faktörlerle birlikte, abutment veya bağlantı

vidalarında meydana gelen kırıkların başlıca etiyolojik nedenleri arasında yer almaktadır.

Vida kırığıyla karşılaşıl原因 durumlarda aşağıdaki yöntemlerin uygulandığı literatürde belirtilmiştir; (Reyhanian A. Et al.,2010)

Arter forsepsi tekniği

Ultrasonik scaler

Lubrikant tekniği

Düşük hız ters aç frez tekniği

Tamir veya çıkarma kiti

Vidayı aşındırarak küçültme tekniği

2-İMLANT GÖVDE KIRIĞI:

5 yıllık takip çalışmalarında, implant kırığı izlenme oranı %0,2 ile %3,5 arasında rapor edilmektedir.(Balshi TJ.1996)

İmplant fraktürlerinin etiyopatogenezinde; aşırı veya dengesiz oklüzal yükleme, implantın yerleştirildiği anatomik bölge, protetik restorasyonun uyum yetersizliği ve tasarım özellikleri, çevresel kemik desteğinde meydana gelen kayıplar, metal yorgunluğu, implantın çapı, üretici firmanın teknolojik ve malzeme kalitesi gibi üretimsel faktörler ile birlikte, galvanik korozyona bağlı biyomekanik etkilerin rol oynayabileceği bildirilmektedir.(Tagger Green N. Et al.,2002)

Aşırı oklüzal yüklenme, implant fraktürlerinin oluşumunda temel rol oynayan başlıca etkenlerden biridir. Literatürde, bu tür yüklenmelere bağlı gelişen implant kırıklarının özellikle

parafonksiyonel alışkanlıklar ve bruksizm gibi sürekli ve kontrolsüz kuvvet uygulayan faktörlerle ilişkili olarak ortaya çıkabileceği belirtilmektedir.(Tagger Green N. Et al.,2002)(Piattelli A. Et al., 1998)

İmplant kırıklarının literatürde nadir görülen komplikasyonlar arasında yer aldığı bildirilmekle birlikte, tedavi planlamasında oklüzal yüklerin minimize edilmesine yönelik önlemlerin alınması, uzun dönem başarı açısından büyük önem taşımaktadır.(Binon PP. Et al.,2000)

İmplantlara iletilen aşırı oklüzal kuvvetlerin önlenmesinde çeşitli protetik ve cerrahi faktörlerin önemli rol oynadığı belirtilmektedir. Bu bağlamda; implantüstü restorasyonların pasif uyum göstermesi, abutment vidasına aktarılan yüklerin minimize edilmesi, kantilever uzantılarının sınırlandırılması, bukko-lingual yöndeki oklüzal genişliğin dar tutulması, tüberkülerdeki eğimlerin düzleştirilmesi ve yeterli sayıda, uygun uzunluk ve çapta implant yerleştirilmesi gibi yaklaşımlar, aşırı yüklenmenin önlenmesinde etkili stratejiler olarak literatürde yer almaktadır.(Bakaeen LG. Et al.,2001) (Sato Y. Et al.,2000)

3-ABUTMENT KIRIĞI:

Abutment kırıkları, klinik olarak nadir karşılaşılan ancak ortaya çıktığında yönetimi oldukça güç olan komplikasyonlar arasında yer almaktadır. Bu tür kırıkların etiyolojisinde; aşırı oklüzal yüklenme, materyal yorulması, altyapı protez tasarımının pasif uyum göstermemesi, üretimsel hatalar ve uyumsuz protetik komponentlerin kullanımı gibi çeşitli faktörler rol oynamaktadır. Metal abutmentlarda kırıklar genellikle implant vidası seviyesinde gözlemlenirken, seramik abutmentlarda kırıklar çoğunlukla abutmentin kendisinde meydana gelmektedir.(Balcı B.2015)

Stres birikiminin yoğunlaştığı bölgelerden biri olan abutment vidası, bu tür yapısal hasarların oluşumunda kritik öneme sahiptir. Ayrıca, implant-abutment bağlantı tipi de kırık gelişiminde etkili bir parametre olarak değerlendirilmektedir. İnternal bağlantı türünde abutment kırığı görülme ihtimali eksternal bağlantı türüne kıyasla daha düşük ihtimaldir. (Misch, C. E. 2005).

İmplant-abutment sisteminin; fonksiyonel, estetik ve biyolojik gereksinimleri karşılayabilecek düzeyde mekanik dayanıklılığa sahip, biyouyumlu malzemelerden üretilmiş olması büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, abutment kırıkları ve vida gevşemesi gibi komplikasyonların önlenmesi için, implant ve abutment arasında pasif ve tam bir uyumun sağlanması temel bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır. (Al-Zordk W. et al., 2020)

4-PROTEZİN DESİMANTASYONU:

Protetik restorasyonlarda siman tutuculu sistemlerin başarısı, restorasyonun yeterli retansiyon sağlamasına doğrudan bağlıdır. Retansiyon düzeyi; abutmentin boyutları, yüksekliği, yüzey alanı ve pürüzlülüğü gibi morfolojik özelliklerin yanı sıra, kullanılan döküm materyali, iç yüzey tasarımı ve tercih edilen yapıştırıcı ajan türünden de etkilenmektedir.

Retansiyonun yetersizliği durumunda oluşan desimantasyon, sıklıkla oklüzal mesafenin kısıtlı olduğu olgularda, abutment formunun yeterli mekanik tutuculuk ve direnç sağlayamaması ya da abutment seçiminin uygun yapılmaması gibi nedenlere dayanmaktadır. Özellikle kısa abutmentlerde, simanın yapışacağı yüzey alanının azalması, dikey yönlü oklüzal kuvvetler karşısında yeterli direnç oluşmasını engelleyerek restorasyonun yerinden ayrılmasını kolaylaştırmaktadır.

Ayrıca, rotasyonel kuvvetler de retansiyonu olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu durum özellikle tek diş implant restorasyonlarında daha belirgindir; çünkü çok üyeli sabit protezlere kıyasla, tek diş restorasyonlar daha fazla rotasyonel tork kuvvetine maruz kalmakta ve bu nedenle desimantasyon oranı artmaktadır.

Arklararası mesafenin yetersiz olduğu klinik vakalarda ise, buna bağlı olarak okluzo-servikal yüksekliğin azalması, abutmentin tutucu yüzey alanını sınırlandırmakta ve dolayısıyla simanla elde edilen bağ kuvvetini zayıflatmaktadır. Bu gibi durumlarda, mekanik stabiliteyi artırmak adına vida tutuculu restorasyonlar tercih edilebilir..(AYALP et al.,2015)

5-VENEER MATERYALİNİN KIRILMASI:

İmplant destekli sabit protetik restorasyonlarda estetik görünüm, genellikle metal veya zirkonyum esaslı altyapılar üzerine uygulanan seramik veneer materyalleri ile sağlanmaktadır. Ancak bu veneer tabakasında meydana gelen kırıkların en yaygın nedenleri arasında; altyapı materyalinin yetersiz veya hatalı biçimde tasarlanması, oklüzal morfolojinin uygun şekilde düzenlenmemesi ve laboratuvar sürecindeki teknik hatalar yer almaktadır.

Fonksiyonel yükler sırasında, yeterli kalınlıkta ve yapısal dayanıklılıkta olmayan metal altyapıların kullanılması durumunda, seramik veneer materyali yeterli destekten yoksun kalmakta ve bu da kırık riskini artırmaktadır. Bu nedenle, metal altyapının oklüzal kuvvetler karşısında deformasyona uğramayacak sertlikte ve rijitlikte tasarlanması büyük önem taşımaktadır. (Sahin S. et al., 2002)

Porselen veneer üstyapılarda gözlenen başarısızlıkların diğer başlıca etiyolojik faktörleri arasında; metal alaşımı ile seramik arasındaki termal genleşme uyumsuzluğu, bağlantı yüzeylerinin

uygun şekilde hazırlanamaması, porselen uygulaması sırasında fırınlama protokollerine yeterli özenin gösterilmemesi ve direkt travmatik etkenler yer almaktadır.

Altyapı ile seramik arasında stabil ve uzun ömürlü bir bağ oluşumunun sağlanabilmesi, uygun biyouyumlu materyallerin seçilmesi ve üretim sürecinde doğru tekniklerin eksiksiz şekilde uygulanmasına bağlıdır.(GÖÇOĞLU Esra et al., 2022)

SONUÇ:

Mekanik Faktörlere Dikkat Edilmelidir:

İmplant destekli restorasyonlarda mekanik komplikasyonlar sıklıkla yaşanmaktadır. Bu komplikasyonların önlenmesi için oklüzal yüklerin doğru bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir.

Pasif Uyum Sağlanmalıdır:

İmplant ve abutment arasındaki pasif uyum sağlanmalıdır. İyi bir pasif uyum, vida gevşemesi ve abutment kırıkları gibi komplikasyonları minimize eder.

Yeterli Tork Uygulaması Yapılmalıdır:

Abutment vidasına uygun tork uygulanmalıdır. Aksi takdirde, yetersiz veya aşırı torklama vida gevşemesi riskini artırabilir. Torklama işlemi doğru yapılmalı ve yerleşme etkisi göz önünde bulundurulmalıdır.

Bruksizm ve Aşırı Oklüzal Yükler Yönetilmelidir:

Bruksizm gibi parafonksiyonel alışkanlıklar, vida gevşemesi ve implant kırıklarına neden olabilir. Bu tür alışkanlıklar tedavi edilmeli veya kontrol altında tutulmalıdır.

Aşırı oklüzal yüklerden kaçınılmalı ve yük dağılımı dikkatlice optimize edilmelidir.

Doğru Abutment ve Vida Seçimi Yapılmalıdır:

Abutment materyali ve vida materyali seçimi, restorasyonun başarısını doğrudan etkiler. İyi seçilmiş materyaller, mekanik stabiliteyi artırır ve uzun ömürlü protezler sağlar.

Kantilever Uzantıları Sınırlanmalıdır:

Kantilever uzantılarının uzunluğu ve yüksekliği mümkün olduğunca sınırlanmalıdır. Uzun kantileverler, abutment vidasına aşırı stres uygulayarak vida gevşemesi riskini artırabilir.

İmplant Sayısı ve Çapı Dikkate Alınmalıdır:

İmplant sayısı ve çapı, yüklerin dengeli dağılmasına yardımcı olmalıdır. Dişsiz bölgenin genişliğine göre birden fazla implant kullanmak, vida gevşemesi riskini azaltabilir.

Restorasyon Tipine Uygun Teknikler Seçilmelidir:

Vida tutuculu restorasyonlar ve siman tutuculu restorasyonlar farklı mekanik özelliklere sahiptir. Her iki tip restorasyon için uygun teknikler ve materyaller seçilerek, komplikasyon riski azaltılabilir.

Kaynakça/References:

1. Glossary of Prosthodontic Terms, J Prosthet Dent 1999; 81: 39–110
2. Prado CJ, Neves FD, Soares CJ, Dantas KA, Dantas TS, Naves LZ. Influence of abutment screw design and surface coating on the bending flexural strength of the implant set. J Oral Implantol 2014; 40:123–8.
3. Zembic A, Kim S, Zwahlen M, Kelly JR. Systematic review of the survival rate and incidence of biologic, technical, and esthetic complications of single implant abutments supporting fixed prostheses. Int J Oral Maxillofac Implants 2014; 29:99–116.
4. Bickford J H. Introduction to the Design and Behavior of Bolted Joints. CRCPress, BocaRaton, Fla, USA: 2008.
5. C. E. Misch, Dental İmplant Protezler, Nobel Tıp Kitabevleri, İstanbul: 2009.p.363.
6. Kourtis S, Damanaki M, Kaitatzidou S, Kaitatzidou A, Roussou V. Loosening of the fixing screw in single implant crowns: predisposing factors, prevention and treatment options. J Esthet Restor Dent 2017;29:233-46.
7. Guzaitis KL, Knoernschild KL, Viana MA. Effect of repeated screw joint closing and opening cycles on implant prosthetic screw reverse torque and implant and screw thread morphology. J Prosthet Dent 2011;106:159-69.
8. Xia D, Lin H, Yuan S, Bai W, Zheng G. Dynamic fatigue performance of implant-abutment assemblies with different tightening torque values. Biomed Mater Eng 2014;24:2143-9
9. Dincer Kose O, Karataslı B, Demircan S, Kose TE, Cene E, Aya SA, Erdem MA, Cankaya AB. In Vitro

- Evaluation of Manual Torque Values Applied to Implant-Abutment Complex by Different Clinicians and Abutment Screw Loosening. *Biomed Res Int* 2017;2017:7376261.
10. Yao KT, Kao HC, Cheng CK, Fang HW, Yip SW, Hsu ML. The effect of clockwise and counterclockwise twisting moments on abutment screw loosening. *Clin Oral Implants Res* 2012;23:1181-6.
 11. Abou-Obaid AI, Al-Otaibi HN, Akeel RF. Effect of Single Off-Axis Implant Placement on Abutment Screw Stability under Lateral Loading. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2016;31:520-6.
 12. Gupta S, Gupta H, Tandan A. Technical complications of implant-causes and management: A comprehensive review. *Natl J Maxillofac Surg* 2015;6:3-8.
 13. Gracis S, Michalakis K, Vigolo P, Vult von Steyern P, Zwahlen M, Sailer I. Internal vs. external connections for abutments/reconstructions: a systematic review. *Clin Oral Implants Res* 2012;23:202-16.
 14. Neumann EAF, Villar CC, França FMG. Fracture resistance of abutment screws made of titanium, polyetheretherketone, and carbon fiber-reinforced polyetheretherketone. *Braz Oral Res* 2014; 28:1-5.
 15. Sailer I, Mühlemann S, Zwahlen M, Hämmerle CH, Schneider D. Cemented and screw retained implant reconstructions: a systematic review of the survival and complication rates. *Clin Oral Implants Res* 2012; 23:163-201
 16. Wittneben JG, Millen C, Brägger U. Clinical performance of screw versus cement-retained fixed implant-supported reconstructions-a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014;29:84- 98.

17. Wittneben JG, Millen C, Brägger U. Clinical performance of screw versus cement-retained fixed implant-supported reconstructions-a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014;29:84– 98.
18. Rinke S, Lattke A, Eickholz P, Kramer K, Ziebolz D. Practice-based clinical evaluation of zirconia abutments for anterior single-tooth restorations. *Quintessence Int* 2015;46:19–29.
19. Tekin S, Değer Y, Demirci F. Evaluation of the use of PEEK material in implant-supported fixed restorations by finite element analysis. *Niger J Clin Pract* 2019;22:1252-8.
20. Shafie HR, Martyna S. *Clinical and Laboratory Manual of Dental Implant Abutments*. 1st ed. Hoboken NJ; Wiley-Blackwell: 2014.p. 23-32.
21. Assunção WG, Delben JA, Tabata LF, Barão VA, Gomes EA, Garcia IR Jr. Preload evaluation of different screws in external hexagon joint. *Implant Dent* 2012;21:46-50.
22. Chen X, Ma R, Min J, Li Z, Yu P, Yu H. Effect of PEEK and PTFE coatings in fatigue performance of dental implant retaining screw joint: An in vitro study. *J Mech Behav Biomed Mater* 2020;103:103530
23. Kourtis S, Damanaki M, Kaitatzidou S, Kaitatzidou A, Roussou V. Loosening of the fixing screw in single implant crowns: predisposing factors, prevention and treatment options. *J Esthet Restor Dent* 2017;29:233-46
24. Junqueira MC, Silva TE, Ribeiro RF, Faria AC, Macedo AP, de Almeida RP. Abutment rotational freedom evaluation of external hexagon single- implant restorations after mechanical cycling. *Clin Implant Dent Res* 2013; 15:927–33.

25. Pjetursson BE, Brägger U, Lang NP, Zwahlen M. Comparison of survival and complication rates of tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs) and implant-supported FDPs and single crowns (SCs). *Clin Oral Implants Res* 2007; 18:97–113
26. Erdoğan H. G., & Yiğit, E. (2021). İmplant destekli protezlerde vida gevşemesi. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 31(1), 138-146.
27. Koyano K, Esaki D. Occlusion on oral implants: current clinical guidelines. *J Oral Rehabil* 2015;42:153–11
28. Bakaeen LG, Winkler S, Neff PA. The effect of implant diameter, restoration design, and occlusal table variations on screw loosening of posterior single-tooth implants restorations. *J Oral Implantol* 2001; 27:63–72.
29. Krishnan V, Tony Thomas C, Sabu I. Management of abutment screw loosening: review of literature and report of a case. *J Indian Prosthodont Soc* 2014; 14:208-14.
30. Gothberg C, Bergendal T, Magnusson T. Complications after treatment with implant-supported fixed prostheses: a retrospective study. *Int J Prosthodont* 2003;16:201–17.
31. Manfredini D, Poggio CE, Lobbezoo F. Is bruxism a risk factor for dental implants? A systematic review of the literature. *Clin Implant Dent Relat Res* 2014;16:460-9
32. Mumcu E, Bilhan H, Cekici A. Marginal bone loss around implants supporting fixed restorations. *J Oral Implantol* 2011;37:549-58.
33. Abichandani S, Ramesh Nadiger R, Abhishek S Kavlekar A. Abutment selection, designing, and its influence on the emergence profile: a comprehensive review. *Eur J Prosthodont* 2013; 1:1–10.

34. Goodacre CJ, Bernal G, Rungcharassaeng K, Kan JY. Clinical complications with implants and implant prostheses. *J Prosthet Dent* 2003;90:121–32.
35. Reyhanian A, Parker S, Moshonov J, Fuhrman N. The use of Er: YAG in laser-assisted broken abutment screw treatment. Case report. *Er: YAG. Lasers*. 2010;3:6-11.
36. Pow EH, Leung KC. Prosthodontic complications in dental implant therapy. *Hong Kong Dent J*. 2008;5:79-83.
37. Balshi TJ. An analysis and management of fractured implants: a clinical report. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1996;11:660-666
38. Tagger Green N, Machtei EE, Horwitz J, Peled M. Fracture of dental implants: literature review and report of a case. *Implant Dent* 2002;11:137-143.
39. Piattelli A, Piattelli M, Scarano A, Montesani L. Light and scanning electron microscopic report of four fractured implants. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 1998;13:561- 564
40. Binon PP. Implants and components: entering the new millennium. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2000;15:76-94.
41. Sato Y, Shindoi N, Hosokawa R, Tsuga K, Akagawa Y. A biomechanical effect of wide implant placement and offset placement of three implants in the posterior partially edentulous region. *J Oral Rehabil* 2000;27:15-21.
42. Balcı, B. (2015). Farklı estetik abutmentlerin döngüsel yorulma yüklemesi sonrasında kırılma dayanımlarının değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bezmialem Vakıf Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-63.

43. Al-Zordk, W., Elmisery, A., and Ghazy, M. (2020). Hybrid-abutment-restoration: effect of material type on torque maintenance and fracture resistance after thermal aging. *International Journal of Implant Dentistry*, 24(6), 1-7.
44. AYALP, Deniz Gürsoy. İmplantlı Destekli Kronlarda Kron Tutuculuğunu Artırmak İçin Yapılan Yüzey İşlemlerinin Etkilerinin Karşılaştırılması. 2015. PhD Thesis. Ankara Üniversitesi (Turkey).
45. Sahin S, Cehreli MC, Yalçın E. The influence of functional forces on the biomechanics of implant-supported prostheses--a review. *J Dent*. 2002;30(7-8):271-282.
46. GÖÇÖĞLU, Esra; TURKASLAN, Suha. İki Farklı İmplant-Dayanak Bağlantısına Sahip İmplantüstü Protezlerin Başarısının Değerlendirilmesi: Retrospektif Çalışma. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 2022, 13.1: 131-139

YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ DİŞ HEKİMLİĞİ: MEVCUT UYGULAMALAR VE GELECEĞE DAİR BÖLÜM 2 ÖNGÖRÜLER

**MUSTAFA AYATA¹
RAVZA ERASLAN²**

1. Giriş

Yapay Zekâ (YZ), farklı sektörlerde olduğu gibi diş hekimliğinde de dönüşümün öncüsü haline gelmiştir (Ding ve ark., 2023). YZ teknolojisindeki gelişmeler ve bunun rutin görevlere entegrasyonu, sağlık hizmetleri ve eğitim alanlarında hızlı bir evrimi beraberinde getirmektedir (Karan Romero ve ark., 2023). YZ, insan zekâsını taklit edebilen bilgisayar sistemlerinin geliştirilmesini ifade eder; bu, dili anlama, desenleri tanıma, keşfetme, çıkarımda bulunma ve akıl yürütme gibi yetenekleri içerir (McCarthy ve ark., 2006). Makine öğrenimi (MÖ), YZ'nin bir alt dalı olup, “eğitim verisi” kullanarak algoritmalar ve modeller geliştirir ve açıkça programlanmaksızın karmaşık desenleri tanımlayarak sonuçları öngörür (Feher ve ark., 2024). MÖ, üç kategoriye ayrılabilir: denetimli öğrenme, denetimsiz öğrenme ve pekiştirmeli öğrenme (Dike ve ark., 2018).

Denetimli öğrenme, etiketlenmiş verilerden öğrenerek bilgiyi sınıflandırmak veya tahminlerde bulunmak için kullanılan makine öğrenimi modellerini ifade eder; örneğin, klinik karar verme süreçlerinde kullanılan karar ağacı algoritması gibi. Buna karşılık, denetimsiz öğrenme, etiketlenmemiş veriler üzerinde herhangi bir özel talimat olmadan modellerin eğitildiği bir yaklaşımdır. Bu

¹ Uzm. Dt., Ortoperio Ağız ve Diş Sağlığı Polikliniği, Kayseri Türkiye, dt.mustafaayata@gmail.com Orcid: 0000-0001-6102-9729

² Doç. Dr., Erciyes Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Kayseri Türkiye, ravzaeraslan@erciyes.edu.tr Orcid: 0000-0002-0863-7052

modeller, belirsiz verilerdeki temel desenleri veya yapıları tanıyabilir ve insan benzeri işlemeyi mümkün kılar; bu, renkli diş hekimliğinde kullanılan bulanık mantık tekniğini de içerir (Chen ve ark., 2020). Bu arada, pekiştirmeli öğrenme deneme-yanılma yöntemlerine benzer; modelleri, en iyi sonuçları elde etmeyi amaçlayan kararlar almaya yönelik olarak eğitir.

Derin öğrenme (DÖ), insan beyninin çalışma biçimini simüle etmek üzere tasarlanmış sinir ağlarını içeren makine öğreniminin (MÖ) bir alt kümesidir ve veriyi işlemek ve analiz etmek için birden fazla katman kullanır (LeCun, Bengio & Hinton, 2015). YZ ayrıca, ayırt edici ve jeneratif yetenekleri birleştiren temel modelleri içerir; bunlar arasında büyük dil modelleri (BDM' ler), görüntü tanıma ve üretimi için görsel modeller ve metin ile görüntüleri birleştiren multimodal modeller yer alır (Jebara & Meila, 2006).

Yapay zekâ (YZ) teknolojilerinin diş hekimliğine entegrasyonu, eğitim, tanı ve tedavi planlaması ile hasta bakımını geliştirmek için eşi benzeri görülmemiş fırsatlar sunmaktadır. Ağız hastalıklarının erken belirtilerini tespit edebilen YZ destekli görüntüleme sistemlerinden, kişiselleştirilmiş tedavi planlarını destekleyen öngörücü analizlere kadar uzanan bu gelişen teknolojiler, diş hekimliğinin geleceğini yeniden şekillendirmekte ve sağlık hizmetlerinin sunumunu iyileştirmektedir (He ve ark., 2019). Verimlilik, doğruluk ve hasta odaklı bakım taleplerinin artmasıyla birlikte, YZ'nin diş hekimliği alanında kilit bir rol oynaması beklenmektedir. YZ, geleneksel yöntemlerin ötesine geçen çözümler sunarak bu alanda önemli katkılar sağlamaktadır (Holzinger ve ark., 2019).

Bu kitap bölümü, yapay zekâ'nın (YZ) diş hekimliğindeki çeşitli ve pratik uygulamalarını incelemiştir; özellikle diş hekimliği eğitimi, hasta bakımı ve klinik uygulamalar üzerindeki etkisine odaklanmıştır. Aynı zamanda, mevcut zorluklar, etik değerlendirmeler ve YZ teknolojilerinin diş hekimliğindeki gelecekteki potansiyeli de analiz edilmiştir. Bu alanda YZ'nin

gelişen rolünü anlayarak, diş hekimliği profesyonelleri bu teknolojinin entegrasyonuna daha iyi hazırlanabilir ve hasta bakımını iyileştirmek, klinik iş akışlarını optimize etmek için YZ'nin tüm potansiyelinden faydalanabilir. Elektronik veri tabanı taramaları, şu anahtar kelimeler kullanılarak gerçekleştirilmiştir: yapay zekâ, teknolojiler, sağlık hizmetleri, eğitim, diş hekimliği, restoratif, protez, periodontoloji, endodonti, ağız cerrahisi, ağız patolojisi, ağız hastalıkları, implant diş hekimliği, diş hekimliği eğitimi, diş hastası bakımı ve bu anahtar kelimelerin kombinasyonları.

2. Eğitim

Yapay zekânın (YZ) diş hekimliği eğitimine entegrasyonu, hızla gelişen bir alan olup, hem öğretim hem de öğrenim deneyimlerini geliştirme vaadi taşımaktadır. Mevcut literatür ve araştırmalar, YZ'nin eğitim ortamlarında önemli katkılar sağladığı birkaç temel alanı ön plana çıkarmaktadır: uyarlanabilir öğrenme sistemleri, diş hekimliği eğitimi için simülasyon ve sanal gerçeklik uygulamaları ile idari verimlilik.

2.1. Uyarlanabilir Öğrenme Sistemleri

YZ destekli uyarlanabilir öğrenme sistemleri, her öğrencinin benzersiz ihtiyaçlarına göre özelleştirilmiş öğrenme deneyimleri sunarak diş hekimliği eğitiminde devrim yaratmaktadır. Karmaşık prosedürlerin ve teorik bilginin ustalıkla öğrenilmesinin hayati önem taşıdığı diş hekimliği eğitiminde, uyarlanabilir öğrenmede YZ kullanımı, her öğrencinin konuyu daha derinlemesine kavramasını sağlamaktadır.

Bir çalışmada, öğrencilere radyografileri doğru bir şekilde teşhis etmeyi öğretmek amacıyla YZ yazılımının kullanımı incelenmiştir (Schropp ve ark., 2024). Bitewing radyografilerin YZ tarafından yorumlanması yüksek doğruluk göstermiştir ve bu sayede programı kullanan öğrencilerin daha hassas teşhisler koymaları mümkün olmuştur (Schropp ve ark., 2024). YZ tabanlı BDM'ler – ChatGPT-4, ChatGPT-3.5 ve Google Gemini – Amerikan Periodontoloji

Akademisi tarafından hazırlanan sınav sorularında test edilmiştir (Sabri ve ark., 2025). Bu modeller arasında, ChatGPT-4'ün doğruluk ve yetkinlik açısından sınav sorularını yanıtlama konusunda daha güçlü bir kapasiteye sahip olduğu gösterilmiştir (Sabri ve ark., 2025). Çalışma sonuçları, bu teknolojilerin öğrencilere yönelik bir eğitim aracı olarak kullanılma potansiyelini ortaya koymuştur (Sabri ve ark., 2025). Benzer bir başka çalışmada ise ChatGPT'nin periodontoloji alanındaki hizmet içi sınavda etkili kullanımı değerlendirilmiş ve ChatGPT'nin yüksek doğruluk ve güvenilirlik gösterdiği belirlenmiştir (Danesh ve ark., 2024). Bu YZ sistemleri kullanıldığında, öğrencilerin öğrenme süreci hızlanmakta, klinik uygulamalara daha etkili bir şekilde hazırlanmaları sağlanmakta ve gerçek dünya senaryolarında bilgilerini uygulamaya daha iyi hazırlanmış olmaktadır. Ancak, yakın zamanda yapılan bir çalışmada, diş hekimliği öğrencileri, uzmanlaşmamış YZ araçlarının eğitimde kullanımına ilişkin endişelerini dile getirmiş ve üretici YZ ile geleneksel öğrenme kaynakları arasında tutarsızlıklar tespit ettiklerini belirtmişlerdir (Huang, Chen & Chutinan, 2025). YZ gelişmeye devam ettikçe, diş hekimliği fakültelerinde daha verimli, etkili ve kişiselleştirilmiş bir eğitim deneyimi oluşturma konusundaki rolü muhtemelen genişleyecek ve geleceğin diş hekimlerinin nasıl yetiştirileceği konusunda yeni bir standart belirleyecektir.

2.2. Diş Hekimliği Eğitimi İçin Simülasyon ve Sanal Gerçeklik

YZ ile geliştirilen simülasyon ve sanal gerçeklik (SG) teknolojileri, modern diş hekimliği eğitiminde hızla vazgeçilmez araçlar hâline gelmektedir. YZ ve SG/AG (artırılmış gerçeklik) teknolojileri, yalnızca YZ, yalnızca SG/AG ya da hibrit YZ-SG/AG teknolojileri olarak sınıflandırılabilir. YZ sistemleri; öğrencilerin öğrenme stiline uyum sağlayan platformları içerir ve makine öğrenimi (MÖ) algoritmalarını kullanarak diş hekimliği verilerini analiz eder, öğrencilere anında geri bildirim sunar. SG/AG sistemleri; öğrencilere, gerçek dental aletlerin hissini taklit eden

dokunsal (haptik) geri bildirimle birlikte, son derece gerçekçi bir sanal ortamda dental işlemleri uygulama imkânı sunar. Hibrit YZ ve SG/AG sistemleri ise preklinik diş hekimliği eğitimi için YZ ile sanal gerçekliği birleştirir. Bu sistemler, örneğin kavite (çürük temizleme) hazırlıkları gibi dental işlemlerde gerçek zamanlı geri bildirim ve değerlendirmeler sağlayarak öğrencilerin becerilerini geliştirmelerine yardımcı olur.

YZ destekli simülasyonlar, öğrencilerin restoratif diş hekimliği, periodontoloji ve radyografik tanı analizleri gibi alanlarda uygulamalı pratik yapabilecekleri son derece ayrıntılı ve doğru sanal ortamlar oluşturur. Bu, canlı hastalar üzerinde klinik uygulama yapmanın doğasında bulunan risklerden kaçınma imkânı sunar (Kanwal ve ark., 2024). Bu risksiz ortam, öğrencilerin hata yaparak öğrenmelerine olanak tanır; böylece hem yetkinlik hem de özgüven kazanmaları açısından büyük önem taşır.

YZ destekli simülasyonların en önemli avantajlarından biri, YZ sohbet botu aracılığıyla sanal bir hastanın yeniden oluşturulması sayesinde çok çeşitli klinik senaryoların canlandırılabilmesidir (Suárez ve ark., 2022). Bu sanal hasta, diş hekimliği öğrencileriyle test edilmiş ve öğrencilerle yapılan etkileşimlerin, doğru tanıya ulaşma konusunda pratik yapma imkânı sunduğu belirtilerek yüksek memnuniyet puanları almıştır (Suárez ve ark., 2022).

YZ'nin başka bir kullanım örneği, çıkarılabilir bölümlü protezler üzerine oyun tabanlı öğrenme sunan AiDental yazılımıdır. Bu yazılım, otomatik geri bildirim özelliği sayesinde öğrencilerin öğrenme sürecine yönelik algılarında ve yazılım kullanımından sağladıkları faydalarda büyük potansiyele sahip olduğunu göstermiştir (Mahrous ve ark., 2023). Bu tür pratik senaryolar sayesinde öğrenciler, gerçek diş hekimliği uygulamalarında karşılaşabilecekleri çeşitli zorluklara hazırlıklı hâle gelmekte; bu da onların çok yönlü düşünme ve problem çözme becerilerini geliştirmelerine yardımcı olmaktadır.

YZ, bu simülasyonların eğitim değerini artırmada da çok önemli bir rol oynar. Öğrenciler farklı senaryolarla ilerledikçe, YZ algoritmaları performanslarını analiz ederek anında, ayrıntılı geri bildirim ve değerlendirmeler sunar (Fang ve ark., 2024). Bu anlık geri bildirim, öğrencilerin hatalarını o anda fark edip düzeltmelerine olanak tanır; doğru tekniklerin pekişmesini sağlar ve genel beceri seviyelerini artırır (Fang ve ark., 2024). Zamanla bu sürekli geri bildirim döngüsü, öğrencilerin yetkinliklerini geliştirerek daha hızlı ve etkili bir öğrenme süreci sağlar. Bu teknolojiler, teorik bilgi ile klinik uygulama arasındaki boşluğu kapatır. Gerçek zamanlı geri bildirim, performans takibi ve fiziksel kaynaklara olan bağımlılığı ortadan kaldırma imkânı sunarak, dış hekimliği eğitiminde daha etkili ve esnek bir öğrenme ortamı yaratır. Kullanılabilir sistemlerin çeşitliliği her geçen gün artmakta ve gelişmektedir.

2.3. İdari Verimlilik

YZ'nin dış hekimliği eğitimine entegrasyonu, yalnızca öğrenme ve öğretme deneyimini dönüştürmekle kalmayıp, aynı zamanda eğitim kurumlarında idari verimliliği de önemli ölçüde artırmaktadır. Geniş yelpazede rutin görevleri otomatikleştiren YZ destekli sistemler, operasyonların optimize edilmesine, manuel iş yükünün azaltılmasına ve eğitmenlerin asıl görevleri olan öğretim ve öğrenci mentörlüğüne daha fazla zaman ve enerji ayırabilmelerine olanak sağlamaktadır. YZ'nin idari verimliliği artırdığı en etkili yollardan biri, insanların manuel olarak gerçekleştirmesi oldukça zaman alacak büyük miktarda veriyi işleyebilme yeteneğidir (İslam ve ark., 2022). Akademik yayınlarda intihalin tespit edilmesi, öğretim üyeleri, öğrenciler, personel ve hastalar arasındaki iletişim, hatta personel alımı gibi süreçler YZ uygulamalarıyla yönetilebilmektedir (İslam ve ark., 2022). Sınıf programlarının, klinik rotasyonların ve öğretim üyesi görev dağılımlarının yönetimi, karmaşık ve zaman alıcı bir süreç olabilir. Günümüzde kullanılan YZ destekli programlama sistemleri; ders gereklilikleri, öğrenci uygunlukları ve kaynak tahsisi gibi çeşitli faktörleri analiz ederek, çakışmaları en aza indiren ve zaman ile kaynakların etkin kullanımını maksimize eden ideal programlar oluşturabilmektedir (Thorat ve ark., 2024). Ayrıca,

geleneksel olarak notlandırma süreci, eğitmenler için oldukça fazla zaman ve çaba gerektiren zahmetli bir iştir. Günümüzde kullanılan YZ destekli notlandırma sistemleri, yazılı makaleler gibi ğrenci çalışmalarını değerlendirme sürecini, kullanılan modellerin hassas bir şekilde ayarlanmasıyla doğru ve tutarlı bir şekilde otomatikleştirebilir (Quah ve ark., 2024). Ancak bu sistemlerin etkinliği ve doğruluğu henüz detaylı bir şekilde değerlendirilmemiştir.

3. Hasta Bakımı

YZ, hasta odaklı dış bakımını dönüştüren güçlü bir araç haline gelmiştir. YZ'deki son gelişmeler; teşhis, hastalık tahmini, prognoz sınıflandırması, klinik karar verme süreçleri ve çeşitli uzmanlık alanlarında tedavi uygulamalarını geliştirmiştir (Ding ve ark., 2023, Karan Romero ve ark, 2023). Gelişmiş teşhis olanakları, kapsamlı analizler ve erken müdahaleyi mümkün kılarak daha iyi hasta sonuçları elde edilmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca, gerçek zamanlı karar destek sistemleri, dış hekimlerinin bilinçli kararlar almasını ve tedavi başarısını öngörmesini sağlayarak hem hassasiyeti artırmakta hem de hasta merkezli bir yaklaşımı teşvik etmektedir (Lee ve ark., 2022). Güncel YZ uygulamaları, farklı dış hekimliği branşlarında oldukça yaygın hale gelmiştir.

4. Restoratif ve protetik dış hekimliği

Gelişmiş derin ğrenme (DL) modelleri, dışlar ve lezyonların otomatik olarak etkili şekilde segmentasyonunu sağlayarak ham verileri, tanı ve tedavi planlaması için değerli bilgilere dönüştürmektedir (Duan ve ark., 2021). İntaoral görüntüler, radyografiler ve yakın kızılötesi ışık geçirgenliği görüntüleri gibi kaynaklardan elde edilen verileri analiz eden DL modelleri kullanılarak yapılan çeşitli çalışmalarda, dış çürüğü tanısı için doğruluk oranlarının %74,5 ile %98,7 arasında değiştiği gösterilmiştir (Revilla-Len ve ark., 2022). Yapay zekâ aynı zamanda günlük klinik karar alma süreçlerinde de yardımcı olmakta; sadece bireysel dış prognozunu değil, aynı zamanda dış yüzey kaybını ve kuronların çıkma oranlarını da tahmin edebilmektedir (Lee ve ark., 2022). Ek olarak, kavitede kalan bakterileri tahmin

edebilen ve bireysel hastalar için en uygun ekskavasyon yöntemini öneren mobil bir yapay zekâ uygulaması da tanıtılmıştır (Javed ve ark., 2020).

Yapay zekâ teknolojileri restorasyon tasarımı ve estetik analiz alanlarında da yaygın olarak kullanılmaktadır (Lee ve ark., 2024). Günümüzde özellikle kuron ve oklüzal splint tasarımı için çeşitli yapay zekâ destekli ticari diş tasarım yazılımları mevcuttur. Evrişimsel sinir ağları ve üretken karşıt ağlar gibi algoritmalar, dayanak diş sınırlarını tespit etmede %90,6 ile %97,4 arasında değişen doğruluk oranlarıyla etkili olduklarını kanıtlamıştır (Cho ve ark., 2024). Yapay zekâ sistemleri, doğal morfolojiyi taklit eden ve komşu/karşıt dişlerle olan ilişkileri dikkate alan restoratif tasarımlar oluşturabilir (Cho ve ark., 2024).

Geleneksel renk eşleştirme yöntemleri doğası gereği öznel olup, genellikle tutarsızlıklara ve uyumsuzluklara neden olmaktadır. Ancak özellikle bulanık mantık temelli yapay zekâ algoritmaları, dişlerin dijital görüntülerini analiz ederek en uygun renk eşleşmesini önermekte kullanılır. Bu sayede, insan kaynaklı öznel hatalar en aza indirilebilir ve farklı üreticilere ait materyal değişkenlikleri de renk uyumu sürecine dâhil edilebilir (Awdaljan ve ark., 2024). Ayrıca, yüz hatlarını ölçme ve otomatik gülüş tasarımı gibi tekniklerin klinisyenleri desteklemek adına yakın zamanda geliştirildiği de gösterilmiştir (Buduru ve ark., 2024).

5. Periodontoloji

Görüntü tabanlı teşhis, periodontolojide YZ uygulamaları için giderek artan bir ilgi alanı haline gelmiştir. Scott ve arkadaşları, panoramik ve periapikal röntgenlerin, ağız içi fotoğrafların ve ultrason görüntülemenin periodontoloji alanındaki YZ uygulamalarında kullanılan veri kaynaklarının %70'ini oluşturduğunu bildirmiştir (Scott ve ark., 2023). YZ modellerinin teşhis performansı değişkenlik göstermiştir; örneğin, Lin ve ark. periapikal radyografileri kullanarak periodontal hastalığı tespit etmek için tasarlanan YZ modellerinin %92,5'lik bir hassasiyet elde

ettiğini bulurken, Lee ve ark. periodontal olarak tehlikeye atılmış dişler için yaklaşık %80'lik bir teşhis doğruluğu göstermiştir (Lee ve ark., 2018). Genel olarak, cep derinliği, periodontal kemik kaybı ve periapikal patoz gibi parametreler için %70 ila %90 arasında değişen tanısal doğruluk bildirilmiştir. Çoğu çalışma, muhtemelen segmentasyona kıyasla tanısal tespit araçları geliştirmenin artan karmaşıklığı nedeniyle patolojik teşhisten ziyade görüntü segmentasyonuna odaklanmıştır. Bununla birlikte, görüntülerden daha kapsamlı patoloji tanımlama yeteneğine sahip gelecekteki araçlar, klinik uygulamada yardımcı kaynaklar olarak değerli olabilir.

Görüntü tabanlı uygulamalara ek olarak, klinik muayene ve immünolojik veri kümeleri de klinik ortamda kullanılmıştır. Papantonopoulos ve arkadaşları, yapay sinir ağı kullanarak hastalarda agresif periodontitis (AP) ve kronik periodontitis (KP) arasında ayırım yapmak için periferik kandaki lökosit sayıları gibi nispeten basit immünolojik parametreleri araştırmış ve %90-%98 doğruluk elde etmiştir (Papantonopoulos ve ark., 2014). Benzer şekilde, Feres ve arkadaşları, AP ve KP arasında ayırım yapmak için subgingival mikrobiyal profilleri kullanarak bir destek vektör makinesi (DVM) sınıflandırıcısı kullanmış ve %83'lük bir doğruluk elde etmiştir. Bu yaklaşımlar, klinisyenlerin bireysel hastalar için daha kişiselleştirilmiş tedavi protokolleri geliştirmelerini sağlar.

6. Ortodonti

YZ, ortodonti alanında büyük bir başarıyla kendini kanıtlamıştır. Bir dizi şirket, diş hareketlerini yüksek doğrulukla değerlendirebilen, planlayabilen ve dijital olarak tahmin edebilen yazılımlar geliştirerek yapay zekâ'nın gücünden faydalanmıştır (Im ve ark., 2022). Thanthornwong ve arkadaşları, ortodontik müdahalenin gerekliliğini tahmin etmek için 1000 katılımcılı bir çalışma yürütmüştür (Thanathornwong ve ark., 2018). Ortodontik tedaviden önce gerçekleştirilen çekimler nedeniyle beklenmeyen tedavi sonuçlarını tahmin etmek amacıyla, daha az deneyimli

ortodontistlere potansiyel tedavi planlaması için girdi parametrelerine dayalı sonuçları simüle etme avantajı sağlayan çekim modelleri geliştirilmiştir (Prasad ve ark., 2022). Deneyimli klinisyenlere karşı değerlendirildiğinde, yapay zekâ modelleri klinisyenler tarafından belirlenen tedavi sonuçlarını %90,4 doğrulukla doğru bir şekilde tahmin edebilmiş ve ortodontistin hasta için istatistiksel olarak daha iyi hareket tarzını belirlemek için değişken tedavi seçenekleri üzerinde simülasyonlar yürütmesine olanak sağlamıştır (Leavitt ve ark., 2023). Farklı araştırmacılar, yazılımın yüz ve diş orta hatlarını, tutarsızlıklarını ayırt etmeye yardımcı olabildiği ve uzmanlık alanındaki teşhis ve tedavi planlaması için temel olan genel ölçümler ve bileşenlere yardımcı olduğu otomatik yüz ve diş analizi üzerine çalışmalar yapmıştır (Rousseau ve ark., 2022, Yurdakurban ve ark., 2021). İskelet olgunlaşmasının belirlenmesi ve dönüm noktası tespiti için sefalometrik değerlendirmeler de daha önce ortognatik tedavi uygulanmış hastalara dahi yüksek doğrulukla başarılı bir şekilde test edilmiş ve geliştirilmiştir.

7. Endodonti

Endodonti alanında YZ, teşhis ve periapikal lezyonların, kalsifikasyonların, kök kırıklarının ve kanal sistemlerinin doğru temsillerini sağlayarak tedavi başarısını artırmada kendini göstermiştir. Genel olarak YZ, klinisyenlerin tedavinin karmaşıklığını hızlı bir şekilde anlamalarına ve bir uzmana uygun bir sevk yapmak için gerekli bilgileri verimli bir şekilde sağlamalarına olanak tanıyan bireysel vakaların zorluk seviyelerini belirleme yeteneğini göstermiştir (Mallishery ve ark., 2020). Tedaviyi gerçekleştiren klinisyenin elinde, periapikal lezyonları tanımlamak için tasarlanan özel modeller %95' lik bir hassasiyet göstererek, bu durumları çok az yanlış pozitifle doğru bir şekilde teşhis etme yeteneğini vurgulamıştır (Ghaffari ve ark., 2024). Çalışmalar, minimum miktarda eğitim verisiyle bile YZ'nin panoramik radyografilerdeki periapikal lezyonları tatmin edici bir

şekilde tespit ettiğini ve konik ışınli bilgisayarlı tomografi (KIBT) görüntüleme kullanıldığında mükemmel doğruluk (%93) gösterdiğini bulmuştur (Orhan ve ark., 2020). Bir çalışma, AI'nın sadece periapikal lezyonları doğru bir şekilde teşhis etmekle kalmayıp, aynı zamanda manuel segmentasyona neredeyse eşdeğer bir yetenekle hacimsel ölçümlerini de tespit edebildiğini göstermiştir (Orhan ve ark., 2020). Fukuda ve arkadaşlarının grubu, YZ' nin sadece panoramik görüntülerden dikey kök kırıklarının %93 hassasiyet ve % 83 F-ölçümü ile tespit edebildiğini göstermiştir (Fukuda ve ark., 2020). YZ modelleri, bitewing radyografilerde pulpal kalsifikasyonları tespit etmek için de kullanılmış ve %85' lik bir hassasiyet elde edilmiştir (Ghaffari ve ark., 2024). Kanal anatomisi ve bireysel kanal sistemleri arasındaki morfolojik farklılıklar da YZ kullanılarak %86,9' luk bir doğrulukla tanımlanmış ve tüm endodontik vakaların %27,4' ünde mevcut olduğu gösterilen aksesuar kanalların tanımlanmasında klinisyenlere daha fazla bilgi sağlamıştır (Hiraiwa ve ark., 2019). Yapay zekâ nın, operatörün kanal eğriliğini haritalamasına olanak tanıdığı ve klinik olarak anlaşılması zaman alacak tedavilere ipuçları sağladığı bile gösterilmiştir (Christodoulou ve ark., 2018).

8. Oral cerrahi, oral patoloji, oral tıp

Çok miktarda hasta verisi ve kesin teşhis ihtiyacı, YZ' yi ağız ve çene cerrahisi alanında oldukça değerli kılmaktadır. MÖ ve DÖ modelleri, skuamöz hücreli karsinom, ameloblastom, odontojenik keratokistler, dentigeröz kistler ve periapikal kistler gibi oral kanserleri ve kistleri teşhis etmek için etkili bir şekilde kullanılmıştır (Lee ve ark., 2020). Girdi veri setleri arasında radyografiler, BT taramaları ve tükürüğün Fourier-transform infrared (FTIR) spektrumları, histopatolojik slaytlar ve fırça sitolojisi örnekleri gibi laboratuvar verileri yer almaktadır (McRae ve ark., 2022). Örneğin, Nayak ve arkadaşları lazer kaynaklı otofloresans spektrumlarına dayalı olarak normal, premalign ve malign dokuları ayırt etmek için yapay sinir ağı kullanmışlardır (Nayak ve ark., 2006). Ayrıca,

servikal lenf nodu metastazlarını tespit etmek için BT tabanlı DÖ modelleri radyologlardan daha iyi performans göstermiştir. Önceden eğitilmiş evrişimsel sinir ağlarıyla analiz edilen parotis bezinin ultrasonografi görüntüleri, Sjogren sendromunun teşhisinde %89,5 doğruluk elde etmiştir (Kise ve ark., 2020). Bununla birlikte, oral patolojik hastalıkları tespit etmeye yönelik YZ modelleri %73 ila %95 arasında değişen doğruluk oranları göstermiştir. Bu heterojenlik, daha kalibre edilmiş modellere ve standartlaştırılmış test protokollerine ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir (Patil ve ark., 2022).

Yapay zekâ, teşhisin ötesinde prognoz tahminine ve tedavi yardımına da yardımcı olmaktadır. Ortognatik cerrahide, yüz morfolojisi ve simetrisindeki değişiklikleri tahmin etmek diş hekimi-hasta iletişimini geliştirir (Mohaideen ve ark., 2022). YZ modelleri ayrıca ağız kanserlerinde hastanın hayatta kalabilirliğini, skuamöz hücreli karsinomda nodal metastazı ve kapsamlı klinik ve laboratuvar verilerine dayalı olarak bifosfonatla ilişkili osteonekroz oluşumunu tahmin edebilir (Bur ve ark., 2019). Ayrıca Fu ve arkadaşları, zorluk çeken konuşmacılarda konuşmanın anlaşılabilirliğini iyileştirmek için negatif olmayan matris faktörizasyonu (NOMF) kullanmıştır (Fu ve ark., 2016). Genel olarak, YZ modelleri ağız cerrahisinde anatomik rehberlik sağlama ve ağız hastalıklarıyla ilgili morbidite ve mortaliteyi azaltma potansiyeline sahiptir (Gerlach ve ark., 2014).

9. İmplant Diş Hekimliği

İmplant tedavileri, eksik dişlerin restorasyonu için en yaygın seçeneklerden biri haline gelmiştir. Bununla birlikte, komplikasyonlar ortaya çıkabilir ve implant markalarını ve türlerini belirlemek klinisyenler için zor olabilir, bu da rekonstrüksiyonu zorlaştırır. Yapay zekâ teknolojilerindeki ilerlemeler sayesinde, dental implant markaları ve türleri artık yüksek doğrulukla tespit edilebiliyor. 2024'te yapılan bir meta-analiz, genel doğruluğun %95 olduğunu bildirmiştir (Dashti ve ark., 2025). Kim ve arkadaşları,

periapikal radyografileri analiz etmek için önceden eğitilmiş evrişimli sinir ağı algoritmaları kullanmış ve Branemark, Dentium ve Straumann implant fikstürlerini tanımlamada %98'e varan doğruluk elde etmiştir (Kim ve ark., 2020). Ayrıca, Sukegawa ve arkadaşları Straumann SLActive BLT implantlarını tespit etmede %99,08'lik bir doğruluk oranı bildirmiştir (Sukegawa ve ark., 2025).

Ayrıca, dental implantların başarısızlığına katkıda bulunan risk faktörlerinin klinisyenler tarafından ölçülmesi ve implant başarı oranlarının tahmin edilmesine dahil edilmesi genellikle zordur. Yapay zekâ modelleri, osseointegrasyon ve implant başarısı için %62,4 ila %80,5 arasında değişen tahmin doğruluğu bildiren çalışmalarla potansiyel sonuçların değerlendirilmesine yardımcı olabilir (Wu ve ark., 2024).

Anatomik yapısal segmentasyon, klinisyenlere implant cerrahisini planlarken optimum implant yerleşimini ve açılanmasını belirlemek gibi değerli bir rehberlik sağlar (Altalhi ve ark., 2023). Sinüs, mental foramen ve mandibular kanal gibi kritik yapılardan cerrahi sırasında kaçınılmalıdır ve çalışmalar KIBT taramalarından başarılı segmentasyon göstermiştir ve otomatik implant planlaması için umut verici bir destek sunmaktadır (Kurt ve ark., 2021). Diş ve anatomi segmentasyon teknolojisindeki ilerlemelerin yanı sıra ağız içi modellerin ve KIBT'nin hizalanması ile Chen ve ark. optimum implant yerleştirme pozisyonlarını tasarlayabilen YZ tabanlı bir implant planlama yazılım programı göstermiştir (Chen ve ark., 2024).

10. Yapay Zekânın Geleceği

Diş hekimliği eğitiminde yapay zekâ'nın (YZ) geleceği umut vericidir. Mevcut sınırlamaların aşılması ve YZ uygulamalarının genişletilmesine yönelik araştırmalar devam etmektedir. Gelecekte, daha gelişmiş YZ destekli tanı araçları, YZ sistemleri ile insan eğitmenler arasında artırılmış iş birliği ve YZ'nin diş hekimleri için sürekli eğitim programlarına entegrasyonu gibi gelişmelerin yaşanması beklenmektedir. YZ, kişiselleştirilmiş öğrenme

deneyimleri sunarak, simülasyon eğitimini geliştirerek, öngörüşel analizleri mümkün kılarak ve idari verimliliği artırarak diş hekimliği eğitimini dönüştürmektedir.

Hasta bakımı açısından YZ, tanı doğruluğunu artırarak, kişiye özel tedavi planlamasını mümkün kılarak ve hasta katılımını iyileştirerek diş hekimliğinde devrim yaratma potansiyeline sahiptir. Diş hekimliğinde kullanılan çeşitli YZ uygulamalarında bildirilen yüksek doğruluk, hassasiyet, duyarlılık ve özgüllük seviyeleri, YZ' nin tanışal doğruluğu artırma, insan hatasını azaltma ve hasta sonuçlarını iyileştirme potansiyelini ortaya koymaktadır.

Ayrıca, YZ' nin klinik uygulama yönetiminin farklı alanlarına entegre edilmesiyle birlikte; hasta kayıtları, elektronik sağlık kaydı yönetimi, mali denetim ve ameliyat sonrası bakım gibi konularda sıkça karşılaşılan insan hataları etkili bir şekilde ele alınabilmektedir. Bu entegrasyon, diş hekimliği profesyonellerinin yüksek düzeyde hasta bakım standartlarını korurken aynı zamanda operasyonel verimliliği artırmalarına olanak tanımaktadır.

11. Sonuç ve Değerlendirme

Her ne kadar bazı zorluklar devam etse de, yapay zekânın diş hekimliği alanındaki potansiyel faydaları oldukça büyüktür; bu faydalar, diş hekimliği eğitiminden hasta bakımına ve klinik uygulama yönetimine kadar birçok alanda kaliteyi artırma vaadi taşımaktadır. YZ araçları gelişmeye devam ettikçe, diş bakım hizmetlerinin yapısını yeniden şekillendirmesi ve daha verimli bir çalışma ortamı oluşturmaları beklenmektedir. Bu dönüşüm, öğrencilerin diş hekimliği eğitim deneyimlerini zenginleştirmelerini, hasta odaklı bakımın iyileştirilmesini ve klinik uygulamaların üstün hizmet sunarak hasta deneyimlerini genel anlamda geliştirmesini mümkün kılacaktır. Ancak, bu teknolojinin hâlâ gelişmekte olduğu unutulmamalıdır. YZ' nin eksikliklerini gidermek amacıyla sürekli araştırma yapılması, dikkatli bir şekilde uygulamaya geçirilmesi ve düzenleyici denetimlerin sağlanması, YZ' ye dayalı öngörüşü modellerin doğruluğunu ve güvenilirliğini teyit etmek açısından

kritik öneme sahiptir. Nihai hedef, yapay zekânın diş hekimliğinde başarılı ve adil bir şekilde kullanılmasını sağlamaktır. Ayrıca, YZ'nin yalnızca bir araç olduğu ve insan yargısının ya da bireysel öğrenci ve hasta ihtiyaçlarının yerini almaması gerektiği hatırlanmalıdır. Dikkatli ve uygun şekilde kullanıldığında, bu teknolojik gelişmeler, modern diş hekimliğinde YZ'nin artan önemini ve diş bakımının öğrenilme, uygulanma ve sunulma biçimini dönüştürme potansiyelini gözler önüne sermektedir.

Kaynaklar

Altalhi AM, Alharbi FS, Alhodaithy MA, Almarshedy BS, Al-Saaib MY, Aljohani AS, Aljohani A. The impact of artificial intelligence on dental implantology: a narrative review. *Cureus* 2023;15(10).

Awdaljan MW, Roque JC, Choi J, Rondón LF. Introducing a novel approach to dental color reproduction using AI technology. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* 2024;36(12):1623-1637.

Buduru S, Cofar F, Mesaroş A, Tăut M, Negucioiu M, Almăşan O. Perceptions in Digital Smile Design: Assessing Laypeople and Dental Professionals' Preferences Using an Artificial-Intelligence-Based Application. *Dentistry Journal* 2024;12(4):104.

Bur AM, Holcomb A, Goodwin S, Woodroof J, Karadaghy O, Shnayder Y, Shew M. Machine learning to predict occult nodal metastasis in early oral squamous cell carcinoma. *Oral oncology* 2019;92:20-25.

Chen SL, Zhou HS, Chen TY, Lee TH, Chen CA, Lin TL, Lin MY. Dental shade matching method based on hue, saturation, value color model with machine learning and fuzzy decision. *Sens Mater* 2020;32(10):3185-3207.

Chen Z, Liu Y, Xie X, Deng F. Influence of bone density on the accuracy of artificial intelligence-guided implant surgery: An in vitro study. *The Journal of prosthetic dentistry* 2024;131(2):254-261.

Cho JH, Çakmak G, Yi Y, Yoon HI, Yilmaz B, Schimmel, M. Tooth morphology, internal fit, occlusion and proximal contacts of dental crowns designed by deep learning-based dental software: a comparative study. *Journal of dentistry* 2024;141:104830.

Christodoulou A, Mikrogeorgis G, Vouzara T, Papachristou K, Angelopoulos C, Nikolaidis N, Lyroudia K. A new methodology for the measurement of the root canal curvature and its 3D modification after instrumentation. *Acta Odontologica Scandinavica* 2018;76(7):488-492.

Danesh A, Pazouki H, Danesh F, Danesh A, Vardar-Sengul S. Artificial intelligence in dental education: ChatGPT's performance on the periodontic in-service examination. *Journal of Periodontology* 2024;95(7):682-687.

Dashti M, Londono J, Ghasemi S, Tabatabaei S, Hashemi S, Baghaei K, Palma PJ, Khurshid Z. Evaluation of accuracy of deep learning and conventional neural network algorithms in detection of dental implant type using intraoral radiographic images: A systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent* 2025;133(1):137-146.

Dike HU, Zhou Y, Deveerasetty KK, Wu Q. Unsupervised learning based on artificial neural network: A review. In 2018 IEEE International Conference on Cyborg and Bionic Systems (CBS) pp. 322-327.

Ding H, Wu J, Zhao W, Matinlinna JP, Burrow MF, Tsoi, JK. Artificial intelligence in dentistry—A review. *Frontiers in Dental Medicine*, 2023;4:1085251.

Duan W, Chen Y, Zhang Q, Lin X, Yang X. Refined tooth and pulp segmentation using U-Net in CBCT image. *Dentomaxillofacial Radiology* 2021;50(6): 20200251.

Fang Q, Reynaldi R, Araminta AS, Kamal I, Saini P, Afshari FS, Sukotjo C. Artificial Intelligence (AI)-driven dental education: Exploring the role of chatbots in a clinical learning environment. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 2024.

Feher B, Tussie C, Giannobile WV. Applied artificial intelligence in dentistry: emerging data modalities and modeling approaches. *Frontiers in Artificial Intelligence* 2024;7:1427517.

Fu SW, Li PC, Lai YH, Yang CC, Hsieh LC, Tsao Y. Joint dictionary learning-based non-negative matrix factorization for voice conversion to improve speech intelligibility after oral surgery. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 2016;64(11):2584-2594.

Fukuda M, Inamoto K, Shibata N, Arijii Y, Yanashita Y, Kutsuna S, Arijii E. Evaluation of an artificial intelligence system for detecting vertical root fracture on panoramic radiography. *Oral radiology* 2020;36:337-343.

Gerlach NL, Meijer GJ, Kroon DJ, Bronkhorst EM, Bergé SJ, Maal TJJ. Evaluation of the potential of automatic segmentation of the mandibular canal using cone-beam computed tomography. *British journal of oral and maxillofacial surgery* 2014;52(9):838-844.

Ghaffari M, Zhu Y, Shrestha A. A review of advancements of artificial intelligence in dentistry. *Dentistry Review* 2024;100081.

He J, Baxter SL, Xu J, Xu J, Zhou X, Zhang K. The practical implementation of artificial intelligence technologies in medicine. *Nature medicine* 2019;25(1):30-36.

Hiraiwa T, Arijii Y, Fukuda M, Kise Y, Nakata K, Katsumata A, Arijii E. A deep-learning artificial intelligence system for assessment of root morphology of the mandibular first molar on panoramic radiography. *Dentomaxillofacial Radiology* 2019;48(3): 20180218.

Holzinger A, Langs G, Denk H, Zatloukal K, Müller H. Causability and explainability of artificial intelligence in medicine. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery* 2019;9(4):e1312.

Huang CC, Chen CY, Chutinan S. Integrating Generative AI in Case-Based Collaborative Learning: Student's Perceptions. *Journal of Dental Education* 2025.

Im J, Kim JY, Yu HS, Lee KJ, Choi SH, Kim JH, Cha JY. Accuracy and efficiency of automatic tooth segmentation in digital dental models using deep learning. *Scientific reports* 2022;12(1):9429.

Islam NM, Laughter L, Sadid-Zadeh R, Smith C, Dolan TA, Crain G, Squarize CH. Adopting artificial intelligence in dental education: a model for academic leadership and innovation. *Journal of dental education* 2022;86(11):1545-1551.

Javed S, Zakirulla M, Baig RU, Asif SM, Meer AB. Development of artificial neural network model for prediction of post-streptococcus mutans in dental caries. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 2020;186:105198.

Jebara T, Meila M. Machine learning: Discriminative and generative. *The Mathematical Intelligencer* 2006;28(1):67-69.

Kanwal L, Gulzar M, Idrees W, Ikram F, Sukhia RH, Fida M. The application of virtual reality and augmented reality in dentistry-a literature review. *The Journal of the Pakistan Medical Association* 2024;74(4):126-131.

Karan Romero M, Salazar-Gamarra RE, Leon-Rios XA. Evaluation of attitudes and perceptions in students about the use of artificial intelligence in dentistry. *Dentistry Journal*, 2023;11(5):125.

Kim JE, Nam NE, Shim JS, Jung YH, Cho BH, Hwang JJ. Transfer learning via deep neural networks for implant fixture system classification using periapical radiographs. *Journal of clinical medicine* 2020;9(4):1117.

Kise Y, Shimizu M, Ikeda H, Fujii T, Kuwada C, Nishiyama M, Arijii E. Usefulness of a deep learning system for diagnosing Sjögren's syndrome using ultrasonography images. *Dentomaxillofacial Radiology* 2020;49(3): 20190348.

Kurt Bayrakdar S, Orhan K, Bayrakdar IS, Bilgir E, Ezhov M, Gusarev M, Shumilov E. A deep learning approach for dental implant planning in cone-beam computed tomography images. *BMC medical imaging* 2021;21(1):86.

Leavitt L, Volovic J, Steinhauer L, Mason T, Eckert G, Dean JA, Turkkahraman H. Can we predict orthodontic extraction patterns by using machine learning ? Orthodontics & Craniofacial Research 2023;26(4):552-559.

LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning. Nature 2015;521(7553):436-444.

Lee JH, Kim DH, Jeong SN, Choi SH. Diagnosis and prediction of periodontally compromised teeth using a deep learning-based convolutional neural network algorithm. Journal of periodontal & implant science 2018;48(2):114.

Lee JH, Kim DH, Jeong SN. Diagnosis of cystic lesions using panoramic and cone beam computed tomographic images based on deep learning neural network. Oral diseases 2020;26(1):152-158.

Lee S, Jin G, Park JH, Jung HI, Kim JE. Evaluation metric of smile classification by peri-oral tissue segmentation for the automation of digital smile design. Journal of Dentistry 2024;145:104871.

Lee SJ, Chung D, Asano A, Sasaki D, Maeno M, Ishida Y, Nagai S. Diagnosis of tooth prognosis using artificial intelligence. Diagnostics 2022;12(6):1422.

Mahrous A, Botsko DL, Elgreatly A, Tsujimoto A, Qian F, Schneider GB. The use of artificial intelligence and game-based learning in removable partial denture design: A comparative study. Journal of dental education 2023;87(8): 1188-1199.

Mallishery S, Chhatpar P, Banga KS, Shah T, Gupta P. The precision of case difficulty and referral decisions: an innovative automated approach. Clinical oral investigations 2020;24:1909-1915.

McCarthy J, Minsky ML, Rochester N, Shannon CE. A proposal for the dartmouth summer research project on artificial intelligence. AI magazine 2006;27(4):12.

McRae MP, Rajsri KS, Alcorn TM, McDevitt JT. Smart diagnostics: combining artificial intelligence and in vitro diagnostics. *Sensors* 2022;22(17):6355.

Mohaideen K, Negi A, Verma DK, Kumar N, Sennimalai K, Negi A. Applications of artificial intelligence and machine learning in orthognathic surgery: A scoping review. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery* 2022;123(6):962-972.

Nayak GS, Kamath S, Pai KM, Sarkar A, Ray S, Kurien J, Mahato KK. Principal component analysis and artificial neural network analysis of oral tissue fluorescence spectra: Classification of normal premalignant and malignant pathological conditions. *Biopolymers: Original Research on Biomolecules* 2006;82(2):152-166.

Orhan K, Bayrakdar IS, Ezhov M, Kravtsov A, Özyürek T. Evaluation of artificial intelligence for detecting periapical pathosis on cone-beam computed tomography scans. *International endodontic journal* 2020;53(5):680-689.

Papantonopoulos G, Takahashi K, Bountis T, Loos BG. Artificial neural networks for the diagnosis of aggressive periodontitis trained by immunologic parameters. *PloS one* 2014;9(3):e89757.

Patil S, Albogami S, Hosmani J, Mujoo S, Kamil MA, Mansour MA, Ahmed SS. Artificial intelligence in the diagnosis of oral diseases: applications and pitfalls. *Diagnostics* 2022;12(5):1029.

Prasad J, Mallikarjunaiah DR, Shetty A, Gandedkar N, Chikkamuniswamy AB, Shivashankar PC. Machine learning predictive model as clinical decision support system in orthodontic treatment planning. *Dentistry Journal* 2022;11(1):1.

Quah B, Zheng L, Sng TJH, Yong CW, Islam I. Reliability of ChatGPT in automated essay scoring for dental undergraduate examinations. *BMC Medical Education* 2024;24(1):962.

Revilla-León M, Gómez-Polo M, Vyas S, Barnak AB, Özcan M, Att W, Krishnamurthy VR. Artificial intelligence applications in restorative dentistry: A systematic review. *The Journal of prosthetic dentistry* 2022;128(5): 867-875.

Rousseau M, Retrouvey JM. Machine learning in orthodontics: Automated facial analysis of vertical dimension for increased precision and efficiency. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 2022;161(3):445-450.

Sabri H, Saleh MH, Hazrati P, Merchant K, Misch J, Kumar PS, Barootchi S. Performance of three artificial intelligence (AI)-based large language models in standardized testing; implications for AI-assisted dental education. *Journal of periodontal research* 2025;60(2);121-133.

Schropp L, Sørensen APS, Devlin H, Matzen LH. Use of artificial intelligence software in dental education: a study on assisted proximal caries assessment in bitewing radiographs. *European Journal of Dental Education* 2024;28(2):490-496.

Scott J, Biancardi AM, Jones O, Andrew D. Artificial intelligence in periodontology: a scoping review. *Dentistry journal* 2023;11(2):43.

Suárez A, Adanero A, Díaz-Flores García V, Freire Y, Algar J. Using a virtual patient via an artificial intelligence chatbot to develop dental students' diagnostic skills. *International journal of environmental research and public health* 2022;19(14):8735.

Sukegawa S, Yoshii K, Hara T, Tanaka F, Taki Y, Inoue Y, Miyake M. Optimizing dental implant identification using deep learning leveraging artificial data. *Scientific Reports*, 2025;15(1):3724.

Thanathornwong B. Bayesian-based decision support system for assessing the needs for orthodontic treatment. *Healthcare informatics research* 2018;24(1):22-28.

Thorat V, Rao P, Joshi N, Talreja P, Shetty AR, RAO P. Role of artificial intelligence (AI) in patient education and communication in dentistry. *Cureus* 2024;16(5).

Wu Z, Yu X, Wang F, Xu C. Application of artificial intelligence in dental implant prognosis: A scoping review. *Journal of Dentistry*, 2024;104924.

Yurdakurban E, Duran GS, Görgülü S. Evaluation of an automated approach for facial midline detection and asymmetry assessment: A preliminary study. Orthodontics & Craniofacial Research 2021;24:84-91.

AĞIZ İÇİ TARAYICI İLE ALINAN ÖLÇÜNÜN HASSASİYETİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

BÖLÜM 3

MUSTAFA AYATA¹
RAVZA ERASLAN²

1. Giriş

Ölçüm sistemlerinin duyarlılığı ele alındığında, bazı temel kavramlar ön plana çıkmaktadır. Hassasiyet (accuracy), ISO-5725 standardına göre tutarlılık (precision) ve doğruluk (trueness) bileşenlerinin birlikte değerlendirilmesiyle tanımlanan bir ölçüt olarak kabul edilir. Bu bağlamda, doğruluk; elde edilen verilerin referans verilerle ne derece örtüştüğünü ifade ederken, tutarlılık; aynı koşullar altında tekrarlanan ölçümlerin ortalama sapma etrafında ne kadar toplandığını gösterir (Sim & ark., 2019). Başka bir ifadeyle, yüksek tutarlılık gösteren bir cihaz ya da yöntem, kendi içinde benzer çıktılar üretmektedir. Yüksek hassasiyetli bir ölçüm metodu ise, hem birbirini tekrar eden hem de gerçeğe yakın veriler sunar. Özetle, böyle bir yöntemde her ölçüm aynı düzeyde doğruluk ve tutarlılık sergiler.

Bir ölçüm tekniğinin hassasiyetini belirlemek amacıyla iki temel yaklaşım benimsenmektedir. İlkinde, restorasyon üretildikten sonra, bu yapının ana model üzerindeki uyumu analiz edilir. Diğerinde ise, ölçümle elde edilen modelin dijital ikizi oluşturularak, bu sanal veri seti yüksek doğruluk oranına sahip bir referans modeliyle kıyaslanır. İlk yöntemde ölçüm doğruluğu dolaylı biçimde değerlendirilir; çünkü restorasyonun dayanakla olan uyumu, ölçüm

¹ Uzm. Dt., Ortoperio Ağız ve Diş Sağlığı Polikliniği, Kayseri Türkiye, dt.mustafaayata@gmail.com Orcid: 0000-0001-6102-9729

² Doç. Dr., Erciyes Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Kayseri Türkiye, ravzaeraslan@erciyes.edu.tr Orcid: 0000-0002-0863-7052

sürecinin başarısına dair fikir verir. Bu nedenle, ölçüm doğruluğu ile restorasyon uyumu paralel kabul edilir. Uyumun analizi, restorasyon ile dayanak arasındaki boşluk esas alınarak yapılır. Bu boşluklar genellikle marjinal ve internal olmak üzere iki alt kategoriye ayrılırken; internal boşluk da kendi içinde aksiyel ve oklüzal alanlarda incelenmektedir. Marjinal boşluğun 50-200 µm, internal boşluğun ise 50-350 µm aralığında kabul edilebilir olduğu belirtilmekle birlikte, literatürde bu konuda kesin bir görüş birliği yoktur (McLean & Fraunhofer, 1971; Tsirogiannis & ark., 2016; Al-Haj Ali, 2019; Peng & ark., 2020).

Restorasyon uyumu çeşitli yöntemlerle analiz edilebilmektedir:

Simantasyon Sonrası Çapraz Kesit Yöntemi: Bu yöntemde, üretilmiş restorasyon sabit modele simante edildikten sonra kesilerek enine kesit görüntüleri elde edilir. Ancak restorasyonun kesilmesi gerektiğinden ve ağız içi değerlendirme yapılamadığından, günümüzde yaygın kullanılmamaktadır (Kim & ark., 2014).

Silikon Kopyalama ile Çapraz Kesit Analizi: Restorasyonun iç kısmına silikon yerleştirilerek, yapı model üzerindeki dayanağa sabit bir kuvvetle oturtulur. Elde edilen silikon kalıplar çıkarılır, kesilerek mikroskop altında değerlendirilir. Ancak bu yöntemin dezavantajı, sınırlı sayıda ölçüm noktasına olanak tanınmasıdır (Kim & ark., 2014).

Mikro Bilgisayarlı Tomografi (Micro-CT) Yöntemi: Bu teknik, çok sayıda noktadan ölçüm yapılmasına imkân tanır. Ancak, yalnızca küçük boyutlu restorasyonlarda kullanılabilmesi, yüksek maliyet ve uzun süren ölçüm süreci gibi sınırlamaları vardır (Pimenta & ark., 2015).

Üç Boyutlu Tarama ve Optik Dijitalizasyon Tekniği: Bu yöntem sayesinde, sanal veriler üzerinden dayanağın tüm yüzey detaylarına ulaşılabilir ve iç boşluklar eksiksiz şekilde görüntülenebilir (Liu & ark., 2018). Literatürde, tek bir restorasyon

için 30.000 noktadan ölçüm yapılabildiği belirtilmektedir (Moldovan & ark., 2011). Ölçüm noktalarının çokluğu, yöntemin en önemli avantajlarından biridir.

Dijital ölçüm tekniklerinin analizinde genellikle "best-fit" karşılaştırma algoritmalarından yararlanılır. Ancak, restorasyon üretilip sonrasında hassasiyet değerlendirmesi yapılacaksa, yukarıda belirtilen diğer yöntemler tercih edilebilir. Restorasyon üretildikten sonra yapılan ölçüm analizleri hem ekonomik açıdan dezavantajlıdır hem de üretim sürecindeki olası hatalardan etkilenme riski taşımaktadır.

Protetik diş tedavisinde dijital ölçü hassasiyeti birçok faktörden etkilenmektedir. Bunlar aşağıdaki on başlık altında sıralanabilir.

2. Tükürük ve Kan Varlığının Etkisi

Ağız içi nem, özellikle dijital taramaların doğruluğunu etkileyen önemli bir faktördür. Tükürüğün tarama yüzeylerinde bulunması, ışığın kırılmasına neden olarak intraoral tarama işlemlerinde hatalara yol açabilmektedir. Bu durum, özellikle pudralama gerektirmeyen sistemlerde daha da belirgin hale gelir; çünkü kuruyup tekrar nemlenen bir yüzeyin tanınması, toz kaplı bir yüzeye kıyasla çok daha zordur. Islak yüzeylerin tarama doğruluğu üzerindeki etkisi kullanılan tarama teknolojisine göre farklılık gösterebilir. Örneğin, triangülasyon ilkesine dayalı çalışan ağız içi tarayıcılar, konfokal mikroskopi temelli sistemlere kıyasla nemli yüzeylere karşı daha hassastır (Kurz & ark., 2015). Literatürde yer alan bir çalışmaya göre, triangülasyon yöntemiyle 65 derecelik açı altında taranan 100 mikrometrelik su tabakası, yaklaşık 35 mikrometrelik bir sapmaya yani %35 oranında ölçüm hatasına neden olabilmektedir (Kurz & ark., 2015).

Bununla birlikte, diş eti oluğundan kaynaklanan kanamalar da benzer şekilde dijital taramaların doğruluğunu olumsuz etkileyebilir. Özellikle derin marjinal bölgelerin dijital olarak yakalanmasında kanamaya bağlı olarak yaşanan zorluklar, bu

alandaki en sık karşılaşılan problemlerden biridir. Ancak, uygun önlemlerle bu sorunların önüne geçilebilmesi mümkündür. Örneğin, preparasyon sınırının net bir şekilde görünmesini sağlamak ve sulkusun hızlıca kapanmasını önlemek amacıyla, tek ya da çift iplikli retraksiyon kordlarının dikkatli ve zamanında yerleştirilmesi, kanamanın kontrol altına alınmasını sağlayarak ölçüm hassasiyetini olumlu yönde etkileyebilir. Böylece preparasyon sınırları dijital ortama doğru biçimde aktarılabilir.

3. Preparasyonun Geometrik Özellikleri

Ağız içi tarayıcıların, pürüzsüz yüzeyleri; girintili, çıkıntılı ve düzensiz yapıdaki yüzeylere göre daha kolay tarayabildiğine dair bazı bulgular mevcuttur (Ender & ark., 2016a; Flügge & ark., 2013; Ender & ark., 2016b). Bu nedenle, dijital ağız içi tarama (IOS) yönteminin tercih edileceği durumlarda, klinisyenlerin yuvarlatılmış iç açılarla birlikte düzgün ve sade yüzeyler oluşturarak preparasyon tasarımını buna uygun şekilde düzenlemeleri önerilmektedir (Ahlers & ark., 2009). Ayrıca, yüzey eğiminin ani şekilde değiştiği bölgelerde, ölçüm sapmalarının daha büyük olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu bağlamda, keskin köşe hazırlıklarından, oluklardan ya da kutu benzeri girintili yapılardan kaçınılması uygun olur (Abduo & Elseyoufi, 2018). Aynı zamanda, CAM teknolojisiyle restorasyon üretimi açısından da yuvarlatılmış iç açıları barındıran preparasyonlar daha avantajlıdır (Abduo & Elseyoufi, 2018).

Ashraf ve arkadaşlarının (Ashraf & ark., 2020) yürüttüğü bir çalışmada, farklı aksiyel yaklaşım açılarına (6° ve 12°) sahip dört ayrı örnek oluşturularak tam kron ve inley preparasyonları modellenmiştir. Bu modeller, Trios (3Shape, Kopenhag, Danimarka), Omnicam (CEREC-Sirona Almanya) ve Medit i500 (Medit, Seongbukgu, Güney Kore) isimli ağız içi tarayıcılar kullanılarak taranmış ve elde edilen veriler referans taramalarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, aksiyel açının artmasına bağlı olarak preparasyonun konverjan ya da diverjan olması durumunda doğruluğun (trueness) arttığını göstermiştir.

Öte yandan, Carbajal ve ekibinin (Carbajal Mejía & ark., 2017) gerçekleştirdiği başka bir çalışmada, -8° ile 22° arasında değişen aksiyel açıları içeren çeşitli kesici diş modelleri, üç boyutlu yazıcı teknolojisiyle üretilmiştir. Bu örneklerin ölçüleri hem geleneksel yöntemle hem de ağız içi tarayıcı aracılığıyla dijital olarak alınmış ve referans modellerle üst üste karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, Trios tarayıcının (3Shape, Kopenhag, Danimarka) abutment diş preparasyonlarını, geometriye bağımlı olmaksızın doğru şekilde kaydedebildiği rapor edilmiştir.

Ancak, Ashraf ve arkadaşlarının (Ashraf & ark., 2020) bulguları, aksiyel yaklaşım açısı arttıkça dijital ölçüm doğruluğunun da yükseldiğini savunan Jeon ve arkadaşlarının (Jeon & ark., 2014) sonuçlarıyla örtüşmektedir. Bununla birlikte, Chan ve ekibinin (Chan & ark., 2011) yaptığı çalışmada ise, konverjans açıları 0° , 5° , 10° , 15° , 20° ve 25° olacak şekilde örnek daylar hazırlanmış ve bu örnekler hem beyaz ışıkla çalışan optik bir tarayıcı (Steinbichler, Neubeuern, Almanya) hem de kırmızı lazer ışık kullanan bir tarayıcı (TurboDent System, Taichung, Tayvan) ile taranmıştır. Bu çalışmada ulaşılan bulgular, 0° dışındaki konverjans açı farklarının tarama doğruluğu üzerinde anlamlı bir etki yaratmadığını ortaya koymuştur.

4. Bitim Sınırının Diş Etiyle İlişkili Konumu

Preparasyonun bitim sınırının konumlandırılması, periodontal sağlığın korunması ve uzun vadede devam ettirilebilmesi açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu sınır, üç farklı konumda yer alabilir: diş eti hizasında (gingival), diş eti altında (subgingival) ya da diş eti seviyesinin üzerinde (supragingival).

Diş eti üstü yerleşimli bitim sınırları, tüm protetik işlemler boyunca kolayca gözlenebilir olması nedeniyle uygulamada pratiklik sağlar. Ancak, bu konum kimi zaman estetik açıdan sorun yaratabilir. Günümüzde ise dental materyallerin artan translüsensi değerleri, diş daha doğal bir görünüm kazandırarak bitim sınırının görsel olarak gizlenmesini mümkün kılmaktadır. Bununla birlikte,

ön bölgedeki diastemaların protetik olarak kapatılması gereken durumlarda, bitim hattının diş eti üzerinde bırakılması uygun değildir; bu gibi vakalarda sınırın sulkus içine doğru uzatılması gerekir. Yine de, diş etiyle doğrudan teması bulunmayan supragingival bitim sınırları, biyolojik açıdan daha avantajlı kabul edilmektedir.

Bitim sınırı diş eti seviyesinde konumlandırıldığında ise estetik sınırlamalar devam eder. Bu nedenle bu yerleşim, özellikle arka (posterior) bölgelerde daha uygun bulunur. Ayrıca, diastemaların restoratif kapatılması için de yeterli destek sağlamaz. Sulkus içerisine derinlemesine inilmeyen bu tür bir konum, doğrudan biyolojik bir probleme neden olmasa da, fazla konturlu restorasyonlar veya marjinal uyumsuzluklar plak birikimini kolaylaştırarak uzun vadede doku sağlığını tehdit edebilir (Marcum, 1967).

Subgingival yani diş eti altına yerleştirilen bitim sınırları, genellikle ön bölgede estetik gereklilikler doğrultusunda tercih edilmektedir. Ancak yapılan birçok çalışmada, bu bölgedeki bitim sınırlarının yer aldığı hastaların büyük kısmında, gülümseme esnasında ön diş etlerinin görünmediği belirlenmiştir (Crispin & Watson, 1981a; Crispin & Watson, 1981b; Tjan & ark., 1984; Owens & ark., 2002). Diğer bir gerekçe ise, diş eti altına doğru uzanan çürük, restorasyon kalıntısı ya da kırık varlığı gibi klinik durumlardır. Ayrıca, klinik kron boyu kısa olan ya da mekanik retansiyonu yetersiz olduğu öngörülen dişlerde de bu bitim tipi tercih edilebilir. Bu tür durumlarda, yeterli miktarda diş dokusunu açığa çıkarmak adına cerrahi olarak uygulanan kron boyu uzatma prosedürleri önerilmektedir. Diş eti seviyesinin altında hazırlanan bitim sınırlarının yumuşak doku inflamasyonu ile ilişkili olabileceği göz önüne alındığında, bu tür olgularda cerrahi yaklaşım daha uygun bir seçenek haline gelmektedir.

Tüm bunların yanında, bitim sınırının sulkus içerisindeki derinliği arttıkça, ağız içi tarayıcılarla bu alanın dijital olarak

taranması zorlaşmaktadır. Özellikle kron kenarlarının sulkusun derinliklerine (1,5–2 mm) yerleştirildiği durumlarda dijital ölçüm yöntemleri önerilmemektedir (Ferrari Cagidiaco & ark., 2021).

5. Bitim Sınırının Geometrik Yapısı

Ağız içi tarayıcılar tarafından oluşturulan STL dosyalarında, yazılım yapısı farklı ağ (mesh) yoğunluklarıyla veri üretimi sağlayabilir. Ancak, dijital görüntünün oluşturulması sırasında her bölge için yüksek ağ yoğunluğu gerekmemektedir. Örneğin, düz yüzeylere sahip alanlarda (örneğin kesici dişin vestibüler yüzeyi), daha seyrek ağ yapısı yeterli olabilirken; yüksek eğrilik içeren bölgelerde (kesici kenar veya bitim sınırı gibi), daha yoğun bir ağ yapısına ihtiyaç duyulur. Özellikle emergence profilinin (çıkış profilinin) doğru şekilde dijitalleştirilmesi için yüksek sayıda ağ noktası gerekirken, yetersiz ağ sayısı marjinlerin dijital ortamda yuvarlak şekilde yorumlanmasına neden olabilir. Başka bir deyişle, belirgin açısal değişimlerin olduğu karmaşık bölgelerdeki detaylar, CAD/CAM sistemlerinin algoritmaları tarafından otomatik olarak yumuşatılabilir (Richert & ark., 2017). Ağız içi tarayıcılarla elde edilen dijital ölçümlerde, farklı preparasyon tasarımlarının elde edilen ölçüm hassasiyetini etkilediği de çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir (Ashraf & ark., 2020; Park, 2016; Park & ark., 2020; Schmidt & ark., 2021).

6. Restorasyon Türünün Etkisi

Restorasyonun şekli ve karmaşıklık düzeyi, ağız içi tarayıcıların elde ettiği ölçümlerdeki doğruluk ve hassasiyet üzerinde belirleyici faktörlerden biridir. Park (Park, 2016) tarafından yürütülen bir çalışmada, inley, tam kron ve köprü preparasyonları; farklı dijital tarama yöntemleriyle taranarak doğruluk ve kesinlik değerleri kıyaslanmıştır. Elde edilen bulgulara göre, inley ve tam kron restorasyonlarının köprü restorasyonlarına kıyasla daha yüksek doğruluk oranlarına sahip olduğu ve bu durumun kullanılan tarayıcının veri toplama yönteminden bağımsız olduğu ifade edilmiştir.

Benzer şekilde, başka bir in vitro çalışmada, farklı dijital ağız içi tarayıcılarla elde edilen ölçümlerin doğruluğu hem preparasyon tasarımı hem de dişin geometrik yapısı açısından değerlendirilmiştir (Ashraf & ark., 2020). Bu değerlendirme sonucunda, ekstrakoronal hazırlıklar (örneğin tam kron preparasyonları), intrakoronal hazırlıklara (örneğin inley preparasyonları) göre daha tutarlı ve doğru sonuçlar vermiştir. Ayrıca, aksiyel duvarların koniklik derecesinin artırılması, dijital taramalarda elde edilen doğruluğu olumlu yönde etkilemiştir.

7. Tarama Çözünürlüğü

Bazı ağız içi tarayıcı sistemlerinde, yüksek çözünürlükte tarama seçeneği sunulmakta ve kullanıcılar bu seçeneği daha kaliteli dijital veri elde edebilmek amacıyla tercih etmektedir. Ancak bu yüksek çözünürlük ayarı, veri hacminin artmasına ve dolayısıyla tarama süresinin uzamasına yol açabilir. Literatürdeki bir çalışmada (Chiu & ark., 2020), hazırlanan bir molar diş, üç farklı çözünürlük ayarında taranarak, elde edilen veriler tarama hassasiyeti açısından değerlendirilmiştir. Yüksek çözünürlükle yapılan taramalarda görüntü sayısında artış ve tarama süresinde uzama gözlenmiştir. Ancak, bitim sınırlarında standart çözünürlük ile yüksek çözünürlük arasında doğruluk bakımından anlamlı bir fark tespit edilmemiştir. Yüksek çözünürlükle yapılan taramanın restorasyon uyumu üzerinde klinik açıdan anlamlı bir etki yaratıp yaratmadığı ise henüz netlik kazanmamıştır. Bu alanda daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğu düşünülmektedir.

8. Tarama Yolu (Scan Pattern) Farklılıkları

Tarama sırası, kullanılan cihaza göre değişmekte olup, dijital ölçümde doğruluğun artırılabilmesi için dikkatle planlanmalıdır. Özellikle konfokal görüntüleme sistemine sahip tarayıcılarla yapılan çalışmalarda, tarama yolunun elde edilen verinin doğruluğu üzerinde etkili olduğu gösterilmiştir (Müller & ark., 2016). Uygulayıcılar, tarama sırasında sabit bir mesafeyi koruyarak, taranan diş merkezde tutmalı ve kesintisiz, akıcı bir hareketle işlemi gerçekleştirmelidir.

Bu, özellikle eksen değişiminin yaşıandığı, örneğın arka dişlerden ön dişlere geçiş gibi, durumlarda ya da yanlış pozisyonlandığında güçleşmektedir. Tarama mesafesinin korunması ve istenmeyen çevre dokuların taranmaması amacıyla bazı üretici firmalar özel tarama kılavuzları önermektedir.

Örneğın, konfokal prensiple çalışan bir ağız içi tarayıcı ile tüm arkın taranması gerektiğinde, üreticiler tarafından birkaç strateji önerilmektedir. Bu stratejilerden biri, oklüzal-palatal yüzeyler boyunca doğrusal bir hareketle başlayarak, ardından bukkal yüzeylerin taranması şeklindedir. Alternatif bir yöntem ise, her bir dişin vestibüler, oklüzal ve lingual yüzeylerinin art arda S şekilli hareketlerle taranmasıdır. İlk yöntem, başlangıç konumuna geri dönerek genel bir yönsel hatanın önüne geçmekte ve uzamsal bozulmayı azaltmaktadır. Ancak vestibüler yüzeylerde doğrusal hareketin interproksimal alanlarda yetersiz kalabileceğı bildirilmiştir (Richert & ark., 2017).

Üretici firmanın önerdiğı tarama yolunun dışına çıkılması, ölçüm doğruluğunu olumsuz etkileyebilir. Bu konuda Mennito ve arkadaşlarının (Mennito & ark., 2018) gerçekleştirdiğı bir çalışmada, altı farklı ağız içi tarayıcı beş değişik tarama yolu izlenerek kullanılmış ve elde edilen ölçümlerin doğrulukları karşılaştırılmıştır. İncelenen cihazlar arasında Omnicam (CEREC-Sirona Almanya), Planscan (Planmeca), Planmeca Emerald, iTero Element (Align Technology, ABD), Trios (3Shape, Danimarka) ve True Definition (3M) yer almaktadır. Çalışma sonucunda, bu tarayıcılardan yalnızca bir tanesinin tarama yolundaki değişikliklerden anlamlı şekilde etkilendiğı rapor edilmiştir (Mennito & ark., 2018).

9. Tarama Başlığının Boyutunun Etkisi

Ağız içi tarayıcılarda kullanılan tarama başlığının (aparatının) boyutu, dijital ölçümün doğruluğı ve tutarlılığı üzerinde etkili olabilen önemli bir parametredir. Hayama ve çalışma arkadaşları (Hayama & ark., 2018) tarafından gerçekleştirilen bir araştırmada, biri büyük, diğeri ise daha küçük tarama aparatına sahip

iki farklı ağız içi tarayıcıyla elde edilen dijital ölçümler, geleneksel yöntemle alınan ölçülerle karşılaştırılmıştır. Çalışmada, Kennedy sınıf I ve III kısmi dişsiz çene modelleri kullanılarak, farklı boyutlardaki tarama başlıkları ile dijital veriler elde edilmiştir. Sonuçlar, büyük tarama aparatına sahip ağız içi tarayıcının, daha küçük başlıklı modele göre ölçüm doğruluğu ve tutarlılığı açısından üstün performans sergilediğini ortaya koymuştur. Aynı çalışmada, küçük tarama başlığına sahip cihazlarla alınan dijital ölçümlerin, geleneksel ölçüm tekniklerine kıyasla belirgin biçimde daha yüksek sapma içerdiği bildirilmiştir. Elde edilen bulgular, kısmi dişsiz modellerde dijital ölçümün doğruluk bakımından geleneksel yöntemlerden üstün olabileceğini; ancak tutarlılık açısından daha düşük performans gösterebileceğini göstermiştir. Ayrıca, ölçüm doğruluğunun tarama başlığı boyutunun artırılmasıyla geliştirilebileceği sonucuna varılmıştır.

10. Tarama Alanının Genişliği (Span Etkisi)

Genel eğilim, taranan alan genişledikçe dijital ölçümlerin doğruluğu ve hassasiyetinin azalma yönünde etkilendiğini göstermektedir. Su ve Sun (Su & Sun, 2015) tarafından bildirilen bulgular, tarama aralığı arttıkça ölçüm hassasiyetinin azaldığını ortaya koymuştur. Benzer şekilde, Renne ve çalışma arkadaşları da (Renne & ark., 2017) tam ark taramalarının, sınırlı bölgesel taramalara kıyasla daha düşük doğruluk ve tutarlılık sağladığını belirtmiştir. Araştırmalar, eğer tarama alanı dental arkın yarısından daha kısa ise, ağız içi tarayıcıların yeterli doğruluk düzeyine ulaşabildiğini göstermektedir (Abduo & Elseyoufi, 2018).

Özellikle uzun dişsiz bölgelerin dijital olarak taranmasında ortaya çıkan doğruluk problemlerine çözüm arayışıyla çeşitli yöntemler denenmiştir. Bu bağlamda, Kim ve arkadaşlarının (Kim & ark., 2017) yaptığı bir çalışmada, dişsiz bölgenin ortasına yerleştirilen alümina işaretleyicinin tarama doğruluğu ve hassasiyeti üzerinde belirgin bir iyileşme sağladığı rapor edilmiştir.

11. Ortam Aydınlatmasının Etkisi

Ağız içi tarayıcılarla gerçekleştirilen dijital ölçümlerin doğruluğu, tarama yapılan ortamın aydınlatma koşullarından etkilenebilmektedir. Arakida ve çalışma arkadaşları (Arakida & ark., 2018) tarafından yürütülen bir in vitro araştırmada, farklı ışıklandırma düzeylerinin tarama doğruluğu ve tarama süresi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada ışık yoğunluğu (lüks) ve renk sıcaklığı (kelvin) parametreleri değiştirilerek taramalar gerçekleştirilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Bulgulara göre, 500 lx ışık yoğunluğu ve 3900 K renk sıcaklığı kombinasyonunda, en yüksek tarama doğruluğu elde edilmiştir. Ayrıca, ışık yoğunluğu ile tarama süresi karşılaştırıldığında, 2500 lx düzeyinde tarama süresinin, 0 lx ve 500 lx koşullarına kıyasla daha uzun sürdüğü belirlenmiştir. Bu durum, yüksek ışık yoğunluğunun tarama işlemini uzatabileceğine işaret etmektedir.

Revilla-Leon ve ekibinin (Revilla-León & ark., 2020) gerçekleştirdiği başka bir çalışmada ise, farklı ışık yoğunluklarının, yani belirli bir alana düşen foton miktarlarının, çeşitli ağız içi tarayıcılarla oluşturulan dijital ağ kalitesi (mesh quality) üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Görüntü yakalama teknolojilerinin farklılıkları dikkate alındığında, çalışmada incelenen tarayıcı sistemleri arasında elde edilen dijital ağ kalitesinde anlamlı farklar gözlemlenmiştir. Fotoğraf temelli görüntüleme kullanan iTero Element (Align Technology ABD) ve Trios 3 (3Shape, Danimarka) sistemleri; video temelli görüntüleme kullanan Omnicam (CEREC-Sirona, Almanya) tarayıcısına kıyasla daha yüksek dijital ağ kalitesi sunmuştur.

Tüm aydınlatma senaryoları dikkate alındığında, Trios 3 tarayıcısı hem dijital ağ kalitesi hem de tutarlılık bakımından en yüksek performansı sergilemiştir. Özellikle klinik ünit ışıklandırması altında, Trios 3 cihazı ortalama veri kalitesi açısından en üst düzeye ulaşmıştır. Buna karşılık, Omnicam tüm ışıklandırma koşullarında en düşük ortalama ağ kalitesi değerlerini vermiştir. Tüm

tarayıcı gruplarında, sıfır ışık ortamında elde edilen dijital ağ kalitesi ise en düşük seviyede gerçekleşmiştir.

12. Sonuç ve Değerlendirme

Dijital ölçü teknolojilerinin protetik diş tedavisinde sunduğu avantajlar, sistemlerin teknik kapasitesi ve klinik şartlara bağlı olarak farklılık göstermektedir. Tarayıcı çözünürlüğü, preparasyon geometrisi, bitiş sınırının konumu ve tarama yolu gibi faktörler, dijital ölçümün doğruluk ve tutarlılığını doğrudan etkilemektedir. Ayrıca çevresel etkenler, örneğin aydınlatma koşulları, tükürük ve kan varlığı, klinik başarıyı belirleyen önemli unsurlar arasında yer alır. Güncel literatür, bu parametrelerin her biri üzerinde dikkatle durulması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, dijital ölçüm yöntemlerinin etkin şekilde uygulanabilmesi için hem cihaz özelliklerinin hem de klinik ortamın dikkatle yönetilmesi gerekmektedir. Sonuç olarak, dijital taramanın başarısı; teknolojik yeterlilik kadar, hekimin sistemleri uygun şekilde kullanabilme becerisiyle de doğrudan ilişkilidir.

Kaynaklar

Abduo, J., & Elseyoufi, M. (2018). Accuracy of intraoral scanners: A systematic review of influencing factors. *European Journal of Prosthodontics and Restorative Dentistry*, 26(3), 101–121.

Ahlers, M. O., Mörig, G., Blunck, U., Hajtó, J., Pröbster, L., & Frankenberger, R. (2009). Guidelines for the preparation of CAD/CAM ceramic inlays and partial crowns. *International Journal of Computer Dentistry*, 12(4), 309–325.

Al-Haj Ali, S. N. (2019). In vitro comparison of marginal and internal fit between stainless steel crowns and esthetic crowns of primary molars using different luting cements. *Dental Research Journal (Isfahan)*, 16(6), 366–371.

Arakida, T., Kanazawa, M., Iwaki, M., Suzuki, T., & Minakuchi, S. (2018). Evaluating the influence of ambient light on scanning trueness, precision, and time of intraoral scanner. *Journal of Prosthodontic Research*, 62(3), 324–329.

Ashraf, Y., Sabet, A., Hamdy, A., & Ebeid, K. (2020). Influence of preparation type and tooth geometry on the accuracy of different intraoral scanners. *Journal of Prosthodontics*, 29(9), 800–804.

Carbajal Mejía, J. B., Wakabayashi, K., Nakamura, T., & Yatani, H. (2017). Influence of abutment tooth geometry on the accuracy of conventional and digital methods of obtaining dental impressions. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 118(3), 392–399.

Chan, D. C., Chung, A. K., Haines, J., Yau, E. H., & Kuo, C. C. (2011). The accuracy of optical scanning: Influence of convergence and die preparation. *Operative Dentistry*, 36(5), 486–491.

Chiu, A., Chen, Y. W., Hayashi, J., & Sadr, A. (2020). Accuracy of CAD/CAM digital impressions with different intraoral scanner parameters. *Sensors (Basel)*, 20(4), Article 4.

Crispin, B. J., & Watson, J. F. (1981a). Margin placement of esthetic veneer crowns. Part I: Anterior tooth visibility. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 45(3), 278–282.

Crispin, B. J., & Watson, J. F. (1981b). Margin placement of esthetic veneer crowns. Part II: Posterior tooth visibility. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 45(4), 389–391.

Ender, A., Attin, T., & Mehl, A. (2016). In vivo precision of conventional and digital methods of obtaining complete-arch dental impressions. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 115(3), 313–320.

Ender, A., Zimmermann, M., Attin, T., & Mehl, A. (2016). In vivo precision of conventional and digital methods for obtaining quadrant dental impressions. *Clinical Oral Investigations*, 20(7), 1495–1504.

Ferrari Cagidiaco, E., Zarone, F., Discepoli, N., Joda, T., & Ferrari, M. (2021). Analysis of the reproducibility of subgingival vertical margins using intraoral optical scanning (IOS): A randomized controlled pilot trial. *Journal of Clinical Medicine*, 10(5), Article 5.

Flügge, T. V., Schlager, S., Nelson, K., Nahles, S., & Metzger, M. C. (2013). Precision of intraoral digital dental impressions with iTero and extraoral digitization with the iTero and a model scanner. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 144(3), 471–478.

Hayama, H., Fueki, K., Wadachi, J., & Wakabayashi, N. (2018). Trueness and precision of digital impressions obtained using an intraoral scanner with different head size in the partially edentulous mandible. *Journal of Prosthodontic Research*, 62(3), 347–352.

Jeon, J. H., Kim, H. Y., Kim, J. H., & Kim, W. C. (2014). Accuracy of 3D white light scanning of abutment teeth impressions: Evaluation of trueness and precision. *Journal of Advanced Prosthodontics*, 6(6), 468–473.

Kim, J.-E., Amelya, A., Shin, Y., & Shim, J.-S. (2017). Accuracy of intraoral digital impressions using an artificial landmark. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 117(6), 755–761.

Kim, K. B., Kim, J. H., Kim, W. C., & Kim, J. H. (2014). Three-dimensional evaluation of gaps associated with fixed dental prostheses fabricated with new technologies. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 112(6), 1432–1436.

Kurz, M., Attin, T., & Mehl, A. (2015). Influence of material surface on the scanning error of a powder-free 3D measuring system. *Clinical Oral Investigations*, 19(8), 2035–2043.

Liu, Y., Ye, H., Wang, Y., Zhao, Y., Sun, Y., & Zhou, Y. (2018). Three-dimensional analysis of internal adaptations of crowns cast from resin patterns fabricated using computer-aided design/computer-assisted manufacturing technologies. *International Journal of Prosthodontics*, 31(4), 386–393.

Marcum, J. S. (1967). The effect of crown marginal depth upon gingival tissue. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 17(5), 479–487.

McLean, J. W., & von Fraunhofer, J. A. (1971). The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *British Dental Journal*, 131(3), 107–111.

Mennito, A. S., Evans, Z. P., Lauer, A. W., Patel, R. B., Ludlow, M. E., & Renne, W. G. (2018). Evaluation of the effect scan pattern has on the trueness and precision of six intraoral digital impression systems. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 30(2), 113–118.

Moldovan, O., Luthardt, R. G., Corcodel, N., & Rudolph, H. (2011). Three-dimensional fit of CAD/CAM-made zirconia copings. *Dental Materials*, 27(12), 1273–1278.

Müller, P., Ender, A., Joda, T., & Katsoulis, J. (2016). Impact of digital intraoral scan strategies on the impression accuracy using the TRIOS Pod scanner. *Quintessence International*, 47(4), 343–349.

Owens, E. G., Goodacre, C. J., Loh, P. L., Hanke, G., Okamura, M., Jo, K. H., et al. (2002). A multicenter interracial study of facial appearance. Part 2: A comparison of intraoral parameters. *International Journal of Prosthodontics*, 15(3), 283–288.

Park, J.-M. (2016). Comparative analysis on reproducibility among 5 intraoral scanners: Sectional analysis according to restoration type and preparation outline form. *Journal of Advanced Prosthodontics*, 8(5), 354–362.

Park, J.-M., Kim, R. J.-Y., & Lee, K.-W. (2020). Comparative reproducibility analysis of 6 intraoral scanners used on complex intracoronal preparations. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 123(1), 113–120.

Peng, C. C., Chung, K. H., & Ramos, V. Jr. (2020). Assessment of the adaptation of interim crowns using different measurement techniques. *Journal of Prosthodontics*, 29(1), 87–93.

Pimenta, M. A., Frasca, L. C., Lopes, R., & Rivaldo, E. (2015). Evaluation of marginal and internal fit of ceramic and metallic crown copings using x-ray microtomography (micro-CT) technology. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 114(2), 223–228.

Revilla-León, M., Jiang, P., Sadeghpour, M., Piedra-Cascón, W., Zandinejad, A., & Özcan, M. (2020). Intraoral digital scans: Part 2—Influence of ambient scanning light conditions on the mesh quality of different intraoral scanners. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 124(5), 575–580.

Renne, W., Ludlow, M., Fryml, J., Schurch, Z., Mennito, A., Kessler, R., et al. (2017). Evaluation of the accuracy of 7 digital scanners: An in vitro analysis based on 3-dimensional comparisons. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 118(1), 36–42.

Richert, R., Goujat, A., Venet, L., Viguie, G., Viennot, S., Robinson, P., et al. (2017). Intraoral scanner technologies: A review to make a successful impression. *Journal of Healthcare Engineering*, 2017, Article ID 8427595.

Schmidt, A., Benedickt, C. R., Schlenz, M. A., Rehmann, P., & Wöstmann, B. (2021). Accuracy of four different intraoral scanners according to different preparation geometries. *International Journal of Prosthodontics*, 34(6), 756–762.

Sim, J. Y., Jang, Y., Kim, W. C., Kim, H. Y., Lee, D. H., & Kim, J. H. (2019). Comparing the accuracy (trueness and precision) of models of fixed dental prostheses fabricated by digital and conventional workflows. *Journal of Prosthodontic Research*, 63(1), 25–30.

Su, T. S., & Sun, J. (2015). Comparison of repeatability between intraoral digital scanner and extraoral digital scanner: An in-vitro study. *Journal of Prosthodontic Research*, 59(4), 236–242.

Tjan, A. H., Miller, G. D., & The, J. G. (1984). Some esthetic factors in a smile. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 51(1), 24–28.

Tsirogiannis, P., Reissmann, D. R., & Heydecke, G. (2016). Evaluation of the marginal fit of single-unit, complete-coverage ceramic restorations fabricated after digital and conventional impressions: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 116(3), 328–335.e2.

GELİŞEN DİŞ HEKİMLİĞİ TEKNOLOJİLERİ: YAPAY ZEKÂ, İMPLANTOLOJİ VE DİJİTAL ÖLÇÜ

