29. BÖLÜM / CHAPTER 29

DİŞ HEKİMLİĞİ UYGULAMALARINDA DİJİTAL TEKNOLOJİ VE SANAL GERÇEKLIK ETKİSİ

DIGITAL TECHNOLOGY AND VIRTUAL REALITY EFFECT IN DENTISTRY APPLICATIONS

Ümit Begüm GÜRAY EFES*

*Prof. Dr. İstanbul Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye
E-mail: begumge@istanbul.edu.tr

DOI: 10.26650/B/ET07.2021.003.29

ÖZ

3 boyutlu baskı ve yapay zekanın gelişimi insanlığı dördüncü sanayi devrimine doğru yönlendirmiştir. Bu bilişim devrimi, teknolojinin insan düşünsel çalışmasının yerini aldığı ilk devrimdir. Toplum-odaklı insansız teknolojilerin hayata yerleşeceği beşinci sanayi devrimine doğru yol alınmaktadır. Son iki devrim birbirini tamamlar nitelikte olup dijitalleşme, robotlaşma, ve uzaktan erişim konusu bütün dünyada yaygınlaşarak, uygulamalarda yerini almaktadır. Toplum-odaklı son sanayi devriminin gündeme gelmesinin sebebi, yaşlanan nüfus, kalifiye personel yetişmesi ve sağlık sektöründeki tıkanmaları aşmaktır. Bilim ve teknolojinin ilerlemesi, diş hekimliğinde kullanılan teknolojinin uygulanması halini olgunlaştırmıştır. Diş hekimliği uygulamalarının öğretildiği eğitim alanında, hekimlerin ve diş hekimliği yardımcılarının tanı ve tedavi süreçlerini uyguladıkları klinik alanında, bilimsel araştırmalarda ve diş hekimliği hizmetine ihtiyaç duyan bireylerin hayatını kolaylaştırmada dijital teknoloji yer almaktadır. Bilgisayarlar bir yanda insan ve sanal gerçekliğin (*virtual reality, VR*) içiçe geçtiği sanal gerçeklik temelli uygulama teknolojilerinde diğer yanda bilgisayar destekli dizayn ve üretim (*computer-aided design and manufacturing CAD/CAM (computer aided design/ computer aided manufacturing)* teknolojisinde derinlemesine yer almaktadırlar. Çevrimiçi platformlar ve dijital teknolojiler çok hızlı bir şekilde yenilenerek değiştikçe, sağlık hizmetine gereksinimi olanlar ve bu hizmeti verebilecek sağlık profesyonelleri arasında uyumlu bir ortaklık ihtiyacı doğmuştur. Meslek profesyonelliğine hazırlanma sürecinde, klinik ve günlük uygulamalarda ve diş hekimliği hizmetine ihtiyaç duyan bireylerin sağlık yönetiminde günümüz teknolojileri ve geleceğin teknolojilerine zamanında hazırlanabilmek için yazılı metinlerin olmasına gereksinim vardır.

Anahtar Kelimeler: Dijital diş hekimliği, sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik, teknoloji, yapay zeka

ABSTRACT

The development of 3D printing and artificial intelligence has led humanity toward the fourth industrial revolution. This current revolution is the first one to replace the human intellectual work of technology. A journey

is being made toward the fifth industrial revolution, where community-oriented unmanned technologies will come to life. The last two revolutions complement each other and the issue of digitalization, robotization, and remote access is becoming widespread all over the world. The advancement of science and technology has matured the applications of technology used in dentistry. In the field of education where dentistry practices are taught, digital technology is included in the clinical field where physicians and dental assistants apply the diagnosis and treatment processes in scientific research and in facilitating the lives of individuals who need dental services. Computers are deeply involved in virtual reality-based application technologies, where human and virtual realities are intertwined, and, on the other hand, in computer-aided design and manufacturing technology. As online platforms and digital technologies change very rapidly, there is an urgent need for a harmonious partnership between those who need health care and health care professionals who can provide this service. In the process of preparing for professionalism, there is a need for written texts to prepare for today's technologies and the technologies of the future in a timely manner in clinical and daily practices and in the health management of individuals who need dental services.

Keywords: Digital dentistry, virtual reality, augmented reality, technology, artificial intelligence

1. Diş Hekimliğinin Sağlık Alanındaki Yeri ve Tarihçesi

Sağlık kavramının en pozitif yönlü çerçevesini Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) tanımı oluşturmaktadır. Bu tanıma göre de sağlık, sadece hastalık ve sakatlığın olmaması değil, fiziksel, ruhsal ve sosyal yönden tam bir iyilik hali olarak ifade edilmektedir. Bu tanımın gücü, sağlığın fiziksel yönüne olduğu kadar psikolojik ve sosyal boyutlarına da ilgi göstermesinde yatmaktadır (Robinson& Elkan 1996). İnsan sağlığına ilişkin olarak, dişlerin, diş etlerinin ve bunlarla doğrudan bağlantılı olan ağız ve çene dokularının sağlığının korunması, hastalıklarının ve düzensizliklerinin teşhisi ve tedavisi ve rehabilite edilmesi ile ilgili her türlü mesleki faaliyeti diş hekimliği çerçevesindedir. Diş hekimliği bilinen en eski tıbbi mesleklerden biridir. Diş hekimliği uygulamalarının 9000 yıllık geçmişi olduğu ortaya konmuştur. Pakistan'ın İndus Vadisi'nde, M.Ö. 7000'lerde yaşamış insanlara ait olduğu bildirilen iskeletlerde dişlere tedavi yapılmış olduğu belirlenmiştir (Coppa et al., 2006). Diş tedavi yöntemleri binlerce yılda gelişmiştir. Diş çürüklerinin temizlenmesi için kullanılan yay matkabından (Akbulut, 2020), bugün, yapay zekalı (*artificial intelligence-AI*) robotik teknoloji sayesinde laserle çürüğün temizlendiği uygulamalara ulaşılmıştır.

2. Diş Hekimliği Uygulama Alanlarında Dijital Teknoloji

Dijital diş hekimliğini uygulamak için dijital dünyanın ürettiği terminoloji kullanabilmek aydınlatıcı olmaktadır.

Sanal Gerçeklik (*Virtual Reality, VR*)

Gerçek dünyaya ait bir ortamın, bilgisayar aracılığıyla yaratılmasıdır. Sanal gerçeklik; bilgisayar faresi, klavye, ses ve konuşma tanımaya ek olarak hareket sensörleri, dokunsal (haptik) cihazlar ve sanal gerçeklik gözlükleri gibi fiziksel veya diğer arayüzleri, sürükleyici

öğrenme ortamını yaratmak üzere, yüksek görselleştirme ve üç boyutlu özellikleri kullanarak gerçek yaşam durumlarını çoğaltmak için kullanabilir. Genel olarak, kullanıcı etkileşir ve bunun gerçek dünya olduğunu hisseder, ancak etkileşimin odağı bilgisayar tarafından yaratılmış dijital ortamdır (Moro, Stromberga, Raikos, & Stirling, 2017, p.549).

Arttırılmış Gerçeklik (*Augmented Reality, AR*)

Kullanıcının öğrenme deneyimini geliştirmek amacıyla gerçek ve sanal nesneleri, gerçek zamanlı çalışma ortamında birleştirip ve kullanıcılarla canlı etkileşim kurmaktadır (Zhou, Duh, & Billinghurst, 2008, pp. 193-202). *AR*, sanal gerçeklik gözlükleri, giyilebilir bilgisayarlar ile insanlara ve mankenlere projeksiyon görüntüler yardımıyla gerçek dünya nesnelerine sentetik bir uyarının uygulandığı bir sanal gerçeklik türüdür. *AR*'nin sonucu, etkileşimi dijital dünya yerine gerçek dünyada gerçekleştirmeye odaklanmaktır (Moro et al., 2017).

Karma Gerçeklik (*Mixed Reality, MR*)

Gerçeklik teknolojilerinin en son kavramı olan karma gerçeklik, sanal gerçeklik ve artırılmış gerçekliğin en iyi yanlarını bir araya getirmeyi hedeflemektedir. Kullanıcıların bulunduğu ortam ile kurulan yapay ortam arasında bir köprü oluşturan bu sistem ile kullanıcı, oluşan yapay ortamda gezip etkileşim kurabilmektedir. (Flavián, Ibáñez-Sánchez & Orús, 2018, pp. 547-560).

2.1. Diş Hekimliği Eğitiminde Dijital Teknoloji ve Sanal Gerçeklik

Diş hekimliği eğitiminde vücudun anatomik, histolojik, fizyolojik bütünlük içinde tanınması, bilinmesi ve öğrenilmesi yanısıra, özelleşilerek ağız, diş ve çevre dokularının temporo-mandibuler eklemin ve diş dokularının gelişiminin sağlıklı ve hastalıklı halinin öğrenilmesi hedeflenmektedir. Tedavinin operatif işlemlerle yapılması gereğinde olmak önemlidir. Gerekli ekipmanı tanımak, yeterli el becerisi ile kullanabilmek ve tedavi sürecini yönetebilmek gerekir. Laboratuvar ve klinik ortamlar öğrencilerin bilişsel (düşünme), duygusal (heyecan/his) ve psikomotor (fiziksel/kinestetik) esaslı çeşitli öğrenme alanlarını entegre etmek ve uygulamak için önemlidir (Bertoli, Lawson, & Bishop, 2018, pp.417-423). Diş hekimliği uygulamaları için gerekli, çoğu psikomotor beceri ilk olarak öğrencileri hasta bakımına yönlendirme yapmadan önce preklinik laboratuvarlarında öğrenilir (Riki & Marjoke Vervoorn, 2013, p.329).

2.1.1. Temel Bilimler Laboratuvarları

Dişlerin yapısını sanal ve artırılmış gerçeklik teknolojilerini kullanarak gösteren 3 boyutlu (3B) atlaslar (Şekil 1) öğrencilerin evlerinde diş bütünü halinde veya ayrı ayrı incelemelerine mine dentin ve pulpa dokularını kuron ve kök kanallarında izleyebilmelerine olanak tanır. (eHuman, 2020; 3dorganon, 2020)

Şekil 1. 3 boyutlu diş atlası (retrieved from <https://ehuman.com/>)

Diş hekimliği klinik öncesi temel bilimler eğitiminde kullanılan holografik giyilebilir teknolojinin bir örneği olan HoloHuman (<https://3d4medical.com/apps/holohuman>), sanal gerçeklik gözlükleri ile tam boyutlu, etkileşimli hologramlar kullanarak vücut sistemlerini, işlevleri ve bölgeleri tanımayı sağlayan bir insan anatomisi atlasıdır. Diş hekimliği öğrencilerinin baş ve boyun anatomisine odaklanmalarını sağlar. Sanal anatomi masalarında (Anatomage Inc., Kaliforniya, ABD). veya bilgisayar ekranlarında (VIVED Anatomy, zSpace, Inc Kaliforniya, ABD) öğrencilerin bir insan kadavrası ile çalışmayı öğrendikleri gibi veya kinestetik öğrenilmesini kolaylaştırır. Bilgisayar yazılımı ve sanal gerçeklik bilgisayar teknikleri sayesinde sanal hastalara dayalı bir sağlık eğitim sistemi bir gerçekliktir (Codd, & Choudhury, 2011, p.124). Araştırma bulguları, geleneksel yöntemlerden daha etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir (Chung van, Tromp, & Vikram, 2018, pp. 21–284).

2.1.2. Preklinik Laboratuvarları

2.1.2.1 Geleneksel Fantom / Simülatör Laboratuvarları

Klasik eğitim programı uygulamalarında öğrencilere, plastik veya gerçek dişlerin yerleştirildiği fantom simülatörlerde, gerçekleştirilecek işlemlerin bilgilendirici diyagramları, resimleri, modelleri gösterilmekte ve bunları tekrarlamaları istenmektedir. Öğrenci tarafından tamamlanan işler, genellikle sözlü geri bildirim veren bir eğitmen tarafından değerlendirilmektedir (Buchanan, 2001). Plastik dişlerin diş benzerliklerinin sınırlı olması, uygulama ve üretim safhasında yarattıkları çevre kirliliği, çekilmiş dişlerin uygun bir eğitim objesi olmasına rağmen eldesinin güçlüğü bu uygulamanın dezavantajlarındandır. Maliyetinin ucuz ve kalabalık gruplarca uygulanabilirliği fakültelerce tercih sebebi olmasını devam ettirmektedir.

2.1.2.2 Sanal Gerçeklik ve Arttırılmış Gerçeklik Simülatörleri

Sanal gerçeklik esaslı simülatörler öğrencilerin, bilgisayar ekranına görseli simüle edilmiş bir hastada klinik süreçleri uygulamalarını sağladığı gibi standardize edilmiş uygulama, gerçek zamanlı geri bildirim ve performanslarının değerlendirilmesi de yapılabilir (Gupta, 2018). İnternet ortamının olduğu heryerden ulaşılabilir olması öğrencinin öğrenme sürecini fakülte ortamına bağlı kalmadan devam ettirmesine imkan verir. Diş hekimliği eğitimi için sanal gerçeklik cihazlarının kullanımı, eğitmenin öğrencilerle daha geniş zamanda ilgilenbilmesine olanak tanır. Ancak sanal gerçeklik diş hekimliği simülatörleri hala gelişiminin ilk aşamalarında ve mevcut sanal gerçeklik simülatörleri ile klinik uygulama arasında boşluk vardır. Diş çevre dokular ve preparasyon konularına odaklanılmışken restorasyon uygulama eğitimi eksiktir. Modelleme, algoritmalar ve işlevsellikler de dahil olmak üzere birçok önemli teknolojik gelişmenin hala iyileştirilmesi gerekmektedir (Wang, Li, Zhang, & Hou, 2016, p. 250).

Klinik uygulamada oturma ve çalışma düzenine birebir benzer şekilde hazırlanmış olan simülatör DentSim™dir. DentSim, gerçek öğrenci hareketlerini anında geri bildirim ile sanal gerçekliğe dönüştürme teknolojisini kullanır. DentSim yazılımı ile çalışan gelişmiş bir fantom, diş hekimliği el aletleri döner enstrümanları ve optik izleme sisteminden oluşur (Şekil 3). Sensörler, hastanın fantomundaki dental aletlerin ve çenelerin her birine yerleştirilmiştir. Bir kullanıcının her hareketi, simülatörün üzerinde bulunan kızılötesi kamera tarafından izlenir ve bilgisayara kaydedilir. Öğretim yazılımına sahip ikinci bilgisayar öğrenci çalışmalarını değerlendirmek için kullanılır. Bu yazılım, öğrencilerin hem kritik hatalarını değerlendirmek, hem de öğrenci tarafından talep edildiğinde çalışmalarını yeniden gözden geçirmek üzere programlanmıştır (Roy, Bakr, & George, 2017, pp.41-47).

Şekil 2. DentSim™ ünit (retireved from www.dentsimlab.com)

Dokunsal teknolojiye sahip 3B sanal gerçeklik simülörleri öğrencilere ve diş hekimlerine çeşitli klinik uygulamalarını öğretmek için tasarlanmışlardır. Bu sistemler çoğunlukla bir diş üniti, diş hekimi aynası ve haptik esaslı bir döner alet (*aerator* veya mikromotor) içerir. Haptik teknolojisi hullanılan cihaz (Şekil 3) sayesinde, sert mine ile daha yumuşak çürük doku arasındaki farkı hissetmeyi mümkün kılar (Wang, et al., 2016).

Şekil 3. Voxel-Man cerrahi eğitim sanal gerçeklik simülör ve haptik cihazlar (<https://www.voxel-man.com/simulators/dental/>)

Bu sisteme sahip olan simülörlerden bazıları, Simodont® (Şekil 4) (Moog Industrial Group, Amsterdam) (Murbay, Neelakantan, Chang, & Yeung, 2019, pp.5-7) Bireysel Diş He-

kimliği Eğitim Asistanı (*Individual Dental Education Assistant-IDEA*), Voxel-Man (Hamburg Almanya) (Roy, et al., 2017), Iowa Dental Cerrahi Simülatörü (*Iowa Dental Surgical Simulator-IDSS*) (Johnson, Thomas, Dow, & Stanford, 2001, pp. 847-853), Sanal Diş Hasta (*virtual dental patient*) (Marras, Papaleontiou, Nikolaidis, Lyroutdia, & Pitas, 2006 pp. 665-668), Vir-DenT Sistemi (Bogdan, 2011), Kobra (Forsslund) Sistemi'dir (Bogdan, 2011; Taner, Yılmaz, Kütük, & Eren, 2017).

Şekil 4. Simodont® (<https://www.moog.com/>)

Haptik teknoloji sanal gerçeklik simülatörlerinde, öğrenciler 3B gözlük kullanarak çeneyi bir bilgisayar ekranında görürler. Dişleri farklı açılardan inceleyebilirler. Sanal Gerçeklik Diş Hekimliği Ünit Sistemi/HapTEL Teknoloji simülatöründe de uygulama sırasında öğrenci sanal *aerator* veya mikromotor basıncını hissedebilir. Bu, ince motor kontrolü geliştirmelerini sağlar, bir diş tedavi süreci sırasında hayati önem taşıyan aerator veya mikromotorun hızını kontrol edebilirler (Tse, Harwin, Barrow, Quinn, San Diego, & Cox, 2010, pp.101–108). Sanal gerçeklik ve dokunsal teknoloji kullanılan PerioSim® periodontal simülatörde öğrencilerin, sanal diş hekimliği el aletleri ile diş, dişeti ve diş üzerindeki diş taşı yüzeylerine dokunup, gerçek dokunsal hisleri algılayarak periodontal hastalıkların ve çürüklerin teşhis ve tedavisini öğrenmelerini sağlar (Luciano, Banerjee & DeFanti, 2009, pp.69-85).

2.1.2.3. Robot Simülatörler

Gerçek İnsan Benzeri Robotlar

Klinik şartlarda hasta üzerindeki diş hekimliği uygulamaları sırasında hastaların olası davranışlarını yönetebilmek ve standart uygulama sistemlerini öğrenciye aktarmak için robotlar uygulama sahasındadır.

Tokyo'nun Showa Üniversitesi, robotik şirket (Tmsuk Co., Ltd. Japan) ile birlikte, diş hekimliği öğrencilerinin gerçek bir hastayla çalışmayı deneyimlemelerine olanak tanıyan bir dizi tipik hasta hareketlerini ve tepkilerini simüle eden gerçekçi robotu Showa Hanako'yu üretmiştir. Robot, gözlerini kırıştırabilmekte, esneyebilmekte, hapsirabilmekte, başını sallayabilmekte, öksürebilmekte, dilini hareket ettirebilmekte hatta ağzını çok uzun süre açık tutmaya çalışırken yorgunluk tepkisi verebilmektedir. Aynı zamanda öğürme refleksine de sahiptir (Rawtiya et al., 2014). Geminoid, uzaktan kumanda ile kontrol edilebilen yüksek hareket teknolojisine sahip akademik uygulamalara hizmet için üretilmiş bir robottur. Robot karşısındaki kişinin mimiklerini ve baş hareketini taklit edebilmektedir (Vlachos & Schärfe, 2013, pp.621-625).

Nippon Diş Hekimliği Fakültesi (Tokyo ve Niigata), Kokoro Company Ltd. (Tokyo, Japan) ve diş hekimliği ekipmanları üreten Morita Manufacturing (Tokyo, Japan) ile geliştirilen Simroid insansı (Humanoid) diş eğitim similatörü ileri düzeyde gerçekçi bir eğitim robottur. Daha az özelliklere sahip Simuroidin gelişmiş versiyonudur. Yapay zekanın gelişimiyle birlikte Simroid, ifadesiz metal fantomları olan robot öncesi simülatörleriyle karşılaştırıldığında, öğrencilere gerçekçi bir deneyim, daha fazla duyuşal geri bildirim sağlayan bir eğitim robotu haline gelmiştir (Meyn, 2015).

İnsansı robot hasta, Actroid, Osaka Üniversitesi tarafından geliştirilen ve Kokoro Company Ltd tarafından üretilen güçlü görsel insan benzerliğine sahip bir android (humanoid robot) türüdür. (Şekil 6) Robot konuşma tanıma özelliğine sahiptir. Aynı zamanda ağız içinde ve çevresinde yerleştirilmiş sensörler sayesinde bir şey acıyorsa veya rahatsız edici geliyorsa, tepki göstermektedir. Teknik yerine tutum vurgulayarak öğrencilerin hasta iletişim becerilerini geliştirmek için bir eğitim aracı olarak planlanmıştır. Bu simülatörün diğer bir özelliği de tedavi sonrası derecelendirme sistemidir. Öğrenciler pratik yaparken, iki kamera problemleri ne kadar iyi teşhis ettiklerini ve hasta ile etkileşime girdiklerini kaydeder. Tekrar tekrar izlenmesine imkan tanır (Dafer, 2011).

Şekil 5. İnsansız Robot Hasta (Dafer, 2011) (<http://www.coolstech.com/simroid-dental-training-humanoid-the-humanoid-robot-patient/>)

2.2. Diş Hekimliği Kliniklerinde Dijital Teknoloji ve Sanal Gerçeklik

Bu süreç hastaya ve duruma ait veri toplama ve diagnoz, tedavi ve takip, sonuçların alınması değerlendirme etaplarıdır.

2.2.1. Teşhiste Dijital Teknoloji

Tedavinin en önemli adımı hasta verilerinin toplanması ve kayıt altına alınmasıdır. Bilgisayarlar hastaya ait tüm verilerin dijital ortama aktarılıp saklanmasında, gereğinde çeşitli platformlarda paylaşımında büyük fayda sağlamaktadırlar (Lovis, Spahni, Cassoni, & Geiss-Buhler, 2007, pp.466-467). Hastaya ait görüntüleme verilerinin dijitalize edilmesinde ağız içi kameralar ve scannerlar kullanılmaktadır. Bu şekilde dijital ölçü ile ideal ölçü alınabilir. Yapay zeka, bilgisayar sistemine yüklenmiş bilgiler içinden algoritma ve analizler üreterek diş hareketlerini hesaplayıp, ideal tedaviyi diş hekimlerine önermektedir (Kattadiyil, Mursic, AlRumaih, & Goodacre, 2014, pp.444-448).

Diş hekimliğinde kullanılan görüntüleme yöntemleri konvansiyonelden dijitale, periapikal radyografi, panoramik radyografi, sefalometrik radyografi, manyetik rezonans görüntüleme, ultrasonografi (USG), konvansiyonel tomografi, bilgisayarlı tomografi (BT), konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) olarak sıralanmaktadır. Teşhiste dijital radyografi her ne kadar çığır açmış olsa da iterproksimal alanda çürüklerin tanısında yeterince yüksek sensitiviteye (duyarlılık) sahip değildir. Çürüklerin erken dönemde saptanmasında çok çeşitli tanı sistemleri mevcuttur ve geliştirilmelerine yönelik araştırmalar da sürmektedir (Srilatha, Dosh, Kulkarni, Reddy, & Bharathi, 2019, pp.118-127).

Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi

Detaylı analiz yapabilen ağız dışı görüntüleme sistemidir. Düşük radyasyonlu X-ışını teknolojisine sahip bir tarayıcıyı hastanın başının etrafında döndürerek saniyeler içinde diş, çene, dişeti ve sinirlerde 3 boyutlu görüntüler oluşturur. KIBT sadece dilimlenmiş görüntü verileri üretebilen bilgisayarlı tomografiye nazaran üstün bir şekilde (Cotton, Geisler, Holden, Schwartz, & Schindler, 2007, pp. 1121-1132), hastaya ait maksillofasiyal iskelet sisteminin çevre yumuşak dokularla birlikte 3B dijital modelini oluşturularak diş hekiminin tedaviyi planlamasına yardımcı olmaktadır (Ramiro et al., 2017). Endodontik tedavide, lateral kanalların preoperatif görünürlüğünü, ek kanalların varlığını, herhangi bir invaziv prosedürden önce diş anatomisi hakkında detayları gösterdiği için endodontik tedavi planlamasının dördüncü boyutu olarak tanımlanmıştır (Patel, Dawood, Whaites, & Pitt Ford, 2009). Kanal tedavisinde yönlendirici mikroguidelerin basımı için alt yapıyı hazırlar (Connert, Zehnder, Weiger, Kühl, & Krastl, 2017). Görüntüleme ve matematiksel hesaplamalarla model oluşturma önemli olduğu ortodonti alanında, KIBT ve 3B görüntüleme, ağız içi tarayıcılar, yüz tarayıcıları, anında diş modelleme yazılımı özellikleri ve robotik ve 3B baskı kullanan cihazlar ve *CAD/CAM* uygulamalar ile klinik uygulamanın ve eğitimin seyrini değiştirmektedir (Nayyar, Ojcius, & Dugoni, 2020).

Diş Hekimliği Görüntüleme Alanında Artırılmış Gerçeklik Teknolojisi

Artırılmış gerçeklik teknolojisi ile karmaşık anatomik alanın görselleştirilmesi için bir sistem geliştirilmiştir. Teknoloji, 3B BT kullanarak hasta kafatasının taranmasını ve Mimics *CAD/CAM* (Materialise Manufacturing, Leuven, Belçika) yazılımına aktarılan tüm görüntülerin işlenmesi sonucunda hastanın kafatasının 3B modelinin üretilmesini sağlar (Materialise, 2020). Bu teknolojiye, cerrahinin eş zamanlı görüntülenmesi için *AR* teknolojisi uygulanır ve X-Ray kullanımı ortadan kaldırılır (Nayyar, & Nguyen, 2018).

AR tabanlı cerrahi rehberlik sistemleri, sanal gerçeklik gözlüğü veya göz mercekleli kullanarak hastanın vücudunun 3B sunumlarını gerçeğe yakın olarak sağlar. Microsoft HoloLens; akıllı yönlendirme sistemleri için Microsoft tarafından önerilen karma gerçeklik akıllı gözlüklere aittir. Diş hekimliği ameliyatları için verimli bir şekilde kullanılmaktadır (Microsoft, 2020).

Şekil 6. Microsoft HoloLens, diş hekimliğinde kullanılan “HoloDentist” adlı bir proje ile kullanılmaktadır. (<https://holo.dentist/>)

Hasta Dijital Kayıtları

Bilgisayar teknolojisinin yönlendirmesi ile yapılacak cerrahi operasyon öncesi ya çeşitli tomografik kaynaklardan gelen veri ile 3B anatomik modeller üretilir yada çeşitli kaynaklardan ulaşılan 3B tomografik veri kullanılır. Tomografik veriler *DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine)* adlı uluslararası standartta bir dosya formatı kullanılarak dışa aktarılır. Geniş bir yelpazede yazılım ürünleri *DICOM* verilerini bir 3B model oluşturmak için dönüştürebilir ve birçoğu kullanmak için ücretsizdir (Jokstad, 2017).

Dijital kayıtlardan veri alıp, önceki verilerle karşılaştırıp değerlendirmek için çeşitli etkileşimli ve otomatik araçları kullanan analiz yazılımları mevcuttur. Kuronların dijital olarak tasarlanması ve hazırlanması konusunda öğrenci çalışmalarını analiz ederek, yaptıkları tüm işlerin dijital olarak değerlendirmesini sağlarlar. Öğrenci tamamladığı işi, ağız içi kamera CEREC Omnicam (Dentsply/Sirona, Bensheim, Almanya) ile tarar. Bunu yaparken, hazırladığı diş, komşu dişler ve antagonistler intraoral olarak ölçülür. PrepCheck (Dentsply/Sirona Bensheim, Almanya) bu yazılımlara bir örnektir (Kunkel, Engelmeier, & Shah, 2018, 305-311).

2.2.2. Tedavi ve Takipte Dijital Teknoloji

Diş hekimliğinde tedavi tüm sağlık branşlarında olduğu gibi koruyucu hekimlikle başlar. Cerrahi, implantoloji, periodontoloji, restoratif tedavi, endodonti, protetik tedavi, çocuk dişleri uygulamaları ve ortodonti uzmanlık alanlarındaki bilginin gereğine uygun şekilde hastaya uygulamasıdır.

Cerrahi ve Implant Uygulamalarında Arttırılmış Gerçeklik Teknolojisi

Baş, boyun, yüz ve tempero-mandibular sistemin yaralanmaları ve gelişimsel bozukluklarının ortognatik cerrahi ile düzeltilmesi, implant uygulamaları, protez öncesi dişlerin çekiminin tasarlanmasını yönetir. Bu nedenle cerrahi işlem için, arttırılmış gerçeklik teknoloji yardımı cerrahlara *AR navigation* ve *AR guidance* (rehberlik) sistem ile olmaktadır. *AR* navigasyon sistemleri, sanal şema aracılığıyla hastanın tam bilgilerini sağlar ve cerrah tarafından giyilen 2B sanal gerçeklik gözlüğü ile gerçek sahneye katılır. Hastaya ait radyografileri, bilgisayarlı tomografi taramalarını, manyetik rezonans görüntüleme taramalarını ve anamnezi kullanır (Wang, Suenaga, Yang, Kobayashi, & Sakuma, 2017). *AR guidance* sistemleri gerçek zamanlı, gerçek cerrahi alanlarla, intraoperatif bilgi vererek işlemin 3 boyutlu alanda doğru yapılmasını sağlar. Ekran tipi algılama konumuna hakim olduğundan, sanal gerçeklik gözlüğü veya Google Glass benzeri özellikte mikroskobik göz mercekleri önerilir (Yu, Ferniany, Guthrie, Parekh, & Ponce, 2016, pp.156-165).

Şekil 7. İmplant ve protez uygulamalarında arttırılmış gerçeklik teknolojisi (Casalena, 2017)
(<https://www.youtube.com/watch?v=OINjw9Q0Uzk>)

Robotik Uygulamalar

Halen, da Vinci Cerrahi Sistemi gibi tıbbi robotlar, doktorların kalp cerrahisi de dahil olmak üzere çeşitli operasyonları gerçekleştirmelerine yardımcı olmak için kullanılmaktadır (Palep, 2009). Bununla birlikte, robotik diş hekimliği henüz gelişimin erken aşamalarında. Bunun nedeni diş hekimliği uygulamalarında çok fazla değişken ve ekipmanın olması ile kompakt bir yapısının olmamasıdır. 2017 yılında, dünyanın ilk ticari diş hekimliği robot sis-

temi, Yomi® (Neosis, Miami, FL, ABD) geliştirilmiş ve FDA izni almıştır. Dokusal robotik teknoloji olarak adlandırılan rehberlik sistemi ile diş ve implant cerrahisi için hassasiyet ve kontrol sağlamaktadır (Neosis, 2020). Hekim, hastanın BT taramalarına göre anatomik yapı görüntüsünü değerlendirip implantlar için sanal bir plan oluşturur. Robotik kol, dokusal rehberlik ve çok sensörlü geri bildirim ile diş implantının yerleştirilmesi için diş hekimlerine, planlanan konum, açı ve derinliğe ulaşmalarında yardımcı olur. Özel bir cerrahi rehber hazırlama ihtiyacı kalmaz ve cerrahın elinin sapmasını önler. Ancak Yomi® denetim altında operator tarafından kullanılmaktadır (Wu, Wang, Fan, S & Chow, 2019, pp.513-518.).

Dünyanın ilk otonom implant ameliyatı 2017 yılı sonunda gerçekleştirilmiştir (Yan, 2017). Bu akıllı robot, operatif işlemler sırasında otomatik olarak ayarlanarak, cerrahi işlemleri hastalara bir cerrah tarafından müdahaleye gerek kalmaksızın uygulayabilmektedir. Böylelikle olası insan hatalarının önlenmesi hedeflenmektedir (Haidar, 2017).

Şekil 8. Dünyanın ilk otonom implant ameliyatı (Yan, 2017)
(<https://www.scmp.com/news/china/article/2112197/chinese-robot-dentist-first-fit-implants-patients-mouth-without-any-human>)

Henüz hiçbir robotik sistem çok fazla değişkeni düşünüp yönetebilen diş hekimlerinin yerine sürecin tamamında yer alamamaktadır. Ancak robotların, özellikle protezlerde kullanımı, hız kazanmıştır. Zira robotik denemeler üretim alanında özellikle hareketli protez, tam protez ve implant üstü protezde sürmektedir. Deneyimli personelin veri girişi ile üretilebilecek protezlere yardımcı olabilecek robotlara kodlanmış hareketler ile sağlanması mümkündür (Chander, 2019).

Diş Kesim Robotu

Diş hazırlanmasında kullanılmak üzere ultra kısa nabızlı lazer (*Ultra Short Pulse Laser - USPL*) ışınını kullanan, 3B hareket planlama yazılımına sahip otomatik bir diş kesim robotu geliştirilmiştir. Bu cihaz 6 öğeden oluşmaktadır:

- 1) ağız içi 3B bir tarayıcı
- 2) dişin kesim şeklini tasarlamak ve lazere 3B bir hareket yolu yaratmak amacı ile kullanılacak *CAD/CAM*
- 3) lazer ışınlarını sert dokuyu şekillendirmesine uygun hale getiren lazer jeneratörü
- 4) 6 derece serbestlikte ışın yönlendirici bir kol
- 5) robotik bir sistem (ağız içinde lazeri kontrol eden mikro ünite)
- 6) komşu dişleri lazer kesiminden koruyan bir donanım (Yuan et al., 2016).

Ağız içinde ulaşılması ve çalışılması güç alanlarda doğru, ideal bir diş preparasyonu yapılabildiği gibi konvansiyonel döner aletlerin ses ve titreşimi söz konusu değildir.

Diş Dizim Robotu

Protez yapımında taşıyıcı kaidenin çene arkı eğimi yüz özellikleri diş özelliklerine uygun olarak oluşturulması ve dişlerin buna göre dizilmesi ideal bir estetik ve fonksiyon sağlar. Diş Dizim Robotu bilgisayar ortamında hastanın tıbbi geçmiş dosyalarındaki kayıtlara göre daha önce uzmanlarca girilmiş ideal verilerin yardımıyla, çene arkını oluşturup, ekranda üç boyutlu sanal dişleri görüntüleme için tasarlanmış ortamında, her diş duruşunu etkileşimli olarak yerleştirir. Proteze mekanik olarak dişleri yerleştirme ve düzenleme işini MOTOMAN UP6 (RobotWorx inc. Ohio, ABD) robotuna göre tasarlanmış çok parmaklı diş dizim eli ile yapar (Jiang, Zhang, Wei, He, & Liu, 2015, pp.1-11).

Sanal artikülatör, yazılım ve donanımı sayesinde, oklüzyonun fonksiyonel işlevsel yönlerini *CAD/CAM* sistemleri ile ortaya koyarak mekanik artikülatörlerin yerini alan ve hatasız iş yapan hassas bir yazılım aracıdır (Ramiro et al, 2017).

Ortodontik Tel Bükme Robotu

Ortodonti, kafa kemikleri yerleşimi ve dişlerin eksen eğimleri birbiri ile uyumu pek çok görüntüleme sistemi ile taranıp matematiksel hesaplamalar yaparak, dişlerin ve çenelerin uygun konumlanmasını sağlar. Bu işi kişiye özel hazırlanmış apareyler, dişler üzerine yerleştirilmiş brakerler ve uygun konumda bükülmüş teller ile gerçekleştirir. Hekim kişinin gerkli

analizlerini yaptıktan sonar, 3 B görüntüleme ve dijital kayıtlı bilgileri işleyebilen MOTO-MAN UP6 ark teli bükme robotu; bükme pozisyonu, ark telinin optimizasyon açısını, kinematik özellikleri ve eğilme özelliklerini analiz ederek teli uygun şekilde bükebilmektedir (Kumar et al., 2017).

Endodontik Tedavi Robotu

Endodontik diş tedavisi, enfekte diş tedavisidir. Dişte giriş yolunun hazırlanması, kök kanalının temizlenip şekillendirilmesi ve doldurulması işlemleridir (Hulsmann, Peters, & Dummer, 2005). Bu süreci kolaylaştırmak için hazırlanan, bilgi bankasından kaynak alan bilgisayar destekli yazılım, otomatik kök kanal tedavisi için giriş yollarını ve işlem parametrelerini belirleyen kodları veya standart bir sayısal kontrollü program üretir. Bu mini makine veya robot hastanın ağzındaki birkaç dişe monte edilebilmektedir. Çevrimiçi izleme ve akıllı kontrol ile, kök kanal tedavisinin tüm adımlarını otomatik gerçekleştirebilecektir. Böylelikle diş hekiminin becerilerine bağımlılık azaltılırken olası insan hatasını en aza indirebilecek doğru tanı ve uygun tedavi sağlanabilecektir (Neha ., 2017; Rawtiya, 2014).

Restoratif Tedavide CAD/CAM Sistemi

Dijital bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler CAD/CAM sistemi kullanımının başlaması ile konvansiyonel tekniklere oranla hatasız ve kavite uyumu ve bütünlüğü tam ideale yakın restorasyonlar oluşturulmaktadır. 1980'lerde CEREC (CEREC 3D, Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, Almanya) sistemi tanıtılmıştır. (Cerec 2020). CAD/CAM sistemleri ile inley, onley, veneer, kuron, köprü, implant destekli protezler ve hareketli protezler ağız içi kamera ile ölçü alınıp, doğal diş renginde üç boyutlu olarak tasarlanıp üretilmektedirler. Aynı seansta hasta ağzına yapıştırılabilmektedirler. En popüler CAD/CAM sistemler CEREC, Planmeca (Planmeca Oy, Helsinki, Finlandiya), Carestream Dental (Atlanta, GA), Dental Wings (Montreal, Kanada), ve Zfx (Dachau, Almanya) (Blatz & Conejo, 2019, pp. 175–197). CAD/CAM sistemi üç esasa dayanır:

3B gibi farklı tarama teknolojilerinden elde edilebilen verileri toplama (Strub, Rekow, & Witkowski, 2006, Van Noort, 2012).

3B nesnenin dijital verilerini oluşturan ve işleyen, veri işleme CAD (bilgisayar destekli tasarım) sistemi (Strub, 2006; Van Noort, 2012).

Tasarlanan yapıyı istenen malzemelerde üreten veri üretimi CAM (bilgisayar destekli üretim) sistemi (Strub, 2006; Van Noort, 2012).

Diş hekimliğinde mevcut *CAM* teknolojileri “eksiltme” veya “ekleme” üretim yöntemleri ile çalışır. Eksiltme yönteminde, örnekler işleme ve frezeleme ile, frez, disk veya lazer kullanılarak istenmeyen malzemenin bir bloktan çıkarılmasıyla oluşturulur. Diğer yandan “ekleme” üretim yöntemleri 3B baskı ve lazer eritme teknolojileri, dental nesneleri katman katman ilave ederek oluşturur (Strub., 2006; Van Noort, 2012). Eklemeli üretim süreci eksiltmeli imalattan daha yeni bir teknolojidir daha hızlı olarak da bilinir (Alageel, Wazirian, Almufleh, & Tamimi 2019). Ancak freze işlemi efektif olarak kullanılmaktadır.

3 B Yazıcılar

Mekanik açıdan bakıldığında, 3B yazıcılar genellikle oldukça basit robotik aygıtlardır. Aygıt, nesnelerin sanal bir ortamda tasarlanmasına izin veren bilgisayar destekli tasarım (*CAD*) yazılımı yönlendirmesi ile sıfırdan nesneler yaratılmasına izin verir, Basım için dijital veri girişi, 3B veya BT tarayıcılarla olmaktadır (Dawood, Marti, Sauret-Jackson, & Darwood, 2015). Yazdırılacak nesne *CAD* yazılımında tasarlanır ve ardından başka bir *CAD* yazılımı kullanarak malzemenin tabaka tabaka ilavesiyle nihayi şekline ulaştırılır (Stansbury & Idacavage 2016). Diş hekimliği uygulamalarında kullanılmak üzere dental 3B yazıcılar için birçok özel reçineler oluşturulmuştur (Stansbury & Idacavage 2016). 3B baskının en eski uygulamalarından biri cerrahi uygulama modellerinin basılmasıdır (Kurenov, Ionita, Sammons, & Demmy, 2015). Baskı hem diş hekiminin kliniğinde hem de laboratuarlarda yapılabilmektedir.

2.2.3. Yeni Muayenehane Dizaynı

Günümüz diş hekimliği muayenehaneleri yapay zeka ve artırılmış gerçekliğin sınırlarının genişlemesi ölçüsünde değişim geçirmekte, teşhis ve tedavi alanındaki cihaz sistem ve yazılımları kullanarak güvenli etkili ve kısa sürede daha az bedensel ve zihinsel yorgunluğa neden olan başarılı operasyonları oluşturmaktadır

Yapay Zeka Sesli Komut Sistemleri

Kullanımda olan yapay zeka sesli komut sistemleri sayesinde (Dexvoice, DEXIS, Kavo Dental Kaliforniya, ABD) seslenerek hastaya ait radyografi görüntülenmektedir. Bu sayede diş hekimlerine uygulamalar sırasında zaman tasarrufu sağlandığı gibi enfeksiyon kontrolü de kolaylaşmaktadır (Shuman, 2019).

Klinik Karar Verme Destek Sistemi (*Clinical Decision Support System*)

Yapay zeka ve makine öğrenmesi ile dijital yöntemlerle alınan hasta kayıtları, görüntüleme bilgileri, bilgi bankasındaki *network* (ağ) ile eşleştirilip uygun tedavi seçeneği sunulmaktadır. MMG Fusion’ın ChairFill (Maryland, ABD) uygulaması, makine öğrenimi yoluyla diş

hekiminin kayıtlarından veri alır ve analiz eder. ChairFill en uygun diş hekimliği hizmetini bulabilir, hastalarla doğrudan iletişim kurabilir ve hatta hasta randevuları alabilir. Bilgisayarlar büyük miktarda veri işleyebildikleri ve bu verilerdeki görevleri yerine getirmek için tanıyabildiklerinden, çürüğü tespit etmede yapay zeka kullanılmaktadır. Yapay zekayı bu şekilde kullanan bir şirket Dentistry.ai (Florida, ABD) dir. Algoritması, büyük bir radyografi veri girişi alıp bu verilerdeki kalıpları tanımak için tasarlanmıştır. Sonuç olarak uygulayıcıların çürük lezyonları daha doğru bir şekilde tanımlamasına yardımcı olur. Yapay zeka ile ilgili olarak, diş hekimliğinde AR kullanan Kapanu (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) hastaların gülümsemelerinin olanaklarını gerçek zamanlı olarak görselleştirmek için özel bir yazılım geliştirmiştir (Shuman, 2019).

Tele-Diş Hekimliği

Tele-diş hekimliği, telekomünikasyon teknolojisi, internet ve diş hekimliği uygulamalarının sinerjik bir birleşimidir (Chen, Hobdell, Dunn, Johnson & Zhang, 2003, pp. 342–346). Hastaların muayenehaneye veya kliniğe gelmesine gerek olmadan klinik tanı hizmetine yönelik bilgileri hastaya sunmak için bir hasta portalı kullanımı, randevu planlamadan önce hastalara ait şikayet ve anamnez alınabilmesi için güvenli çift yönlü hasta mesajlaşma sisteminin kullanımı, sanal muayene ve konsültasyon ve taramalar sağlamak için güvenli canlı video kullanımı bu uygulamanın çeşevesi içinde yer almaktadır. Grup uygulamalarında ekip üyeleriyle veya uzmanlarla fiziksel posta ile bilgi göndermeksizin iletişim için bulut tabanlı muayene ve hasta veri paylaşımının kullanımı işlemlere hız kazandırmaktadır. Diş hekimliği veya sağlık eğitimi almamış personelin acil durumda tanı için görüntü ve hasta bilgilerini değerlendirilmek üzere ağız içi kamera ile birleştirilmiş tarayıcı tabanlı bir tele-diş hekimliği sistemi kullanımı muayenehane pratiğine girmiş ve yaygınlaşma yolundadır. (Monika, 2015)

2.3. Araştırma Yöntemlerinde Dijital Teknoloji

Sanal Ortamda Araştırma Düzenekleri

Preklinik ve kliniklerde kullanılan tüm cihazlar ve sistemler yapay zeka, makine öğrenmesi, dijital teknoloji daha iyi diş hekimliği hizmeti vermek için yapılacak araştırmaların hizmetindedir. Ancak açık erişim ve kitlesel kaynaklı bilimsel bilgi çağında, daha önceki ile aynı kalitede, çok daha hızlı, invaziv olmayan, insanlar üzerinde deney yapmadan aynı miktarda bilgi toplayan klinik araştırmalar yapmak için bir çözüm bulması gerekecek. Örneğin çene hareketlerini simüle eden robotlar, stomatolojide, gıda biliminde, önemli rol üstlenmektedirler. Diş hekimliği materyali geliştirme sürecinde, üreticilerin bu malzemelerin özelliklerini ve ağızdaki performanslarını belirleyebilmeleri için çiğneme robotları kullanılmaktadır (Xu et al., 2008).

Diş hekimliği alanında organoid veya organ on chip kullanımı (Mesko, 2017), mikroçip modellerin kullanımı ile daha iyi sağlık hizmeti arayışında, klinik deneylerde kısıtlayıcı uygulamalar olmadan gönüllülük ve onam olmuş olsa bile, insanlarla çalışmaya alternatif arayışı söz konusudur.

Araştırmacılar ‘diş çipi’ olarak adlandırdıkları pulpa-dentin-biyomalzeme arayüzünün yeni bir mikroakışkan modelinin oluşturulduğu bildirilmiştir. Diş çipi olarak isimlendirilen kauçuk slaytlar bir molardan alınan küçük bir dentin parçası içermektedir. Mikroakışkan kanallar dentine sıvıların girişine izin verir. Model, pulpa-dentin arayüzünü çoğaltır ve canlı pulpa hücrelerinin biyomalzemelere nasıl tepki verdiğini anlamasını sağlar (França, 2020).

2.4. Diş Hekimliği Hizmetine İhtiyaç Duyan Bireylere Yönelik Dijital Teknoloji

Koruyucu çalışmalar çerçevesinde, *online* bilgi ile klinik ve operatif olmayan tedavi hizmeti, almaları kolaylaşmıştır. Oyun tabanlı sağlık uygulamaları özellikle ağız diş sağlığını koruma amacıyla diş fırçalama, diş ipi kullanma, bakteri plağını kaldırma gibi işlemlerin aplikatörler ve cep telefonu uygulamaları ile yapılması bireylerin bu konuda ilgisini arttırmaktadır (Love, 2020). Klinik fırçalama programlarının altı eksenli bir robota aktarılması ile fırçalama gücünün, süresinin, fırça dönüşlerinin ve hareketlerinin klinik fırçalamanın parametrelerini yansıtmaları sağlanmıştır. Diş fırçalama robotunun plak kontrolünde etkin sonuçlar verdiği bildirilmiştir (Lang, Staufer, Jennes, & Gaengler, 2014).

Sindirilebilir sensörler ve ağız içine yerleştirilen sensörler beslenme ve hijyen alışkanlıklarını kontrol edip düzenlemeye destek olabilirler. Kişiselleştirilmiş genomik ile sistemik hastalıkların ve ağız diş sağlığını etkileyebilecek değişimlerin önceden belirlenebilmesi olasıdır (Mesko, 2017).

Tele-diş hekimliği sayesinde bireyler yapay zeka ve makine öğrenmesinin kullanıldığı robotik sistemler ve aplikatörler ile randevularını, ilaç takiplerini kendilerine ait laboratuvar sonuçları ve görüntüleme bilgilerini, bir ağız içi kamera ve anlık görüntü ve videoları hekimleri ile sistem üzerinden paylaşabilmekte ve iletişim gerçekleştirebilmekteler.

Sonuç olarak dijital diş hekimliği geleceğin değil günümüzün diş hekimliğidir.

Kaynakça / References

- 3dorganon (2020 ,May, 15). Transform medical education. Retireved from <https://www.3dorganon.com/>. Erişim tarihi 2020 ,Mayıs 15
- Akbulut, U. (2020, February 12). Diş hekimliği, dünyanın en eski mesleklerinden biridir. Retrieved from http://www.uralakbulut.com.tr/wp-content/uploads/2013/07/dis_hekimligi.pdf. Erişim tarihi 2020, Şubat 12

- Alageel, O., Wazirian, B., Almufleh, B., & Tamimi, F. (2019). Fabrication of Dental Restorations Using Digital Technologies: Techniques and Materials. In: Tamimi F., Hirayama H. (eds) *Digital Restorative Dentistry* (pp 55-91). Cham Springer, https://doi.org/10.1007/978-3-030-15974-0_4.
- Anatomage.((2020, March,17). Anatomage-dental, anatomage-medical. Retireved from <https://www.anatomage.com/> erişim tarihi 2020, Mart 17
- Bertoli, E., Lawson, K. P.,& Bishop, S.S. (2018). Dental Students’ Skills Assessments: Comparisons of Daily Clinical Grades and Clinical and Laboratory Assessments. *Journal of Dental Education*, 82(4), 417-423. <https://doi.org/10.21815/JDE.018.045>.
- Blatz, M. B., & Conejo, J. (2019). The Current State of Chairside Digital Dentistry and Materials. *Dental Clinics of North America*, 63(2), 175–197. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2018.11.002>.
- Bogdan, C.M. (2011). Domain ontology of the VirDenT system. *International Journal of Computer Communication & Control*, 6,45–52.Retrievedfrom https://www.researchgate.net/publication/228960777_Domain_ontology_of_the_VirDenT_system. Erişim tarihi 2020, Şubat 17
- Buchanan, J.A. (2001). Use of Simulation Technology in Dental Education. *Journal of Dental Education*, 65(11), 1225-1231. <https://doi.org/10.1002/j.0022-0337.2001.65.11.tb03481.x>
- Casalena, L. (2017 Mar 29). Augmented Reality: is this the future of Implant-prosthetic dentistry? Retireved from <https://www.youtube.com/watch?v=OINjw9Q0Uzk>. Erişim tarihi 2020 ,Mayıs 27
- Cerec. (2020, May 20). CEREC CAD/CAM solutions for dental practices. Retrieved from <https://www.dentsply-sirona.com/en/explore/cerec.html>. Erişim tarihi 2020 Mayıs 20
- Chander, N.G.(2019)Augmented reality in prosthodontics. *The Journal of Indian Prosthodontic Society*,19(4), 281-282. https://doi.org/10.4103/jips.jips_324_19.
- Chen, J.-W., Hobdell, M. H., Dunn, K., Johnson, K. A., & Zhang, J. (2003). Teledentistry and its use in dental education. *The Journal of the American Dental Association*, 134(3), 342–346. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2003.0164>.
- Chung Van, L., Tromp, J.G., & Vikram, P. (2018).Using 3D simulation in medical education: a comparative test of teaching anatomy using virtual reality. Dac-Nhuong Le et al. (eds.), *Emerging Technologies for Health and Medicine*, (21–284) Beverly, MA © Scrivener Publishing LLC
- Codd, A. M., & Choudhury, B. (2011). Virtual reality anatomy: Is it comparable with traditional methods in the teaching of human forearm musculoskeletal anatomy? *Anatomical Sciences Education*, 4(3), 119-125. <https://doi.org/10.1002/ase.214>.
- Connert, T., Zehnder, M. S., Weiger, R., Kühl, S., & Krastl, G. (2017). Microguided Endodontics: Accuracy of a Miniaturized Technique for Apically Extended Access Cavity Preparation in Anterior Teeth. *Journal of Endodontics*, 43(5), 787–790. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.12.016>.
- Coppa, A., Bondioli, L., Cucina, A., Frayer, D. W., Jarrige, C., Jarrige, J. F., M., Macchiarelli, R. (2006). Palaeontology: early Neolithic tradition of dentistry. *Nature*, 440(7085), 755-756. <https://doi.org/10.1038/440755a>.
- Cotton, T.P., Geisler, T.M., Holden, D.T., Schwartz, S.A., & Schindler, W.G. (2007). Endodontic applications of cone-beam volumetric tomography. *Journal of Endodontics*, 33(9),1121-1132. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.06.011>.
- Curnier, F. (2010).Teaching dentistry by means of virtual reality--the Geneva project. *International Journal of Computerized Dentistry*, 13(3), 251-263. <https://ijcd.quintessenz.de/index.php?doc=abstract&abstractID=19490>.
- Dafer, M. (2011, December 15). Simroid Dental Training Humanoid, the Humanoid Robot Patient! Retrieved from <http://www.coolstech.com/simroid-dental-training-humanoid-the-humanoid-robot-patient/>. Erişim tarihi 2020, Mart 12

- Dawood, A., Marti, B.M, Sauret-Jackson, V. & Darwood, A.(2015). 3D printing in dentistry. *British Dental Journal*, 219 (11), 521-529. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/sj.bdj.2015.914>. Erişim tarihi 2020, Ocak 25
- DentSim™ ünit. (2020, January,17). Retireved from www.dentsimlab.com. Erişim tarihi 2020, Ocak 17
- eHuman (2020, May 27). Digital Anatomy. Retrieved from <https://ehuman.com/> Erişim tarihi 2020, Mayıs 27
- Flavián, C., Ibáñez-Sánchez, S., & Orús, C. (2018). The impact of virtual, augmented and mixed reality technologies on the customer experience. *Journal of Business Research*. 100, 547–560.<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.10.050>.
- França, C. M., Tahayeri, A., Rodrigues, N. S., Ferdosian, S., Puppini Rontani, R. M., Sereda, G., ... Bertassoni, L. E. (2020). The tooth on-a-chip: a microphysiologic model system mimicking the biologic interface of the tooth with biomaterials. *Lab on a Chip*, 20(2), 405-413. <https://doi.org/10.1039/c9lc00915>.
- Gupta, S. (2018). *Learning with augmented reality: a platform for higher education learning applications*. (Master's thesis, Northeastern University Boston, Massachusetts). <https://doi.org/10.17760/d20290249>.
- Haidar, Z.S. (2017). Autonomous Robotics:A fresh Era of Implant Dentistry... is a reality! *Journal of Oral Research*, 6(9),230-231. <https://doi.org/10.17126/joralres.2017.072>.
- Hulsmann, M., Peters, O.A., & Dummer, P.M.H. (2005). Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. *Endodontic Topics*, 10(1), 30–76. <https://doi.org/10.1111/j.1601-1546.2005.00152.x>,
- Hurren, E.T. (2008). Whose body is it any way? Trading the dead poor, coroner's disputes, and the usiness of anatomy at Oxford University, 1885-1929. *Bulletin of the History of Medicine*, 82(4), 775-818. <https://doi.org/10.1353/bhm.0.0151>.
- Jiang, J., Zhang, Y., Wei, C., He, T., & Liu, Y. (2014). A Review on Robot in Prosthodontics and Orthodontics. *Advances in Mechanical Engineering*, 7(1), 1-11. <https://doi.org/10.1155/2014/198748>.
- Johnson, L., Thomas, G.W., Dow, S., & Stanford, C. (2001). An initial evaluation of the Iowa Dental Surgical Simulator. *Journal of Dental Education*, 64(12), 847-853. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/12133030_An_initial_evaluation_of_the_Iowa_Dental_Surgical_Simulator. Erişim tarihi 2020, Şubat 17
- Jokstad, A. (2017). Computer-assisted technologies used in oral rehabilitation and the clinical documentation of alleged advantages - a systematic review. *Journal of Oral Rehabilitation*, 44(4), 261–290. <https://doi.org/10.1111/joor.12483>.
- Kattadiyil, M. T., Mursic, Z., AlRumaih, H., & Goodacre, C. J. (2014). Intraoral scanning of hard and soft tissues for partial removable dental prosthesis fabrication. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 112(3), 444–448. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2014.03.022>.
- Kumar, P.Y., Dixit, P., Kalaivani, V., & Rajapandian, K. (2017). Future advances in robotic dentistry. *Journal of Dental Health, Oral Disorders & Therapy*, 7(3), 278-280. <https://doi.org/10.15406/jdhodt.2017.07.00241>.
- Kunkel, T. C., Engelmeier, R. L., & Shah, N. H. (2018). A comparison of crown preparation grading via Prep-Check versus grading by dental school instructors. *International journal of computerized dentistry*, 21(4), 305–311. Retrieved from <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30539172/> Erişim tarihi 2020, Şubat 12
- Kurenov, S. N., Ionita, C., Sammons, D., & Demmy, T.L.(2015). Three-dimensional printing to facilitate anatomic study, device developmenrat, simulation, and planning in thoracic surgery. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 149(4), 973–979. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2014.12.059>.
- Kwak, E. J., Pang, N. S., Cho, J. H., Jung, B. Y., Kim, K. D., & Park, W. (2016). Computer-controlled local anesthetic delivery for painless anesthesia: a literature review. *Journal of Dental Anesthesia and Pain Medicine*, 16(2), 81–88. <https://doi.org/10.17245/jdapm.2016.16.2.81>.
- Lang, T., Staufer, S., Jennes, B., & Gaengler, P. (2014). Clinical validation of robot simulation of toothbrushing - comparative plaque removal efficacy. *BMC Oral Health*, 14(82),1-9. <https://doi.org/10.1186/1472-6831-14-82>.

- Love, J (2020, April 17). Oral-B Bluetooth Connectivity Explained. Retrieved from <https://www.electrictooth.co.uk/oral-b-bluetooth-connectivity-explained/> Erişim tarihi 2020, Nisan 22
- Lovis, C., Spahn, S., Cassoni, N. & Geiss-buhler, A. (2007). Comprehensive management of the access to the electronic patient record: Towards trans-institutional networks. *International Journal of Medical Informatics* 76, 466-447 <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2006.09.014>.
- Luciano, C., Banerjee, P., & DeFanti, T.A. (2009). Haptics-based virtual reality periodontal training simulator. *Virtual Reality* 13(2), 69-85. <https://doi.org/10.1007/s10055-009-0112-7>.
- Marras, I., Papaleontiou, L., Nikolaidis, N., Lyroutdia, & K., Pitas, I. (2006). Virtual Dental Patient: a system for virtual teeth drilling. *Presentation at International Conference on Multimedia and Expo, Toronto, on, Canada, July 09-12.* pp. 665-668. <https://doi.org/10.1109/ICME.2006.262533>.
- Materialise. (2020, May 18). Mimics Innovation Suite. Retrieved from www.materialise.com/en/medical/mimics-innovation-suite Erişim tarihi 2020 Mayıs 20
- Mesko, B. (2017, September 21) The Guide to the Future of Medicine. Retrieved from <https://medicalfuturist.com/guide-future-of-medicine/>. Erişim tarihi 2020, Şubat 12
- Meyn, J. (2015, February 17). SIMROID: Realistic patient robot for dental education and training. Retrieved from <https://www.jmorita-europe.de/en/news-events/latest-news/simroid-realistic-patient-robot-for-dental-education-and-training/306/>. Erişim tarihi 2020, Mayıs 12
- Microsoft. (2020, May 27). HoloLens 2, A new reality for computing. Retrieved from <https://www.microsoft.com/en-us/hololens/hardware>. Erişim tarihi 2020, Mayıs 27
- Monika, Bhaskar, D.J., Agali, R.C., Gupta, V., Jain, A., Garg, Y., & Jain, R. (2015). Teledentistry: An Overview. *Journal of Advanced Medical and Dental Sciences Research*, 3(2):88-91. Retrieved from <http://jamdsr.com/uploadfiles/16.teledentistry.20150524054337.pdf>. Erişim tarihi 2020, Mayıs 18
- Moro, C., Stromberg, Z., Raikos, A., & Stirling, A. (2017). The effectiveness of virtual and augmented reality in health sciences and medical anatomy. *Anatomical Sciences Education*, 10(6), 549-559. <https://doi.org/10.1002/ase.1696>.
- Murbay, S., Neelakantan, P., Chang, J. W. W., & Yeung, S. (2019). Evaluation of the introduction of a dental virtual simulator on the performance of undergraduate dental students in the pre-clinical operative dentistry course. *European Journal of Dental Education*, 24(1), 5-16. <https://doi.org/10.1111/eje.12453>.
- Nayyar, A. & Nguyen, G.N. (2018). Augmenting dental care: a current perspective Dac-Nhuong Le et al. (eds.), *Emerging Technologies for Health and Medicine* (51-284) Beverly, MA © Scrivener Publishing LLC
- Nayyar, N., Ojcius, D. M., & Dugoni, A. A. (2020). The Role of Medicine and Technology in Shaping the Future of Oral Health. *Journal of the California Dental Association*, 48(3), 127-130. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7080193/> Erişim tarihi 2020, Mayıs 1
- Neha, S., Shantipriya, P., Shekhar, K., Smitha, R., Ravichandra, C. & Sindhura, G. (2017). Micro Robot- A Revolution in Endodontics, *Annals of International medical and Dental Research*, 3(4), 6-8. http://www.aimdrjournal.com/pdf/vol3Issue4/DE2_RA_V3N4.pdf. Erişim tarihi 2020, Şubat 20
- Neocis. (2020, May 27). Yomi Robotic Technology. Retrieved from <https://www.neocis.com/technology>.
- Palep, J.H. (2009). Robotic assisted minimally invasive surgery. *Journal of Minimal Access Surgery*, 5(1), 1-7. <https://doi.org/10.4103/0972-9941.51313>.
- Patel, S., Dawood, A., Whaites, E., & Pitt Ford, T. (2009). New dimensions in endodontic imaging: part 1. Conventional and alternative radiographic systems. *International Endodontic Journal*, 42(6), 447-462. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2008.01530.x>.
- Ramiro, G. P., Hassan, B., Navarro, A. F., Coronel, C. A., Cortes, A. R. G., Baptista, O. H. P., & Zambrana, N. R. M. (2019). Digitalization in Restorative Dentistry. *Digital Restorative Dentistry*, 7-39. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15974-0_2.

- Rawtiya, M., Verma, K., Sethi, P., & Loomba, K. (2014), Application of Robotics in Dentistry. *Indian Journal of Dentistry*, 6(4), 1696-1702. <https://doi.org/10.5866/2014.641696>.
- Riki, G. J., & Marjoke Vervoorn, J.B. (2013). Simulation in dentistry and oral health. In: Levine AI, DeMaria S, Schwartz AD, Sim AJ, eds. *The Comprehensive Textbook of Healthcare Simulation* (pp.329-340) New York NY Springer
- Robinson, J., Elkan R. (1996). *Health Needs Assessment*. New York, Pearson Professional Limited.
- Roy, E, Bakr, M.M., George, R. (2017). The need for virtual reality simulators in dental education: a review. *Saudi Dental Journal*, 29(2) 41-47. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2017.02.001>.
- Ruotsalainen, P. (2004). A cross-platform model for secure Electronic Health Re-cord communication. *International Journal of Medical Informatics*, 73, 291-295. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2003.12.012>.
- Sharif, M., Ansari, G.J., Yasmin, M., Fernandes, S. L. (2018). Reviews of the implications of vr/ar health care applications in terms of organizational and societal change Dac-Nhuong Le et al. (eds.), *Emerging Technologies for Health and Medicine*, (pp. 3–284) Beverly, MA, Scriver Publishing LLC
- Shuman, L. (2019, Feb 1st). How artificial intelligence is shaping dentistry AI products are already shaping dentistry. Here are some of the forerunners. *Dental Economics*. Retrieved from <https://www.dentaleconomics.com/macro-op-ed/article/16386252/how-artificial-intelligence-is-shaping-dentistry>. Erişim tarihi 2020, Şubat 15
- Simodont® (2020 ,May, 15). Haptic Technology in Virtual Reality Simodont® Dental Trainer. Retrieved from <https://www.moog.com/markets/medical-dental-simulation/haptic-technology-in-the-moog-simodont-dental-trainer.html>. Erişim tarihi 2020 ,Mayıs 15
- Srilatha, A., Doshi, D., Kulkarni, S., Reddy, M.P., & Bharathi, V. (2019). Advanced diagnostic aids in dental caries – A Review. *Journal of Global Oral Health*, 2(2), 118-127. https://doi.org/10.25259/JGOH_61_2019.
- Stansbury, J. W., & Idacavage, M. J. (2016). 3D printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities. *Dental Materials*, 32(1), 54–64. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.09.018>.
- Strub, J. R., Rekow, E. D., & Witkowski, S. (2006). Computer-aided design and fabrication of dental restorations. *The Journal of the American Dental Association*, 137(9), 1289–1296. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2006.0389>.
- Taner, T., Yılmaz, Z., Kütük, Z.B., Eren, S.K. (2017). Dış Hekimliği Eğitiminde simülasyonu uygulamaları. *Türkiye Klinikleri*, 2(2), 86-95. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/319306701_Dis_Hekimligi_Egitiminde_Simulasyon_Uygulamaları. Erişim tarihi 2020, Ocak 17
- Tse B., Harwin W., Barrow A., Quinn B., San Diego J., & Cox M. (2010). Design and Development of a Haptic Dental Training System - hapTEL. In: Kappers A.M.L., van Erp J.B.F., Bergmann Tiess W.M., van der Helm F.C.T. (eds) *Haptics: Generating and Perceiving Tangible Sensations*. EuroHaptics 2010. Lecture Notes in Computer Science, 6192, (pp. 101–108), Berlin, Heidelberg Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14075-4_15.
- Van Noort, R. (2012). The future of dental devices is digital. *Dental Materials*, 28(1), 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2011.10.014>.
- Vlachos, E. & Schärfe, H. (2013). The geminoid reality. Conference Paper in International Conference on Human Computer Interaction, *Communications in Computer and Information Science*, 374, 621-625, https://doi.org/10.1007/978-3-642-39476-8_125.
- Voxel-man (2020 ,May, 15). Visual and Haptic Simulation. Retrieved from <https://www.voxel-man.com/> Erişim tarihi 2020 ,Mayıs 15
- Wang, D., Li, T., Zhang, Y., Hou, J. (2016). Survey on multisensory feedback virtual reality dental training systems. *European Journal of Dental Education*, 20(4), 248–260. <https://doi.org/10.1111/eje.12173>.
- Wang, J., Suenaga, H., Yang, L., Kobayashi, E., & Sakuma, I. (2016). Video see-through augmented reality for oral and maxillofacial surgery. *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, 13(2), e1754. <https://doi.org/10.1002/rcs.1754>.

- Wu, Y., Wang, F., Fan, S., & Chow, J. K.-F. (2019). Robotics in Dental Implantology. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America*, 31(3), 513-518. <https://doi.org/10.1016/j.coms.2019.03.013>.
- Xu, W.L., Bronlund, J.E., Potgieter, J., Foster, K.D., Röhrle, O., Pullan, A., & Kieser, J. (2008). Review of the human masticatory system and masticatory robotics. *Mechanism and Machine Theory*, 43(11), 1353-1375, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2008.06.003>.
- Yan, A. (2017, Sep 21).Chinese robot dentist is first to fit implants in patient's mouth without any human involvement Retireved from <https://www.scmp.com/news/china/article/2112197/chinese-robot-dentist-first-fit-implants-patients-mouth-without-any-human>. Erişim tarihi 2020 ,Mart 15
- Yu, J., Ferniany, W., Guthrie, B., Parekh, S.G.,& Ponce, B. (2016). Lessons learned from googleglass: telemedical spark or unfulfilled promise? *Surgical Innovation*, 23, 156–165. <https://doi.org/10.1177/1553350615597085>.
- Yuan, F., Wang, Y., Zhang, Y., Sun, Y., Wang, D., & Lyu, P. (2016). An automatic tooth preparation technique: A preliminary study. *Scientific Reports*, 6, 25281. <https://doi.org/10.1038/srep25281>.
- Zhou, F., Duh, H.B., & Billinghurst, M. (2008). Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR. *2008 7th IEEEACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, 2(4), 193–202. <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2008.4637362>.