

## BÖLÜM 2

# DİŞ HEKİMLİĞİNDE ROBOTİK, MİKROBOTİK ARAÇLAR VE İNSANSI ROBOTLAR

**Kerem YILMAZ<sup>1</sup>**

### GİRİŞ

Sıkıcı ve zahmetli olan birçok iŐ, robotik ve yapay zekadaki teknolojik gelişmeler sayesinde, artık günümüzde otomatik olarak yürütülebilmektedir. Robotik ve mikrorobotik araçlar yaygın olarak kullanılmasına rağmen, insanların yerine geçmek üzere tasarlanan robotlar henüz az sayıda kullanılmaktadır. Robotlar, bir dizi karmaşık işlemi otomatik ve manuel gerçekleştiren makinelerdir (1, 2).

Sağlık hizmetlerinin verimliliği ve kalitesini artırmak için robotik sistemlerin standartlaştırılmasına dair sıkı bir çalışma söz konusudur. Diş hekimliğinde insan eli titremesini ortadan kaldırmak fikri ile kullanılmasına karar verilen robotlar, diğer yandan kalifiye eleman sayısı az olan ülkelerde insan kaynaklarına katkı sağlar (3, 4).

Hekimlerin çalışma pozisyonlarının iyileŐmesi ve profesyonel ömürlerinin uzamasına fayda sağladığı bildirilen robotik sistemler, diş hekimliğinin birçok farklı disiplininde kullanılmaktadır (5, 6). Ancak insansı robotlar bunun aksine henüz yeterince kullanım sıklığına sahip değildirler. Sebep olarak, manipülasyon ve duyuusal öğrenme yetilerinin az olması, yüksek maliyetleri ve zor iŐletim sistemlerine sahip olmaları söylenebilir. Zahmetli teknolojik hazırlığa gereksinim duyan robotlar, sektör tarafından henüz yeterince talep edilmemekte ve ayrıca hastalar, robotlarla tedavi olmak konusunda Őüphe duymaktadırlar (7-9).

---

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Antaya Bilim Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi AD.,  
kerem.yilmaz@antalya.edu.tr

## **ROBOTİĞİN TARİHİ**

Endüstride başarılı şekilde kullanılan robotik sistemler, buradan feyzalınarak tıpta kullanılmaya başlanmıştır (2, 10). Bu amaçla ilk defa, 'PUMA 560' ismindeki robotik sistem, bilgisayar tomografisi (BT) ile beyin biyopsisi işlemini gerçekleştirmiştir (2, 11). Günümüzde Vinci robotik cerrahları, genel cerrahide güvenle kullanılmaktadır (12, 13).

Robotik teknolojinin diş hekimliğindeki gelişimi, büyütme amacıyla robotik ve mikrorobotik araçların geliştirilmesiyle olmuştur. İş daha ileriye götürmek isteyen bilim adamları, robotik ve mikrorobotik araçları kullanarak insansı robotları üretmeye başlamıştır (14).

Robotların kullanımı, NASA'ya (Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Merkezi) dayanır. 1980'lerin ortalarında, hem savaş hem uzayda kullanmak üzere uzaktan kumandalı bir robotik sistem geliştirilmiştir. 2000'li yıllarda FDA (Amerikan Gıda ve İlaç Kurumu) laparoskopik cerrahide kullanmak üzere, bir doktor-robot sistemini onaylamıştır. Telebulunuşun (doktorların başka yerdeki hastayı tedavi etmesi) ilk örneği, doktor-robot sistemi ile yapılan kıtalararası canlı koloesistektomi işlemidir (15).

Tıbbi robotik endüstrisi, son zamanlarda odağını, otonom robotik teknolojiye kaydırmıştır. Robotlar kişi tarafından sürekli takip edilmeden işlemlerini kendileri yapabilmektedirler. Günümüzde kanser tedavisi için enjekte edilebilir mikrorobotların yapılması dair çalışmalar öngörülmektedir (16).

## **DIŞ HEKİMLİĞİNDE KULLANILAN ROBOTİK, MİKROROBOTİK ARAÇLAR VE ROBOTLAR**

Robotik, mikrorobotik araçlar diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılmasına rağmen, insan benzeri robotların kullanımı henüz emekleme aşamasındadır.

### **Endodonti**

Dental operasyon mikroskopları (DOM) ve endoskoplar, endodontide yaygın kullanılan robotik araçlardır. 2-30 kez büyüme yapabilen DOM'lar, robotik mikroskopinin vazgeçilmez parçalarıdır (17, 18). DOM'ların alternatifi olan endoskoplar, ağız içi kamerası, prob ve bilgisayardan oluşan tıbbi cihazlardır. Kök kanal tedavisi sırasında yüksek çözünürlüklü, non-invaziv gözleme olanağı sağlayabilen endoskoplar, derin kök yüzeyindeki kollateral kanalların izlenmesinde henüz yeterince başarılı görülmemektedir (19, 20).

Aşırı büyütme sağlayan mikrorobotik araçlar, erken çürüklerin, mikro sızıntının ve dentin yapısındaki bozuklukların tespitinde faydalıdır. İlaveten, dolguların hassas yapımında (21), kök kanalı iç duvarlarındaki kırık hatlarının (22) ve kanal giriş yerlerinin tespitinde (23) kullanılabilirler.

Keles ve ark. (24) yaptıkları mikrobilgisayarlı tomografi çalışmasında, kök kanal anastomozlarının yerinin tespiti üzerinde durmuşlar; kanal iç duvarındaki ayrışma noktalarını saptamada, dental operasyon mikroskobunun başarısız, endoskopların ise %23 oranında başarılı olduğunu saptamışlardır.

Mikrorobotik büyütme aletlerinin diğer kullanım alanları; furkal perforasyon, kanal nakli, strip perforasyon, kök perforasyonu, alet çıkarma, travma ve periradiküler cerrahi üzerinedir (25, 26).

Endodontide robot kullanılmasına dair çalışmalar da vardır: Kök kanal tedavisi sırasında hekime tedavi aletlerini sunan bir otomat tanıtılmıştır (27). Janet Dong ve ark. (28), endodontik tedavide kullanmak amacıyla başka bir mikrorobot bildirmiştir. 2010 yılında, Z eksen aktüatörlü bir mikro makine üretilmiş ancak geliştirilmesi gerekliliği belirtilmiştir (29).

Yakın zamanda yayınlanan bir rapor (30), kök kanalındaki biyofilmlerin bozulmasını sağlayan mikrorobotların üretildiğini ve test edildiğini bildirmiştir. Araştırmacılar bu mikrorobotların peri-implantitis ve diş çürükleri tedavisinde de kullanılabileceğini açıklamışlardır.

## **Periodontoloji**

Subgingival küretaj ve detertraj amacıyla DOM'lar kullanılabilir (31). Periodontolojide kanıtlanmış uygulamalar olan robotik mikroskobik uygulamaların aksine, dişleri temizlemeye yönelik az sayıda robot uygulamaları vardır (31, 32).

İn vitro robotik fırçalama ile klinik el fırçalama etkinliğini karşılaştıran bir laboratuvar çalışmasında (33), robotik fırçalama el ile fırçalama kadar başarılı bulunmuştur. Bu amaçla, 'Braun Oral B Ultra Plak Kaldırıcı' adında bir robot geliştirilmiştir. Dişler arası penetrasyonu artıran hibrit fırça başlığı (EB9) ve daha yüksek hareket (63 Hz, 3800 vuruş/dakika- D9 sap) sayesinde, yapay plak ciddi ölçüde kaldırılmıştır. Gaengler ve ark. (34), tekrarlanabilir, hızlı fırçalama yapabilen robotik bir program geliştirmiştir. Araştırmacılar, el ve şarjlı cihazlarla diş fırçalama yöntemlerinin bilgisayar destekli planimetrik plak değerlendirmesi ile analiz edildiği çalışmanın, başka çalışmalara öncü olabi-

leceğini savunmuşlardır. Ernst ve ark. (35), benzer şekilde, 3D fırçalama hareketlerini zamana bağlı olarak canlandıran bir robot sistemini tanıtmışlardır. İn vitro sonuçlar, robotik sistemlerin diş fırçalama etkinliğini önemli ölçüde artırdığını göstermektedir.

## **İmplantoloji**

Sinüs lifting ile beraber yürütülen implant cerrahisinde, lifting yapılan alanı daha net kullanabilmek adına endoskopik moniterizasyon sistemleri önerilmektedir (36). Robotik araçların bir diğer kullanım alanı bilgisayarlı tomografi ve protez rehberliğinde yürütülen implant yerleştirme operasyonlarıdır (37).

Mevcut drill şablonlu rehberlik sistemleri, gelişen teknolojiyle beraber cazibesini yitirmekte ve robotların kullanılabilirdiği implant cerrahileri gündeme gelmeye başlamaktadır (7, 38, 39). Günümüzde daha doğru ve güvenilir drilleme yapabildiği iddia edilen robotik drilleme ve otonom robot sistemlerine doğru bir kayış vardır (40, 41).

Robotik drilleme tekniğinde, hastanın çenesi sabitlendikten sonra, çok ince iğneler kemik yerini saptamak amacıyla dişetine adapte edilir. Buradan alınan verilerle BT verileri kıyaslandıktan sonra, frezler kendi kendilerini yönlendirir, gerekirse hekim aksiyona yön verebilir (42, 43).

2002 yılında, Boesecke ve ark. (44, 45), ilk robot eşliğinde implant uygulaması işlemini sundu. Bir robot sistemi, apikal sınıra 1-2 mm mesafede olacak şekilde, 70 cm'lik bir alanda 48 adet implant yerleştirdi.

2012 yılında, Mitsubishi adında, koordinat ölçüm cihazlı, 6 serbestlik derecesine (DOF) sahip bir robotik sistem, hacim ayrışması tekniğini kullanarak kök şekilli bir implant yerleştirdi (46, 47). Bu çalışmanın ardından, stereo kameralı, 3 DOF'lu, el parçası algılayabilen ve operasyon öncesi protokolü uygulamak üzere tasarlanmış başka bir robotik sistem geliştirildi (48). Cao ve ark. (49), zigoma implantında kullanılmak üzere otomatik drilleme algoritmasına sahip cerrahi navigasyonlu UR robotunu geliştirdi. Fantom üzerinde yapılan çalışmalarla, cihazın doğruluğu el manipülasyonu ile benzer hale getirilmeye çalışıldı.

FDA onaylı ilk bilgisayarlı robotik navigasyon sistemi olan YOMI (Neocis, Amerika Birleşik Devletleri), 2017 yılında geliştirildi. YOMI'nin sahip olduğu dokunsal robotik teknoloji, drill derinliği, yön ve konum hakkında fiziksel rehberlik sağlamaktadır. Bu sayede, spesifik cerrahi rehber üretilmesinin ve operatör kaynaklı el sapmalarının önüne geçilebilmiştir. Elle yönetilen başlat-

ma sistemi ve titreşimsel geri bildirim kullandığı için yüksek öngörülebilirliğe sahip olan YOMI, pahalı ve gözetim altında çalışması gereken bir cihazdır (50).

Aynı yıl, dünyanın ilk otonom implant yerleştirme sistemi tanıtıldı. Cerrahi prosedürler diş hekimi tarafından herhangi bir müdahale olmaksızın yürütülebilmekte ve yüksek özerklik ile otomatik olarak değiştirilebilmekteydi. İmplant konumlandırılmasının güvenilirliği ve zeka kararlarının doğrulanmasındaki noksanlıklar eksik kalan yönlerdir.

Yine aynı yıl, Çin'deki bir askeri hastane ve Pekin Üniversitesi işbirliğinde, otonom diş implant robotu geliştirildi. Robot, DentalNavi yazılımı ve görüntülü implant klavuzu içermektedir. Dişsiz modellere yerleştirilen implantlardaki sapma payları, operasyon öncesi ve sonrası BT'lerle analiz edilmiş; mükemmel sonuçlara ulaşılmıştır (51, 52).

5 cm'lik zigoma implantlarının in vitro yerleştirildiği (53) ve 6 eksenli robotik kolun zigoma implantları uyguladığı (54) başka çalışmalarda da başarılı bulgular ortaya koymuş, araştırmacılar robotik sistemlerin dokunsal araç kullanarak geri bildirim yapabilme özelliğine sahip olması gerektirdiklerini bildirmişlerdir.

2021 yılında Feng ve ark. (55), deformasyon yapmaya elverişli olan seri robotların bu dezavantajını ortadan kaldırmak amacıyla, küçük çalışma alanına ve kapalı sisteme sahip olan paralel robotla seri robotun kombine edildiği robotik sistem geliştirdi. Ancak silikal jel deformasyonuna bağlı işleyen kuvvet sensörü mekanizması nedeniyle, planlanmış drill yönünde sapma meydana gelebileceği bildirildi.

Robotlar alveol kemiğin önemli derecede kayba uğramış olduğu çenelerdeki implant vakalarında da kullanılabilir (46). Endüstriyel robotların fantomlar üzerinde implant uyguladığı çalışmalar da vardır (49, 56). 6 DOF'lu endüstriyel robotların, implant yerleştirme sırasında  $1.42 \pm 0.70$  mm'lik yerleştirme varyasyonu ve  $\pm 0.02$  mm tekrarlanabilir konumlandırma kabiliyeti sunabildikleri gösterilmiştir (47).

## **ORAL VE MAKSİLLOFASİYEL CERRAHİ**

Çene cerrahisinde robotik araçların ilk kullanımı, tümör ve kistlerin mikroskoplarla postoperatif gözlemi şeklindeydi. Mikrocerrahinin gelişmesiyle beraber, mikrosütür, küçük kan damarlarına sütür, kist ve kanser tanısı, tümör rezeksiyonu, sinir onarımı ve temporomandibuler eklemin endoskopik cerrahisi

gibi çeşitli işlemler için robotik ve mikrobotik araçların kullanımı yaygınlaştı (57, 58).

Orofaringeal karsinomların tedavisinde robotik cerrahi kullanılabilir (9, 37). 2009'da FDA, malign hastalıkların bir kısmı ve tüm benign lezyonların transoral tedavisinde 'Vinci sistemi'ni onaylamıştır (7, 59). Ameliyat alanının daha iyi görülmesini sağlayan 'da Vinci robotu' sayesinde, ağız boşluğundan üst aero-sindirim sistemine bile ulaşılabilir (60, 61). Stereoskopik görüş ve çok eklemlili aletlere sahip oluş gibi özelliklerinden ötürü transoral robotik cerrahi, minimal invaziv teknikle orofarenkse ulaşmaya olanak sağlar (37). Robot yardımcı cerrahi, benzer olarak, düşük riskli oral skuamoz karsinom tedavisi için de kullanılabilir (37, 62).

Transoral robotik cerrahinin bir başka kullanım alanı, obstrüktif uyku apnesi tedavisidir (63, 64). Transoral robotik cerrahiyle obstrüktif uyku apnesinin tedavi edildiği bir çalışma (65), minimal morbidite ve hastalar tarafından iyi tolerasyon şeklinde sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Robotik cerrahi, yarık damak hastalarında da kullanılmıştır. Araştırma sonuçları, cerrahi verimliliğinin arttığını, kan damarları, damak kasları, sinirleri ve mukozasına verilen zararların azaltıldığını göstermiştir (66, 67).

Zaman içerisinde, ağız diş ve çene cerrahisinde, robotik araçlardan robotlara doğru bir kayış meydana gelmiştir. Robotların konum algılama ve operasyonel başarılarını araştıran bir çalışmada (68), cerrah gözetiminde maksillofasiyal cerrahi yapan otonom robotik sistem önerilmiştir. 3D basılan insan modelinde, robot ve navigasyon modüllerinin kesintisiz kullanımıyla yapılan delme testinde, çene pozisyonundan bağımsız, başarılı, robotlu bir ameliyat gerçekleştirmiştir.

Miyofasiyal ağrı, ağız açmada kısıtlılık ve kas sertliği semptomlarını tedavide kullanılan, masaj ve egzersiz uygulayan masaj ve ağız eğitim robotları geliştirilmiş, etkinlik seviyesinin %70 olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, TME hastalıklarının nörolojik rehabilitasyonu için de robotlar geliştirilmiştir. Hasta etkileşiminin rahat olmasını sağlayan yumuşak pnömatik aktüatörlere sahiptirler. Omuza monte edilmiş ya da EMG ve EKG tabanlı geri bildirim sunan çeşitli tipleri vardır (69-71).

Robot yardımıyla ortognatik cerrahi günümüzde mümkün olmaktadır (72). Woo ve ark (73), ortognatik cerrahide kullanılmak üzere 6 DOF'lu robotik bir kol üretilmiştir. Ameliyat öncesi BT'si ile pozisyonlandırma yapılmış

fantomda, hasta hareketlerinin gerçek zamanlı takip edildiği bir ameliyat gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, yazılımın yükseltilmesi ve donanımın geliştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır.

## **PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ**

Diş operasyon mikroskopları, diş preparasyonunun bitiş çizgisinin izlenmesi amacıyla kullanılabilir (74). DOM'lar, preparasyon sırasında oluşan çatlakların kontrolü ve polisaj aşamasında da kullanılabilir (7, 74).

CAD/CAM (bilgisayarlı tasarım ve üretim) ve 3B yazıcı sistemleri, protetik diş tedavisinde robotik teknolojinin kullanıldığı diğer alanlardır. Mekanik açıdan bakıldığında, CAD/CAM sistemleri ve 3B yazıcılar, sıfırdan nesnelere yaratılmasına olanak sağlayan robotik aygıtlardır (75). Bu cihazlar ile konvansiyonel tekniğe kıyasla daha hatasız ve uyumlu restorasyonlar yaratabilmektedir. Diş hekimliğinde CAM uygulamaları eksiltme veya ekleme yöntemleri ile çalışır. Eksiltme yönteminde bloktan frezeleme ile örnekler çıkartılırken, ekleme yönteminde dental nesnelere katman katman ilave edilerek oluşturulur. (76-78).

Protetik diş tedavisinde robotların kullanılmasına dair çalışma sayısı azdır (79, 80). Bu az olan çalışmaların birisinde, Kanadalı bilim adamları tam protez yapımı amacıyla, 6 DOF'lu ve tek manipülatörlü bir robotik sistem geliştirmişlerdir. Sistem aşağıdaki parçalardan oluşur: (a) ışığa duyarlı tutkal; (b) ışık kaynağı cihazı; (c) protez tabanı; (d) kontrol ve hareket merkezi; (e) robot modülasyon yazılımı; (f) bilgisayar; (g) elektromanyetik tutucu; (h) 6-DOF CRS robotu. OpenGL ve VC++'lı 3D diş dizim programına sahip olan robotik sistemin tekrarlayabilirlik hassasiyeti  $\pm 0.05$  mm, maksimum hat hızı 4.35 m/sn ve maksimum yükü 3 kg'dir (81, 82).

Bundan başka, MOTOMAN UP6 robotlu, 'TAMFH' adı verilen çok parmaklı bir diş dizim robotu geliştirilmiştir. Robotun 3 parmağı ve her parmağın 3 DOF'u vardır. Çok parmaklı el ile diş dizimi gerçekleştiren robotun karşılaştığı problem, karmaşık morfolojilerinden dolayı dişleri tam olarak kavrayamamasıdır (83-85).

Kızak mekanizması ve diş arka güç ünitesi bulunduran 14 bağımsız manipülatörlü, 50 DOF'lu bir robotik sistem vardır. Aksiyon mekanizmasının ayarlanması kolay olan bu robotik sistemle tam protez yapımı sadece yarım saat sürmektedir. Tek manipülatörün tekrarlanan konumlandırma hassasiyeti

$\pm 0.07$  mm, tüm robotik sistemin  $\pm 0,10$  mm'dir (7, 86, 87).

İlaveten, literatürde, in vivo olarak diş kesimi yapabilen mekatronik bir sistem tanıtılmıştır. Sonuçlar olumlu olmasına rağmen, klinik kullanım için henüz uygun olmadığı bildirilmiştir (80, 88).

Yuan ve arkadaşlarının (89) ürettiği bir robotik sistem, aşağıdaki parçalardan oluşmaktadır: (a) hedeflenen diş robotik aletle ilişkilendirip yandaki diş lazer kesiminden koruyan diş fikstürü; (b) 6-DOF robotik kol; (c) sert doku kesimine uygun düşük ısıli lazer; (d) lazerin 3D hareket yolunu ve diş kesiminin şeklini tasarlayacak CAD/CAM yazılımı ve (e) ağız içi 3D tarama makinesi (8, 89).

Psikosaniyeli lazer cihazlı ve klinik hassasiyet değerleri kabul edilebilir (yaklaşık  $0.089 \pm 0.026$  mm hata payı) bir diş kesim mikrorobotu geliştirilmiştir (80). Elmas kesicili robotik sistem ve diş hekimi, diş kesimi yönünden kıyaslandığında, yaklaşık 40  $\mu$ m tekrarlama kabiliyeti gösteren robot, bu haliyle diş hekiminden daha başarılı bulunmuştur (90, 91).

## **ORTODONTİ**

Maloklüzyon tedavisinde kullanılan ortodontik ark telinin bükme işlevini yerine getiren robotik sistemler üretilmiştir (85, 92).

SureSmile, masa veya düz bir tabana monte edilen bir robottan oluşur (93). Tel, ilk kavrama aletiyle tutulur veya mobil bir kola entegre edilir ya da tabana sabitlenir. İkinci kavrama aleti 6 DOF'lu robotik kolun çevresine, proksimal parçası ise çeşitli eksenlerde dönme hareketi yapabilen distal bir uca monte edilir. Ortodontik ark telinin nihai morfolojisini elde etmek için gerekli olan aşırı kıvrımları tanımlama amacıyla kavrama aletlerine eklenen kuvvet sensörleri, aynı zamanda elektriğin tel üzerinden aktığı bir ısıtma sistemine sahiptirler (94, 95).

Gilbert (96), hızlı ve doğru şekilde tel bükmeyi başarabilen LAMDA'yı (lingual ark teli üretim ve tasarımı) tanıtmıştır. Sistem yalnızca XY düzleminde hareket edebilmekte, kapalı döngüde bükme işlemini gerçekleştirememektedir.

MOTOMAN UP6, tel bükme aktüatörü ve bilgisayardan oluşan bir robot sistemidir. 'MOTOMAN' adlı robotun görev yaptığı sistem, ark telinin optimizasyon açısı, kinematik özellikler ve eğilme özellikleri hakkında analizler yapabilmektedir (42).



Ayrıca, kartezyen tip ortodontik ark teli bükme, Solidworks yazılımı ile ortodontik tel bükme ve 3. derece saf S acc/dec robot sistemleri gibi başka robotik ortodontik tel bükme sistemleri de vardır (85).

## **ORAL DİAGNOZ VE RADYOLOJİ**

Kansere dönüşme potansiyeli taşıyan mukozal hastalıklarda tanı koyma, önemli bir işlemdir. Patolojik incelemelerden sonra hücreler robotik veya mikrorobotik aletlerle gözlemlenir (7, 97-99). Günümüzde her ne kadar, mikroskop ve endoskop gibi tanıya yardımcı robotik araçlar mevcut olsa da insansı robot sayısı henüz çok azdır (6).

Radyologların radyografi alanından uzak tutulması amacıyla DOF'lu robotik sistemlerin üretilmesine başlanmıştır (100, 101). X-ışını kaynağı ve sensörün/filmin 6-DOF'lu robot kolu ile gerçekleştirildiği bir çalışmada (100), robotik sistemin üstün hizalama ve tekrarlanabilirlik kabiliyetlerine sahip olduğu açıklanmıştır.

Burdea ve ark. (102), metal alt yapı uygulamalarıyla ilgili analiz için 6 DOF'lu robotik bir sistem tanıttı. Bulgular, hasta ağızında metalik alt yapı olmasının robotik sistemin çalışabilirliğine olumsuz etki etmediğini göstermiştir. Diğer bir çalışmada (103), kafa hareketini 3D görüntüleyebilen, tam donanımlı kafataslı robotik bir uygulama geliştirilmiştir.

## **PEDODONTİ**

Çocuklarda, stres ve kaygı kaynaklı ağrını azaltılmasına yönelik, insansı robotlar mevcuttur. 'Dikkat kapasitesi teorisi'ne göre, dikkat dağıtıcı uyarıların çocukların dikkatini çekmesi için ağırlı uyarıdan daha yüksek olması gerekir (104).

Yujin Robot tarafından geliştirilen iRobiQ insansı robotunun vücudundaki dokunmatik LCD ekran ve yüzündeki ve ellerindeki çok renkli LED'ler, duygu iletimini gerçekleştirir. Kore'de uzun süre kullanılan robot, mutlu, üzgün, şaşırılmış ya da kızgın gibi davranabilir (105).

## **DENTAL DEĞERLENDİRME ROBOTLARI**

Stomatoloji, gıda bilimi ve çene hastalıkları tedavisi ve yeni geliştirilen dental implant ve materyallerin testi için çene hareketleri ve diş aşındırmasını simüle eden robotlara ilgi büyüktür (106, 107).

Dental materyallerin testi için üretilen bir 3D çiğneme robotu, iki sistemlidir: Birinci sistem, motorun hareketli olan Stewart platformuna geri besleme sinyalleri ve emir veren endüstriyel bir bilgisayardır. Stewart platformu, birbirinin aynısı, simetrik altı kinetik bacak ile sabit bir tabana bağlanan bir platformdur. Diğer sistem, veri kütüphanesi oluşturur. Buna ek olarak, robotik bir kolla dental ölçü materyali testi yapıldığı bir çalışma daha vardır (2, 108).

Dental prosedürler sırasında aktif robot yardımını inceleyen bir çalışmada, tüketiciler için hazırlanmış çok düğümlü bir iletişim modeli incelenmiştir. Bu model, görsel mimikler, dokunmatik ekran ve iki taraflı robot-insan iletişimden oluşmaktadır. 7 DOF'lu robotik sistem kullanılarak yapılan çalışmada, robot-insan iletişiminin tüketici eğilimlerine olan etkisi değerlendirilmiştir (4).

## **ROBOTİK OKLÜZAL ANALİZ**

Artikülasyon kâğıdı oklüzal çatışmanın gücü hakkında bilgi vermeyen bir indikatördür (109). 1987'de üretilen 'T-Scan' adlı bilgisayarlı oklüzal analiz sisteminin, geleneksel yöntemin bu handikabını ortadan kaldırdığı iddia edilmektedir (110, 111).

T-Scan'ın güncelleştirilmiş versiyonu olan T-Scan 3, oklüzal kuvvetleri kaydeden sensör, veri aktarım modülü, yazılım programı ve görselleştirme monitöründen oluşmaktadır. Veriler 2D ve 3D görüntülerle izlenebilmektedir (110, 112).

## **SANAL ARTİKÜLATÖR**

Dijital verilerin sanal artikülatöre aktarılması, güvenilir, ölçülebilir ve tekrar edilebilir artikülasyon işlemi yapabilmenin önünü açmıştır. Sanal gerçekliği kullanarak yürütülen bu protokolda, tarayıcı, kamera ve bilgisayar yazılımından faydalanılır (113).

Statik ve dinamik oklüzyonu ayarlayabilen ve kondiller arası eksene çene hareketlerini taşıyabilen sanal artikülatörler sayesinde, oklüzal çatışmaların önüne geçilebileceğine inanılmaktadır (113, 114). Sistemin başarısını sorgulatan en büyük etken, hizalamalar yanlış ayarlandığında kümülatif hatanın oldukça büyük olma ihtimalidir (115).

## **NANOROBOTLAR**

İnsan vücudu içinde serbestçe difüzyon ve hücrelerle etkileşime geçme yeteneklerine sahip olan nanorobotlar, nanometrik çözünürlükteki mikroskobik

nesnelerdir. 0.5-3 mikron çapında ve 1-100 nm boyutunda olan nanorobotlar, metalik nano iletkenlerden üretilirler (116, 117).

Diş macunları veya ağız gargaralarının içlerine yerleştirilen 1-10 mikron büyüklük ve 1-10 mikron/sn hıza sahip 'dentifrobot' adındaki nanorobotların, ağız ve diş sağlığının korunmasına faydalı olacağı bildirilmektedir (118, 119).

Diş hekimliği tedavisi verilerinin, insan dokusu içerisine girerek sinir hücresi impuls trafığını izleyip değiştirebildiği öngörülen nanorobotlara, in vivo akustik sinyaller ile iletilebileceğine inanılmaktadır (120, 121).

Nanorobotların iddia edilen diğer kullanım alanları; lokal anestezi, kalıcı hipersensitive, bleaching, estetik işlemler, ortodonti, maksillofasiyal cerrahi, diş tamiri, çürüklü kavite preparasyonu ve restorasyonu, oral kanser teşhis ve tedavisi ve lokal ilaç iletimidir (119, 122).

## **İNSAN BENZERİ ROBOTLAR**

1900'lerin başlarında diş hekimliği öğrencilerinin klinik öncesi eğitimleri için fantom adı verilen hasta robotlar geliştirilmiştir. Bu robotlar baş ve diş parçalarından ibaretti. Günümüzde yapay zekanın katkısıyla gerçekçi robotlar üretilmektedir (3, 123, 124).

2017 yılında diş hekimliği eğitiminde insansı kullanılması deneyi yapılmıştır. Diş hekimliği öğrencilerinin standart maketler yerine robot hasta ile eğitime olan yatkınlığının araştırıldığı deneyde, 165 cm boyunda ve metal bir iskelet üzerinde vinil-klorür bazlı sakız desen derili, 'Hanako' isminde bir insansı (tüm vücut robot) kullanılmıştır (125). El bileği, dirsek, dil ve çene hareketleri gerçekleştirebilir, ağrı duyunca başını sallayabilir, göz kırparabilir, gözlerini yuvarlayabilir, esneyebilir, hapşırabilir, başını sallayabilir, öksürebilir, yorgunluk tepkisi verebilir ve rahatsızlığını sözlü olarak ifade edebilir, hatta tükürük akışı ve kanamayı indükleyecek fonksiyonları ve uvula sensörünü kullanarak kusma refleksini simüle edebilir (126). Diğer bir çalışmada, Tanzawa ve meslektaşları (127), diş hekimliği öğrencilerinin acil durumlara alışmalarına yardımcı olmayı amaçlayan tıbbi acil durum robotu geliştirmişlerdir.

Uzaktan kumanda ile kontrol edilebilen Geminoid, hareketleri üstün teknolojiyle yakalar. Geminoid ailesinden Geminoid F, gerçekçi yüz mimiklerine, baş hareketlerine ve gülme fonksiyonuna sahiptir (3, 124).

Nippon Üniversitesi'nde geliştirilen 'Simroid' isimindeki robot, ağız çevresindeki sensörler sayesinde ağrı ve rahatsızlıkları hissedebilir, olumsuz tepki

verdikten sonra öğrencilerin tepkilerini ölçebilir, konuşma ve tanıma yeteneği sayesinde sorulara veya komutlara yanıt verebilir, hatta öğrencilerin tedavi süreçlerini iki kamera ile izleyip değerlendirme yapabilir (2, 128).

Osaka Üniversitesi'nde geliştirilen Actroid, android bir robottur. Konuşma ve acıya karşı tepki verme ve kamera sayesinde tedaviyi derecelendirme yetisine sahiptir (129).

Bunlara ek olarak, hastalara diş temizleme prosedürü gösteren 'Robotutor' adında bir robotik sistem vardır. Her ne kadar hastalar tarafından, ses-video veya diş hekimi ile eğitime kıyasla daha ilgi çekici olduğuna dair geri bildirim olsa da verimlilik açısından diş hekimlerine kıyasla daha başarısız görülmüştür (130).

## **SANAL GERÇEKLIK SİMÜLATÖRLERİ**

Diş hekimliği eğitiminde, dokusal cihazlara sahip gerçeklik laboratuvarları çok popülerlik kazanmakta ve öğrencilerin öğrenme etki ve verimliliği artırmak adına diş hekimliği müfredatının önemli bir unsuru haline gelmektedir (131, 132).

Bir araştırmaya göre (131), sözlü ve dokusal geri bildirimle birleştirilen sanal gerçeklik eğitimi, diş hekimliği öğrencilerinin temel motor becerilerini geliştirmede en etkili yoldur. Bu sistemler çoğunlukla, diş üniti, diş hekimi aynası ve haptik esaslı bir döner aletten (aerator veya mikromotor) oluşur (131, 133).

Oral anestezi eğitimi ve dental implantların yerleştirilmesi için dokusal cihaz ve sanal gerçeklik kullanımı inceleyen çalışmalar vardır (134, 135). Ayrıca bir raporda (136), diş hekimliği öğrencilerinin gerçekçi diş pulpası boşlukları ve diş çürükleri tasarlanmış 3D insan dişi baskılarında öğrenme deneyimleri incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, öğrencilerin simüle edilmiş 3D baskılı dişler üzerinde protetik diş tedavisi için fikirler üretebilecekleri bildirilmiştir.

DentSim simülatörü, gerçek öğrenci hareketlerini anında geri bildirim ile sanal gerçekliğe dönüştürme teknolojisi kullanılır. DentSim yazılımı ile çalışan fantom, diş hekimliği el aletleri, döner enstrümanlar ve optik izleme sisteminden oluşur. Kullanıcı hareketleri kızılötesi kamera tarafından izlenip bilgisayara kaydedilir (137).

HapTEL gerçeklik simülatörü, aerator ve mikromotor basıncını hissedebilir. Öğrencilerin motor becerilerini geliştiren sistem, aerator veya mikromotorun hızını kontrol edebilme özelliğine sahiptir (138).

Öğrencilerin diş hekimliği aletleri ile periodonal muayene ve tedavi yapabildikleri 'PerisoSim' adında bir dokunsal sanal gerçeklik simülatorü de vardır (139).

## **SONUÇ**

Diş hekimliği, robot destekli ve veri odaklı yeni bir bilim dünyasına doğru yola çıkmaktadır. Robotik ve mikrorobotik araçların kullanım sıklığı giderek artıyor olmakla beraber, insan benzeri robotların kullanımı henüz yeterli seviyede değildir. Robotların diş hekimliği pazarına dâhil edilmesinde, maliyet ve teknolojik hazırlık en önemli engellerdir. Diş hekimlerinin robotları kabul etmesi, büyük ölçüde talebe bağlıdır. Hastaların robotlar tarafından tedavi edilmek konusunda endişeleri vardır. Ayrıca veri girdisi sisteminin geliştirilmesi, robot teknolojisinde aşılması gereken problemlerden birisidir. Bütün bunlara rağmen; çağın gelişmesiyle beraber robotların kullanımıyla ilgili sorunların üstesinden elbet gelinecektir. Yakın gelecekte, robotların diş hekimliği tedavilerini bağımsız yapabildiği bir seviyeye geçileceğine inanılmaktadır. Bu sürecin hızlı gerçekleşmesi, talebin artması ve mühendis gayretlerine bağlıdır.

## **KAYNAKLAR**

1. Haddadin S, Suppa M, Fuchs S, et al. Konzepte für den Roboterassistenten der Zukunft. *Automatisierungstechnik*; 2010;58: 695-708. doi:10.1524/auto.2010.0888.
2. Rawtiya M, Verma K, Sethi P, et al. Application of robotics in dentistry. *Indian J Dent Adv*; 2014;6(4): 1696-1703. doi:10.5866/2014.641696.
3. Divya BB, Bhandary S, Naik R, et al. Robotics in dentistry: fiction or reality. *J Dent Res Rev*; 2017;4: 67-68. doi:10.4103/jdrr.jdrr\_55\_17
4. Grischke J, Johannsmeier L, Eich L, et al. Dentronics: Review, first concepts and pilot study of a new application domain for collaborative robots in dental assistance In: Montreal, QC Proceedings of the 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA). Canada; 2019. p. 6525–6532.
5. Fabbro MD, Taschieri S, Lodi G, et al. Magnification devices for endodontic therapy. *Cochrane Database Syst Rev*; 2015;12: CD005969. doi: 10.1002/14651858.CD005969.pub3.
6. Fabbro MD, Taschieri S. Endodontic therapy using magnification devices: a systematic review. *J Dent*; 2010;38(4): 269-75. doi: 10.1016/j.jdent.2010.01.008.
7. Cheng C, Yinan X, Zongxin X, et al. Robotic and microrobotic tools for dental therapy. *J Healthc Eng*; 2022; 3265462. doi:10.1155/2022/3265462.
8. Efes ÜBG. Diş Hekimliği Uygulamalarında Dijital Teknoloji ve Sanal Gerçeklik Etkisi. In: Bozbuğa N, Gülseçen S (Ed) *Tıp Bilişimi*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Yayınevi; 2021. p.597-619. doi:10.26650/B/ET07.2021.003.29
9. Ergün G, Ataoğul AS, Tekli B. Diş hekimliğinde robotik uygulamalar: Bir literatür derlemesi. *EÜ Dişhek Fak Derg*; 2018;39(3): 125-133.
10. Cheema HS, Dhillion PK. Robotics in dentistry. *Dentimedia J Dent*; 2012;17: 61-62.

11. De Ceulaer J, De Clercq C, Swennen GRJ. Robotic surgery in oral and maxillofacial, craniofacial and head and neck surgery: a systematic review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Surg*; 2012;41: 1311- 124. doi: 10.1016/j.ijom.2012.05.035.
12. Bodner J, Augustin F, Wykypiel H, et al. The da vinci robotic system for general surgical applications: a critical interim appraisal. *Swiss Med Wkly*; 2005;135: 674-678.
13. Palep JH. Robotic assisted minimally invasivesurgery. *J Minim Access Surg*. 2009;5(1): 1-7. doi: 10.4103/0972-9941.51313.
14. Shaikhly BA, Harrel K, Umorin M, et al. Comparison of a dental operating microscope and high-resolution videoscope for endodontic procedures. *J Endod*, 2020;46(5): 688-693. doi:10.1016/j.joen.2020.01.013.
15. Haddadin S, Supp, M, Fuchs S, et al. Towards the robotic co-worker. In *Robotics Research*; Springer. Berlin: Heidelberg; 2011. p. 261–282.
16. Ahmad P, Alam MK, Aldajani A, et al. Dental Robotics: A Disruptive Technology. *Sensors (Basel)*; 2021;21(10); 3308. doi:10.3390/s21103308.
17. Jang SM, Kim E. An update on endodontic microsurgery of mandibular molars: A focused review. *Medicina (Kaunas)*; 2021;57(3); 270. doi:10.3390/medicina57030270.
18. Şengezer Ö, Uzun Ö. Endodonti kliniğinde kullanılan geliştirilmiş görüş araçları: Dental mikroskoplar. *Türkiye Klinikleri J Endod-Special Topics*; 2017;3(2): 140-8.
19. Taschieri S, Fabbro MD, Testori T, et al. Microscope versus endoscope in root-end management: a randomized controlled study. *Int J Oral and Maxillofac Surg*; 2008;37(11): 1022–1026. doi:10.1016/j.ijom.2008.07.001.
20. Ouzhu M, Wu C, Ye L, et al. Endoscopic removal of dental prosthesis impacted in the duodenal papilla. *Endoscopy*; 2019;51: e10–e11.
21. Schmocker A, Khoushabi A, Schizas C, et al. Miniature probe for the delivery and monitoring of a photopolymerizable material. *J Biomed Opt*; 2015;20(12): 127001. doi: 10.1117/1.JBO.20.12.127001.
22. Yoshii S, Fujimoto M, Okuda M, et al. In vitro evaluation of a novel root canal endoscope for visualizing the apex of curved root canal models and an extracted tooth. *J Endod*; 2018;44(12): 1856–1861. doi: 10.1016/j.joen.2018.08.014.
23. Apotheke H, Jako GJ. A microscope for use in dentistry. *J Microsurg*; 1981;3(1): 7-10. doi: 10.1002/micr.1920030104.
24. Keles A, Keskin C, Alqawasmi R, et al. Accuracy of an endoscope to detect root canal anastomoses in mandibular molar teeth: a comparative study with microcomputed tomography. *Acta Odontol Scand*; 2020;78(6): 443-437. doi: 10.1080/00016357.2020.1735515.
25. Bürklein S, Schäfer E. Minimally invasive endodontics. *Quintessence Int*; 2015;46(2): 119-124. doi: 10.3290/j.qi.a33047.
26. Setzer FC, Shah SB, et al. Outcome of endodontic surgery: a meta-analysis of the literature--part 1: comparison of traditional root-end surgery and endodontic microsurgery. *J Endod*; 2010;36(11); 1757-65. doi:10.1016/j.joen.2010.08.007.
27. Nelson CA, Hossain SG, Al-Okaily A, et al. A novel vending machine for supplying root canal tools during surgery. *J Med Eng Technol*; 2012;36(2): 102–116. doi: 10.3109/03091902.2011.645944.
28. Dong J, Hong S, Hesselgren G, et al. WIP: A study on the development of endodontic micro robot. *Proceedings of the 2006 IJME-INTERTECH Conference*; October 2006; Union: USA.
29. Dong J, Hong SY. Design of Z Axis Actuator and quick tool change assembly for an endodontic micro robot. *Proceedings of the Asme International Mechanical Engineering Congress & Exposition*; June 2010; New York; USA.
30. Hwang G, Paula AJ, Hunet EE, et al. Catalytic anti-microbial robots for biofilm eradication.

- Sci Robot; 2019;24(4). doi:10.1126/scirobotics.aaw2388.
31. Shanelec DA. Periodontal microsurgery. *Journal Esthet Restor Dent*; 2003;15(7): 402-407. doi:10.1111/j.1708-8240.2003.tb00965.x.
  32. Lang T, Staufer S, Jennes B, et al. Clinical validation of robot simulation of toothbrushing-comparative plaque removal efficacy. *BMC Oral Health*; 2014;14(82):1-9. doi: 10.1186/1472-6831-14-82.
  33. Driesen G, Warren P, Hilfinger P, et al. Ernst, C. The development of the Braun Oral-B Ultra Plaque Remover: An in vitro robot study. *Am J Dent*; 1996;9 Spec: S13-S17.
  34. Gaengler P, Lang T, Jennes B. Computer-assisted planimetric plaque assessment of robot tested toothbrushing. *J Dent Res*; 2013;92: 3326.
  35. Ernst CP, Willershausen B, Driesen G, et al. A robot system for evaluating plaque removal efficiency of toothbrushes in vitro. *Quintessence Int*; 1997;28(7): 441-445.
  36. Nahlieli O, Moshonov J, Zagury A, et al. Endoscopic approach to dental implantology. *J Oral Maxillofac Surg*; 2011;69(1): 186-191. doi:10.1016/j.joms.2010.07.071
  37. Wu Y, Wang F, Fan S, et al. Robotics in dental implantology. *Oral Maxillofac Surg Clin*; 2019;31(3): 513-518. doi:10.1016/j.coms.2019.03.013. Epub 2019 May 15.
  38. Zandparsa R. Latest biomaterials and technology in dentistry. *Dent Clin North Am*; 2014;58(1): 113-114. doi: 10.1016/j.cden.2013.09.011.
  39. Qin C, Cao Z, Fan S, et al. An oral and maxillofacial navigation system for implant placement with automatic identification of fiducial points. *Int J CARS*; 2019;14: 281-289.
  40. Kasina H, Bahubalendruni MR, Botcha R. Robots in medicine: Past, present and future. *Int J Manuf Mater Mech Eng*; 2017;7: 44-64.
  41. Gulati M, Anand V, Salaria SK, et al. Computerized implant-dentistry: advances toward automation. *J Indian Soc Periodontol*; 2015;19(1): 5-10. doi:10.4103/0972-124X.145781.
  42. Kumar P, Dixit P, Kalaivani V, et al. Future advances in robotic dentistry. *J Dent Heal Oral Disord Ther*; 2017;7: 278-280.
  43. Shan T, Tay FR, Gu L. Application of Artificial Intelligence in Dentistry. *J Dent Res*; 2021;100(3): 232-244. doi: 10.1177/0022034520969115.
  44. Boesecke R, Brief J, Raczowsky J, et al. Robot assistant for dental implantology. *Proceedings of the International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention*. 14-17 October 2001; Utrecht: The Netherlands. p. 1302-1303.
  45. Boesecke R, Brief J, Raczowsky J, et al. *Robot Assistant for Dental Implantology*. Berlin: Germany; 2001. p. 1302-1303.
  46. Sun X, Yoon Y, Li J, et al. Automated image-guided surgery for common and complex dental implants. *J Med Eng Technol*; 2014;38(5): 251-259. doi: 10.3109/03091902.2014.913079.
  47. Sun X, McKenzie FD, Bawab S, et al. Automated dental implantation using image-guided robotics: registration results. *Int J Comput Assist Radiol Surg*; 2011;6(5): 627-634. doi: 10.1007/s11548-010-0543-3.
  48. Yu K, Uozumi S, Ohnishi K, et al. Stereo vision based robot navigation system using modulated potential field for implant surgery. *Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*. 17-19 March 2015; Seville: Spain. p. 493-498.
  49. Cao Z, Qin C, Fan S, et al. Pilot study of a surgical robot system for zygomatic implant placement. *Med Eng Phys*; 2020;75: 72-78. doi:10.1016/j.medengphy.2019.07.020
  50. Neocis. Yomi Robotic Technology 2020. (02/06/2022 tarihinde <https://www.neocis.com/technology> adresinden ulaşılmıştır).
  51. Haidar Z. Autonomous robotics: a fresh era of implant dentistry . . . is a reality! *J Oral Res*; 2017;6(9): 230-231.
  52. Yan A. (2017, Sep 21). Chinese robot dentist is first to fit implants in patient's mouth without any human involvement 2017. (15/05/2022 tarihinde <https://www.scmp.com/news/china/>



- article/2112197/chinese-robot-dentist-first-fit-implants-patients-mouth-without-any-human adresinden ulaşılmıştır).
53. Fan S, Cao Z, Qin, et al. The accuracy of surgical automatic robotic assisted implants placement in edentulous maxilla—an in vitro study. *Clin Oral Implant Res*; 2018; 29: 283.
  54. Lee M, Chang C, Kuo C, et al. Custom denture fabrication with new abrasive computer tomography and rapid prototyping technologies. *Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*. 12 October 2005; Waikoloa: USA. p. 2425–2430.
  55. Feng Y, Fan JC, Tao BX, et al. An image-guided hybrid robot system for dental implant surgery. *Int J Comput Assist Radiol Surg*; 2022;17(1): 15-26. doi: 10.1007/s11548-021-02484-0.
  56. Miller RJ. Navigated surgery in oral implantology: A case study. *Int J Med Robot Comp Assist Surg*; 2007;3(3): 229–234. doi: 10.1002/rcs.146.
  57. Ahn Y. Devices for minimally-invasive microdiscectomy: current status and future prospects. *Expert Rev Med Devices*; 2020; vol. 17(2): 131–138. doi: 10.1080/17434440.2020.1708189.
  58. Wang K, Sano T, Inokuchi T, et al. The free deltoid flap: microscopic anatomy studies and clinical application to oral cavity reconstruction. *Plast Reconstr Surg*, 2003;112(2): 404-411. doi: 10.1097/01.PRS.0000070725.74647.1E.
  59. Cosola S, Toti P, Peñarrocha-Diogo M, et al. Standardization of three-dimensional pose of cylindrical implants from intraoral radiographs: A preliminary study. *BMC Oral Health*; 2021;21(1): 1–16. doi: 10.1186/s12903-021-01448-9.
  60. Song J, Kang WH, Oh SJ, et al. Role of robotic gastrectomy using da Vinci system compared with laparoscopic gastrectomy: Initial experience of 20 consecutive cases. *Surg Endosc* 2009; 23(6), 1204–1211. doi: 10.1007/s00464-009-0351-4.
  61. Chang YF, Xu WD, Lu XJ, et al. Robotic perineal radical prostatectomy: initial experience with the da Vinci Si Robotic System. *Urol Int*; 2020;104(9-10): 710-715. doi: 10.1159/000505557. Epub 2020 Apr 14.
  62. Nichols AC, Theurer J, Prisman E, et al. Radiotherapy versus transoral robotic surgery and neck dissection for oropharyngeal squamous cell carcinoma (ORATOR): an open-label, phase 2, randomised trial. *Lancet Oncol*; 2019;20(10): 1349–1359. doi: 10.1016/S1470-2045(19)30410-3.
  63. Holty, JEC, Guilleminault C. Maxillomandibular advancement for the treatment of obstructive sleep apnea: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Med Rev*; 2010;14(5): 287–297. doi:10.1016/j.smrv.2009.11.003.
  64. John CR, Gandhi S, Sakharia A, et al. Maxillomandibular advancement is a successful treatment for obstructive sleep apnoea: A systematic review and meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Surg*; 2018;47(12): 1561–1571. doi: 10.1016/j.ijom.2018.05.015.
  65. Vicini C, Dallan I, Canzi P, et al. Transoral robotic tongue base resection in obstructive sleep apnoea-hypopnoea syndrome: A preliminary report. *J Otorhinolaryngol Relat Spec*; 2010;72(1), 22–27. doi: 10.1159/000284352.
  66. Nadjmi N. Transoral robotic cleft palate surgery. *Cleft Palate Craniofac J*, 2016;53(3): 326–331. doi: 10.1597/14-077.
  67. Khan K, Dobbs T, Swan MC, et al. Trans-oral robotic cleft surgery (TORCS) for palate and posterior pharyngeal wall reconstruction: a feasibility study. *J Plast, Reconstr Aesthet Surg*, 2016;69(1): 97-100. doi: 10.1016/j.bjps.2015.08.020.
  68. Ma Q, Kobayashi E, Wang J, et al. Development and preliminary evaluation of an autonomous surgical system for oral and maxillofacial surgery. *Int J Med Robot Comp Assist Surg*; 2019;15: e1997.
  69. Ishii H, Koga H, Obokawa Y, et al. Path generator control system and virtual compliance calculator for maxillofacial massage robots. *Int J Comput Assist Radiol Surg*; 2010;5(1):



- 77–84. doi: 10.1007/s11548-009-0383-1.
70. Hiraiwa Y, Ariji Y, Kise Y, et al. Efficacy of massage treatment technique in masseter muscle hardness: robotic experimental approach. *Cranio*; 2013;31(4): 291-299. doi: 10.1179/crn.2013.31.4.007.
71. Wang X, Potgieter J, Xu P, et al. Development of jaw exoskeleton for rehabilitation of temporomandibular disorders In: Kim JH, Matson ET, Myunh H, et al (eds.) *Robot Intelligence Technology and Applications 2*. Denver: Springer; 2014. p. 775-784.
72. Han JJ, Woo SY, Yi WJ, et al. Robot-Assisted Maxillary Positioning in Orthognathic Surgery: A Feasibility and Accuracy Evaluation. *J Clin Med*; 2021;10(12): 2596. doi: 10.3390/jcm10122596.
73. Woo SY, Lee, SJ, Yoo, JY, et al. Autonomous bone reposition around anatomical landmark for robot-assisted orthognathic surgery. *J Cranio Maxillofac Surg*; 2017;45(12): 1980–1988. doi: 10.1016/j.jcms.2017.09.001.
74. Barwacz CA, Hernandez M, Husemann RH. Minimally invasive preparation and design of a cantilevered, all-ceramic, resin-bonded, fixed partial denture in the esthetic zone: a case report and descriptive review. *J Esthet Restor Dent*; 2014;26(5): 314-323. doi: 10.1111/jerd.12086.
75. Dawood A, Marti BM, Sauret-Jackson V, et al. 3D printing in dentistry. *Br Dent J*; 2015;219(11): 521-529. doi: 10.1038/sj.bdj.2015.914.
76. Strub JR, Rekow ED, Witkowski S. Computer-aided design and fabrication of dental restorations. *J Am Dent Assoc*; 2006;137(9): 1289–1296. doi: 10.14219/jada.archive.2006.0389.
77. Van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dental Materials*; 2012;28(1): 3–12. doi: 10.1016/j.dental.2011.10.014.
78. Stansbury, JW, Idacavage MJ. 3D printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities. *Dental Materials*, 2016;32(1): 54–64. doi: 10.1016/j.dental.2015.09.018.
79. Van Riet TCT, Sem KTHCJ, Ho JTF, et al. Robot technology in dentistry, part two of a systematic review: an overview of initiatives. *Dental Materials*; 2021;37(8): 1227-1236. doi: 10.1016/j.dental.2021.06.002.
80. Yuan F, Wang Y, Zhang Y, et al. An automatic tooth preparation technique: a preliminary study. *Sci Rep*; 2016;6: 25281. doi: 10.1038/srep25281.
81. Zhang, YD, Zhao ZF, Lu PJ, et al. Robotic system approach for complete denture manufacturing. *IEEE ASME Trans. Mechatron*; 2002;7: 392–396.
82. Zhang Y, Zhao Z, Song R, et al. Tooth arrangement for the manufacture of a complete denture using a robot. *Ind Robot*; 2001;28: 420–425.
83. Jiang J, Zhang Y, Lü P, et al. Motion control and experimentation on the dental arch generator driven by multi-motors. *Robot*; 2009;31: 465–471.
84. Zhao YJ, Zhang YD, Shao JP. Optimal design and workspace analysis of tooth-arrangement three-fingered dexterous hand. *J. Chongqing Univ. Posts Telecommun*; 2009;2: 228–234.
85. Jiang J, Zhang Y, Wei C, et al A review on robot in prosthodontics and orthodontics. *Advan Mech Eng*, 2014;7(1): 1-11.
86. Yong-de Z, Jin-gang J, Pei-jun L, et al. Study on the multi-manipulator tooth-arrangement robot for complete denture manufacturing. *Ind Robot Int J*; 2011;38: 20-26.
87. Zhang Y, Peng J, Jiang, J. High precision motion control for multi-manipulator tooth arrangement robot. *Robot*; 2008;30: 542–547.
88. Simon, JLO, Martinez AM, Espinoza DL, et al. Mechatronic assistant system for dental drill handling. *Int J Med Robot Comp Assist Surg*; 2011;7(1): 22–26. doi: 10.1002/rcs.363.
89. Yuan F, Wang Y, Zhang Y, et al. Study on the appropriate parameters of automatic full crown tooth preparation for dental tooth preparation robot. *Chin J Stomatol*; 2017;52(5): 270–

273. doi:10.3760/cma.j.issn.1002-0098.2017.05.002.
90. Wang D, Wang L, Zhang, Y, et al. Preliminary study on a miniature laser manipulation robotic device for tooth crown preparation. *Int J Med Robot Comp Assist Surg*; 2014;10(4): 482–494. doi: 10.1002/rcs.1560. Epub 2014 Jan 6.
91. Wang L, Wang D, Zhang Y, et al. An automatic robotic system for three-dimensional tooth crown preparation using a picosecond laser. *Lasers Surg Med*; 2014;46(7): 573–581. doi: 10.1002/lsm.22274.
92. Adel S, Zaher A, Harouni NE, et al. Robotic Applications in Orthodontics: Changing the Face of Contemporary Clinical Care. *Hindawi BioMed Res Int*; 2021;2021: 1-16. doi: 10.1155/2021/9954615.
93. Rigelsford, J. Robotic bending of orthodontic archwires. *Ind Robot*; 2004;31: 331–335.
94. Müller-Hartwich R, Präger T, Jost-Brinkmann P. SureSmile–CAD/CAM System for Orthodontic Treatment Planning, Simulation and Fabrication of Customized Archwires. *J Comp Dent*; 2007;10(1): 53–62.
95. Alford TJ, Roberts WE Hartsfield JK, et al. Clinical outcomes for patients finished with the SureSmile™ method compared with conventional fixed orthodontic therapy. *Angle Orthod*; 2011; 81(3): 383–388. doi: 10.2319/071810-413.1.
96. Gilbert A. An in-office wire-bending robot for lingual orthodontics. *J Clin Orthod*; 2011;45(4): 230-4;quiz 236.
97. Zhang Y, Wei C, Jiang J, et al. Planning for archwire bending robot in orthodontic treatments. *Int J Control Autom* 2014;7: 287–298.
98. Barrett AW, Dorrego MW, Hodgson TA, et al. The histopathology of syphilis of the oral mucosa. *J Oral Pathol Med*; 2004;33(5): 286-291. doi:10.1111/j.0904-2512.2004.00099.x
99. Van Wyk CW, Seedat HA, Phillips VM. Collagen in submucous fibrosis: an electron-microscopic study. *J Oral Pathol Med*; 9(4): 182–187. doi: 10.1111/j.1600-0714.1990.tb00821.x.
100. Kassamali RH, Ladak B. The role of robotics in interventional radiology: Current status. *Quant Imaging Med Surg*; 2015;5(3): 340-3. doi: 10.3978/j.issn.2223-4292.2015.03.15.
101. Burdea GC, Dunn SM, Levy G. Evaluation of robot-based registration for subtraction radiography. *Med Image Anal*;3(3): 265-74. doi: 10.1016/s1361-8415(99)80023-1.
102. Burdea GC, Dunn SM, Immendorf C. Robotic system for dental subtraction radiography. *Proceedings of the 1991 IEEE International Conference on Robotics and Automation*. 9-11 April 1991; Sacramento: USA. p. 2056–2062.
103. Spin-Neto R, Mudrak J, Matzen L, et al. Cone beam CT image artefacts related to head motion simulated by a robot skull: Visual characteristics and impact on image quality. *Dentomaxillofac Radiol*; 2013;42(2): 32310645. doi: 10.1259/dmfr/32310645.
104. McCaul KD, Malott JM. Distraction and coping with pain. *Psychol Bull*; 1984;95(3): 516–533.
105. Shibata T, Mitsui T, Wada K, et al. Mental commit robot and its application to therapy of children In *Proceedings of the 2001 International Conference of Advanced Intelligent Mechatronics*; New Zealand; 8-12 July 2001. p. 1053-1058.
106. Tahir AM, Jilich M, Trinh DC, et al. Architecture and design of a robotic mastication simulator for interactive load testing of dental implants and the mandible. *J Prosthet Dent*; 2019;122(4): 389.e1–389.e8. doi: 10.1016/j.prosdent.2019.06.023.
107. Wen H, Xu W, Member S, et al. Kinematic model and analysis of an actuation redundant parallel robot with higher. *IEEE Trans Ind Electron* 2015;62: 1590-1598.
108. Raabe D, Harrison A, Ireland A, et al. Improved single-and multi-contact life-time testing of dental restorative materials using key characteristics of the human masticatory system and a force/position-controlled robotic dental wear simulator. *Bioinspir Biomim*; 2011;7(1): 016002. doi: 10.1088/1748-3182/7/1/016002.

109. Afrashtehfar KI, Qadeer S. Computerized occlusal analysis as an alternative occlusal indicator. *J Craniomandib Pract*; 2016;34(1): 52-57. doi: 10.1179/2151090314Y.0000000024.
110. Bozhkova TP. The t-scan system in evaluating occlusal contacts. *Folia Med (Plovdiv)*; 2016;58(2): 122- 130. doi: 10.1515/folmed-2016-0015.
111. Di Berardino F, Filippini E, Schiappadori M, et al. The occlusal imaging and analysis system by T-scan III in tinnitus patients. *Biomed J* 2016;39(2): 139-144. doi: 10.1016/j.bj.2016.04.001.
112. Gallagher S, O'Connell BC, O'Connell AC. Assessment of occlusion after placement of stainless steel crowns in children-a pilot study. *J Oral Rehabil* 2014;41(10): 730-736. doi: 10.1111/joor.12196.
113. Shetty S. Virtual articulators and virtual facebow transfers : digital prosthodontics !!! *J Indian Prosthodont Soc*; 2015;15(4): 291. doi: 10.4103/0972-4052.171825.
114. Bhambhani R, Bhattacharya J, Sen SK. Digitization and its futuristic approach in prosthodontics. *J Indian Prosthodont Soc*; 2013;13(3): 165-174. doi: 10.1007/s13191-012-0181-2.
115. Solaberrieta E, Garmendia A, Brizuela A, et al. Intraoral digital impressions for virtual occlusal records: section quantity and dimensions. *BioMed Res Int* 2016; 2016: 1-7. doi: 10.1155/2016/7173824.
116. Thangavel K, Balamurugan A, Elango M, et al. A survey on nanorobotics in nano-medicine. *J Nanosci Nanotechnol*; 2014;2: 525-528.
117. Patil M, Mehta DS, Guvva S. Future impact of nanotechnology on medicine and dentistry. *J Indian Soc Periodontol*; 2008;12(2): 34-40. doi: 10.4103/0972-124X.44088.
118. Mehrotra D. Nano-science and dentistry. *J Oral Biol Craniofacial Res* 2015; 5(1): 1. doi: 10.1016/j.jobcr.2015.02.005.
119. Balan B, Narayanan S. Nano robotics-its time for change. *IJOOCR*; 2014;2: 41-46.
120. Gambhir R, Sogi G, Nirola A, et al. Nanotechnology in dentistry: current achievements and prospects. *J Orofac Sci*; 2013;5: 9.
121. Shetty NJ, Swati P, David K. Nanorobots: future in dentistry. *Saudi Dent J* 2013; 25(2): 49-52. doi: 10.1016/j.sdentj.2012.12.002.
122. Kukreja BJ, Dodwad V, Singh T. Robotic dentistry the future is at the horizon. *J Pharm Biomed Sci* 2012;16: 25-28.
123. Balan B, Narayanan S. Nano robotics - its time for change. *IJOOCR* 2014; 2: 41-46.
124. Tavkar A, Pawar A. Simulation in dentistry. *EC Dent Sci*; 2017;12: 115-121.
125. Abe S, Noguchi N, Matsuka Y, et al. Educational effects using a robot patient simulation system for development of clinical attitude. *Eur J.Dent Educ*; 2018;22(3): e327-e336. doi: 10.1111/eje.12298.
126. Ogura Y, Shimomura K, Kondo H, et al. Human-like walking with knee stretched, heel-contact and toe-off motion by a humanoid robot. In *Proceedings of the 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. 9-15 October 2006; Beijing: China. p. 3976-3981.
127. Tanzawa T, Futaki K, Kurabayashi H, et al. Medical emergency education using a robot patient in a dental setting. *Eur J Dent Educ*; 2013;17(1): e114-e119. doi: 10.1111/j.1600-0579.2012.00770.x.
128. Meyn, J. Morita. SIMROID: Realistic patient robot for dental education and training 2015. (12/05/2022 tarihinde <https://www.jmoritaeuropa.de/en/news-events/latest-news/simroid-realistic-patient-robot-for-dental-education-and-training/306/> adresinden ulaşılmıştır).
129. Dafer M. Coolestech. Simroid Dental Training Humanoid, the Humanoid Robot Patient 2011. (14/05/2022 tarihinde <http://www.coolestech.com/simroid-dental-training-humanoid-the-humanoid-robot-patient/> adresinden ulaşılmıştır).

130. Ahire M, Dani N, Muttha R. Dental health education through the brushing ROBOTUTOR: A new learning experience. *J Ind Soc Periodontol*; 2012;16(3): 417-20. doi: 10.4103/0972-124X.100922.
131. Al-Saud LM, Mushtaq F, Allsop MJ, et al. Feedback and motor skill acquisition using a haptic dental simulator. *Eur J Dent Educ*; 2017;21(4): 240–247. doi: 10.1111/eje.12214
132. Ihm JJ, Seo DG. Does reflective learning with feedback improve dental students' self-perceived competence in clinical preparedness? *J Dent Educ*; 2016;80(2): 173–182.
133. Wang D, Li T, Zhang Y, et al. Survey on multisensory feedback virtual reality dental training systems. *Eur J Dent Educ*; 2016;20(4): 248–260. <https://doi.org/10.1111/eje.12173>.
134. Chen X, Sun P, Liao D. A patient-specific haptic drilling simulator based on virtual reality for dental implant surgery. *Int J Comp Assist Radiol Surg*; 2018;13: 1861–1870.
135. Correa, CG, Machado MAAM, et al. Virtual Reality simulator for dental anesthesia training in the inferior alveolar nerve block. *J Appl Oral Sci*; 2017;25(4): 357–366.136. doi: 10.1590/1678-7757-2016-0386.
136. Höhne C, Schmitter M. 3D printed teeth for the preclinical education of dental students. *J Dent Educ*; 2019;83(9): 1100–1106. doi: 10.21815/JDE.019.103.
137. Roy E, Bakr MM, George R. The need for virtual reality simulators in dental education: a review. *Saudi Dent J*; 2017;29(2): 41-47. doi: 10.1016/j.sdentj.2017.02.001.
138. Harwin W, Barrow A, Quinn B, et al. Design and Development of a Haptic Dental Training System – hapTEL 2010. (02/06/2022 tarihinde [https://www.researchgate.net/publication/221012200\\_Design\\_and\\_Development\\_of\\_a\\_Haptic\\_Dental\\_Training\\_System\\_-\\_hapTEL](https://www.researchgate.net/publication/221012200_Design_and_Development_of_a_Haptic_Dental_Training_System_-_hapTEL) adresinden ulaşılmıştır).
139. Luciano C, Banerjee P, DeFanti TA. Haptics-based virtual reality periodontal training simulator. *Virtual Reality*; 2009;13(2): 69-85.