

Diş Hekimliğinde Robotik Uygulamalar: Bir Literatür Derlemesi

Robotic Applications in Dentistry: A Literature Review

Gülfem Ergün¹, Ayşe Seda Ataoğlu², Bahar Tekli²

¹Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Ankara.

OrCID: <https://orcid.org/0000-0001-9981-5522>.

²Mersin Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Mersin.

Ayşe Seda Ataoğlu OrCID: <https://orcid.org/0000-0003-3990-179X>.

Bahar Tekli OrCID: <https://orcid.org/0000-0003-2096-4571>.

Atıf/Citation: Ergün, G., Ataoğlu, A.S. & Tekli, B. (2018). Diş hekimliğinde robotik uygulamalar: Bir literatür derlemesi. *Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 39(3), 125-133.

ÖZ

Bu çalışmanın hedefi, diş hekimliğinde robotik uygulamaların kullanımını gözden geçirmek ve bu konu ile ilgili genel gelişmeleri tartışmaktır. Çeşitli elektronik veri tabanları (PubMed, Cochrane Library, Evidence Based Dentistry, Google Scholar) ve elle arama, literatür taraması için kullanıldı. Bu araştırma Ocak 2005'ten Ocak 2018'e kadar yürütüldü. Literatür taraması sonucunda 109 adet literatür bulundu. Yayınların özetleri okunduktan sonra, tıp ile ilişkili 19, diğer bilim dalları ile ilişkili 9, robotik ile ilgili olmayan 6 ve tam metin erişimi sağlanamayan 8 adet, toplamda 42 çalışma elendi. Robotik diş hekimliği ile ilgili; 42 derleme makalesi, 8 in vitro araştırma makalesi, 9 in vivo araştırma makalesi, 3 vaka raporu ve 5 editöre mektup olmak üzere 67'si bu derlemeye dahil edildi. Diş hekimliği robotik uygulamalar ile dijital dünyaya hızlı bir giriş yapmıştır. Bu gelişme, tedavi sürelerinin kısalmasına, diş hekiminin gösterdiği eforun azalmasına ve tedavi maliyetlerinin düşürülmesine büyük ölçüde katkı sağlayacaktır. Bununla birlikte, konvansiyonel tekniklere kıyasla halen birçok sınırlaması mevcuttur.

Anahtar Kelimeler: dijital, diş hekimliği, robotiks, nanoteknoloji, gelecek

ABSTRACT

The aim of this study is to review the usage of robotic applications in dentistry and to discuss general developments related to this subject. Various electronic databases (PubMed, Cochrane Library, Evidence Based Dentistry, Google Scholar) and hand search were used for literature search. This research was conducted from January 2005 to January 2018. As a result of literature search, 109 numbers of literature were found. After reading the abstracts of the articles, related to medicine 19, related to other sciences 9, not related to robotic 6 and without full text access 8, totally 42 studies were eliminated. 42 review articles, 8 in vitro research articles, 9 in vivo research articles, 3 case reports and 5 editorial letters; totally 67 articles related to the robotic dentistry were included in this review. Dentistry has made a rapid entry into the digital world with robotic applications. This development will provide a great contribution to the reduction of the duration of treatment, to decrease of the effort shown by the dentist and treatment cost. However, there are still many limitations compared with conventional techniques.

Keywords: digital, dentistry, robotics, nanotechnology, future

GİRİŞ

Robot kelimesi ilk olarak 1921 yılında Çek roman yazarı Karel Capek tarafından 'Rassum's Universal

Robots' adlı oyun başlığında kullanılmıştır.¹ Sonrasında yazar Isaac Asimov'un 1950 yılında yayınlanan 'I Robot' adlı kitabında da tanıtılmıştır.²

Sorumlu yazar/Corresponding author: ergungulfem@yahoo.com

Başvuru Tarihi/Received Date: 06.06.2018

Kabul Tarihi/Accepted Date: 13.11.2018

1954 yılında George Devol ilk programlanabilir robotu tasarlamış ve 'Evrensel Otomasyon' olarak isimlendirmiştir. Robotlar, 1979 yılında 'Robotic Institute of America' tarafından, 'verilen çeşitli görevlerin yerine getirilmek amacı ile programlanmış değişken hareketlerle nesnelere, ekipmanı veya herhangi bir aracı harekete geçirmek için tasarlanmış yeniden programlanabilir çok işlevli manipülatörler' olarak tanımlanmıştır.³ Robotlar, otomatik olarak bir dizi karmaşık işlem geliştiren makinelerdir. Robotik ise; hem robotların tasarımı, yapımı, işletimi ve uygulaması ile ilgilenen hem de kontrol, duysal geri bildirim ve bilgi işlem için bilgisayar sistemlerini kullanan teknolojinin bir koludur.⁴

Robotların, yorulmaksızın hassas çalışabilme kabiliyetleri, insanlığın en yararlı icatlarından biri olmalarını sağlamıştır. Robotlar tıp alanında manuel uygulamaların kısıtlamalarını ortadan kaldırmak ve cerrahi uygulamaların hassasiyetini arttırmak için kullanılmaktadır.⁵ Robotların tıp alanındaki kanıtlanmış başarıları, başka alanlara genişlemesi ve bu alanlarda ilerlemesi için yeni bir kapı açmıştır.⁴

Tasarlanmış sensörler ve aksiyon sistemleriyle yüksek hassasiyet gösterme yetenekleri, insan eli titremesini elimine etme özellikleri ve böylece tedavi sürelerini kısaltarak yüksek doğruluk performansına ulaşmaları robotların diş hekimliği alanında kullanılmalarında etkili olmuştur. Bazı ülkelerde kalifiye diş hekimi sayısının nüfusa oranla yetersiz olması da robotların diş hekimliğinde kullanılmasına öncülük etmiştir. Ayrıca diş tedavisi ile ilgili korku ve rahatsızlığı giderebilmesi de öngörülmektedir.⁵

Konuya ilişkin literatür taraması için çeşitli elektronik veri tabanları (PubMed, Cochrane Library, Google Scholar, Evidence Based Dentistry) ve elle arama kullanıldı. Bu araştırma; Ocak 2005'ten Ocak 2018'e kadar anahtar kelime olarak 'robotics', 'nanorobots', 'future', 'CAD/CAM', 'nanotechnology' ile 'dentistry' veya 'dentist' sözcüklerinin farklı kombinasyonları kullanılarak gerçekleştirildi. Literatür taraması sonucunda 109 adet literatür bulundu.

Yayınların özetleri okunduktan sonra, tıp ile ilişkili 19, diğer bilim dalları ile ilişkili 9, robotik ile ilgili olmayan 6 ve tam metin erişimi sağlanamayan 8 adet olmak üzere toplamda 42 çalışma elendi. Robotik diş hekimliği ile ilgili; 42 derleme makalesi, 8 in vitro araştırma makalesi, 9 in vivo araştırma makalesi, 3 vaka raporu ve 5 editöre mektup olmak üzere 67'si bu derlemeye dahil edildi.

Endüstriyel robot teknolojisindeki gelişmeleri takiben robotik terimi tıp alanına girmiştir ve çeşitli cerrahi disiplinlerde kullanılmaya başlanmıştır.⁴

Robotların tıp alanında uygulanması sonucu elde edilen başarı başka kollarında da uygulanması için teşvik edici olmuştur.⁶ Çeşitli prosedürlerin hassasiyetini, kalitesini ve güvenliğini artırmak için tıp ve diş hekimliği alanlarına da giren robotlar, çok geniş kullanım alanlarına sahiptirler.⁴

Konuya ilişkin ilk girişim 1985'te, 'PUMA 560' adı verilen robotun bilgisayarlı tomografi (BT) rehberliği kullanılarak beyin biyopsisinde bir iğne yerleştirmek için kullanılmasıdır.^{1,4} Günümüzde de Da Vinci adı verilen robot cerrahlar, tıp alanında genel cerrahi ameliyatlarında güvenle kullanılmaktadırlar. Bu robotların en büyük avantajları özellikle ulaşımı zor, dar alanlarda iyi bir görüş sağlayabilmesi ve önemli anatomik yapılara zarar vermeden hassas çalışabilmesidir.⁷ 1500 yılında Leonarda Da Vinci tarafından pek çok robot benzeri eskiz ve desen çizilmiştir. Bu çizimlerin robotik teknolojinin temellerini oluşturmuş olabileceği düşünülmektedir.⁴

Son yıllarda bilgisayar teknolojisi, mikromekanik ve veri aktarımı alanlarındaki yeni gelişmeler, robotik sistemlerin kullanılmasını yaygınlaştırmıştır.⁷ Diş hekimliği de diğer bilim dalları gibi konvansiyonel tekniklerden dijital dünyaya hızlı bir atılım içerisinde. Bu teknolojik gelişim eğitimden klinik uygulamaya kadar pek çok kolda konvansiyonel uygulamaların yerini almaya adaydır.⁵

Eğitim

Diş hekimliği alanında güvenlik ilkelerine verilen önemin artması simülasyonların kullanımını yaygınlaştırmaktadır. Diş hekimliği öğrencilerinin yeterli tecrübe ve beceriye sahip olmadan klinik uygulamaya geçmediklerinden emin olmak üzere simülasyon laboratuvarları, sanal gerçeklik ve gerçekçi mankenler gibi gelişmiş teknolojiler tanıtılmışlardır.⁸

Hasta robotlar

Hasta robotlar, diş hekimliği öğrencilerinin klinik hasta bakımı öncesi pratik yapması amacı ile kullanılan robotlardır. 1900'lerin başlarında geliştirilen, basit bir baş kısmı ve diş kompleksinden oluşan bu robotlara 'fantom' adı da verilmektedir.^{5,8} Üniversitelerde yaygın olarak kullanılan fantomlar, öğrenci eğitiminin pratik bir hal alması ve öğretme süresinin kısalması konusunda çığır açmışlardır.⁶

Gerçek insan benzeri robotlar

1900'lerde fantomların geliştirilmesinden bu yana yapay zekanın da katkısıyla daha gerçekçi robotlar üretilmeye başlanmıştır.⁵

'Showa Hanako'; Tokyo'nun Showa Üniversitesi, bir dizi tipik hasta hareketlerini ve tepkilerini simüle eden ve böylelikle diş hekimliği öğrencilerinin gerçek bir hastayla çalışmayı deneyimlemelerine olanak tanıyan

gerçekçi robotu üretmek için robotik şirketi Tmsuk ile bir araya gelmiştir. 'Showa Hanako' adı verilen robot, gerçek insan gibi mimiklere ve reflekslere sahiptir. Gözlerini kırıştırabilmekte, esneyebilmekte, hapsirebilmekte, başını sallayabilmekte, öksürebilmekte, dilini hareket ettirebilmekte hatta ağzını çok uzun süre açık tutmaya çalışırken yorgunluk tepkisi verebilmektedir. İlginç bir şekilde öğürme refleksine de sahiptir. Japon mühendisler, konuşma yeteneğini kolaylaştırmak için geliştirilen bir konuşma tanıma teknolojisini de kullanmışlardır.^{2,9}

'Geminoid'; Uzaktan kumanda ile kontrol edilebilen yüksek hareket yakalama teknolojisine sahip bir robottur. Yine Geminoid ailesinden Geminoid F, gerçek insan gibi yüz mimiklerine ve çeşitli baş hareketlerine sahiptir, hatta gülebilmektedir.⁴

'HRP -4'; insan mimiklerini ve seslerini taklit edebilmektedir.⁵

'Simroid'; Nippon Diş Hekimliği Fakültesi Kokoro'da geliştirilen ileri düzeyde gerçekçi bir eğitim robotudur. Daha az karmaşık bir eğitim robotu olan Simuloid'in yükseltilmiş halidir. Yapay zekanın gelişimiyle birlikte Simroid, diş hekimlerine daha fazla duysal geri bildirim sağlayan bir eğitim robotu haline gelmiştir.⁵ Ağız ve etrafındaki sensörler, simüle edilmiş ağrıyı ve rahatsızlıkları hissetmelerini sağlamaktadır. Olumsuz tepki göstererek öğrencilerin tedavi şekillerini düzeltebilmekte ve daha kontrollü hale gelmelerine olanak tanımaktadır. Konuşma tanıma yetenekleri; sorulara veya komutlara yanıt vermesine ve tepki göstermesine izin vermektedir. Hatta, tedavi süresince iki kamera ile öğrencinin tedavi prosedürünü izleyip değerlendirebilmektedir.⁴

Endo Mikro Robot

İnsan hatası riskini minimize etmek ve güvenli, doğru, kaliteli bir kanal tedavisi yapmak amacıyla geliştirilmiştir. Böylece perforasyon, apikal foramen transportasyonu, fazla diş dokusu kaldırılması, basamak oluşumu, düzensiz şekilli kanalların meydana gelmesi ve alet kırılması gibi kanal tedavisi komplikasyonlarının oluşma ihtimali en aza indirgenmektedir.⁵

İleri Endodontik Teknoloji Geliştirme girişimi dört konu başlığı altında incelenmektedir.

- 1) İki boyutlu röntgen filmlerinden yararlanılarak bilgisayar üzerinde üç boyutlu (3D) olarak diş modelinin oluşturulmasını ve grafiklerle diş durumunun belirlenmesini sağlamak.
- 2) Bilgisayar destekli tedavi planlamasını kullanarak üç boyutlu kök kanal modelinden bir otomatik reçete sisteminin geliştirilmesini sağlamak.
- 3) Kök kanal tedavisi otomatik olarak

gerçekleştirmek amacı ile akıllı, çok amaçlı hassas mikro makine tasarlamak.

- 4) Basınç destekli vakumlu atık giderme tekniği ile yeni bir ultrasonik temizleme aleti geliştirmek.⁴

Oluşturulan bu mikro makine veya diğer adıyla robot, esnek endodontik aletler ve vakum araçlarıyla birlikte mikropozisyon ve oryantasyon ayar cihazına, otomatik ilerleme hızına, uzaklık kontrolüne, mikro sensörlere ve apeks sensörlerine sahiptir. Böylelikle kanalı otomatik olarak açacak, temizleyecek ve dolduracaktır.^{2,4,5}

Dental Nanorobotlar

Nanoteknoloji, 1 nm'den 100 nm' ye kadar olan yapıların ve moleküler makinelerin mühendisliğidir.⁹⁻¹¹ Özellikle elektronik, bilgisayar teknolojisi, endüstri, telekomünikasyon, çevre bilimi, havacılık ve uzay keşfi gibi insan faaliyetlerinin her alanında ilerleme imkanı sunan nanoteknoloji, insan sağlığı korunmasında da potansiyel bir güce sahiptir.¹²⁻¹⁴ Bu teknoloji ile üretilen kullanışlı yapılar sayesinde ağız sağlığı korunmasındaki tanı ve tedavi yöntemlerinin de değişeceği ve gelişeceği düşünülmektedir.^{11,15,16}

Nanorobotlar ise, insan vücudunun içinde serbestçe difüzyon yeteneğine sahip olan ve insan vücudu hücreleriyle etkileşime girebilen veya görevlerini yerine getirmek için nanometrik çözünürlüğe sahip olan mikroskopik nesnelere temsil etmektedir. Yaklaşık 0,5-3 mikron çapında, 1-100 nm boyutunda bileşenlerden oluşan nanorobotlar, karbon nanotüpler, metalik nano iletkenler ve elmas benzeri şekilli malzemeler gibi nanomateryallerden yapılmış binlerce mekanik parçadan üretilebilirler.^{4,10,17,18}

Nanoteknolojinin diş hekimliğine uyarlanması ile oluşan nano dişhekimliği; doku mühendisliği, dental nanorobotlar ve dental nanomalzemeler kullanarak ağız sağlığının korunmasını mümkün kılacaktır.^{9,11,19}

Nano diş hekimliği, gelecekte 1-10 mikron büyüklüğünde ve 1-10 mikron/sn hızında 'dentifrobot' adı verilen nanorobotların kullanılmasını planlayarak robotik diş hekimliğine de değinmektedir.^{20,21} Diş macunları veya gargaraların içine konulan bu dentifrobotlar ile plağın kaldırılacağı ve zararlı bakterilerin yok edilerek uzaklaştırılabileceği düşünülmektedir. Böylece diş çürüğünün, diş eti problemlerinin ve ağız kokusunun üstesinden gelinebilecektir.^{20,22-24}

İlk mikroyütlü diş nanorobotları üretildiğinde, belirli hareket mekanizmalarını kullanarak insan dokusunun içine girebileceği ve gezinebileceği düşünülmektedir. Sinir hücrelerindeki impuls trafiğini tek tek izlemenin, kesmenin ve değiştirmenin gerçek zamanlı

olarak mümkün olabileceği öngörülmektedir.^{12,21} Bu nanorobotların fonksiyonları önceden programlanmış talimatları yürüten sabit bir nanobilgisayar tarafından kontrol edilebilecektir. Üstelik diş hekimi uygulamaya ilişkin verileri in vivo nanorobotlara akustik sinyallerle iletilebilecektir.^{25,26}

Bunlara ilave olarak diş hekimliğinde nanorobotların; lokal anestezi, kalıcı hipersensivite tedavisi, diş beyazlatma, kozmetik diş hekimliği, ortodontik tedavi, oral ve maksillofasial cerrahi, diş tamiri, zararlı bakterilerin elimine edilmesi ve sürekli ağız sağlığının sağlanması, çürük kavite preperasyonu ve dişin restorasyonu, oral kanser teşhisi ve tedavisi ve lokal ilaç iletimi gibi potansiyel kullanım alanları bulunmaktadır.^{4,5,9,19,20,27}

Gelecekte, nanorobotların periodontal dokulara sızıp ağrısız bir şekilde dişlerin rotasyonunu, düzleştirilmesini ve vertikal pozisyonlandırılmasını sağlayarak aylar süren ortodontik tedavileri bir kaç saat içinde tamamlayabileceği düşünülmektedir.^{21,28-31}

Cerrahi Robotlar

Cerrahi uygulamaya yönelik robotlarda, cihazın önceden programlanmış görevleri yerine getirdiği bir sistem geliştirilmiştir. Cerrahla aynı zamanda interaktif olarak çalışabilen bu sistem; kemik yüzeylerinin frezlenmesinde, derin osteotomi kesilerinde, osteosentez plaklarının seçiminde, belirlenen pozisyonda bükme ve intraoperatif pozisyonlandırmada, ortognatik cerrahi planlamasında ve genel olarak maksillofasial cerrahi prosedürlerinde kullanılmaya amaçla üretilmiştir.^{2,4,5}

Böylece robotik cerrahi, insan eliyle elde edilebilen manipülasyonun da ötesinde hareketler sunarak prosedürlerin güvenilirliğini ve doğruluğunu arttırmaktadır.¹

Sensör Donanımlı İmplant Kurulumu

Dental implantlar, diş kökü yerine geçen ve kaybedilen dişlerin yerine konmasında en çok kullanılan materyallerdir. Mevcut mekanik kılavuzlu sistem veya şablon drill kılavuzlu sistem artık eski teknolojiler olarak görünmekte ve gelişen teknolojiyle birlikte cazibesini yitirmektedir. Bu eski statik yöntemlerde hastanın dişlerinin ölçüsü CAD/CAM ile alınmakta, iki boyutlu (2D) ve 3D görüntülemelerle interaktif olarak implantların planlaması şablona aktarılmaktadır. Böylece flepsiz ve daha az kanamalı bir cerrahi mümkün kılınmaktadır. Ancak bu yöntemin implantların yerleştirilmesi sırasında eş zamanlı olarak kontrol edilememesi, intraoperatif modifikasyona izin vermemesi ve cerrahi şablon kılavuzun kırılabilme riski gibi dezavantajları bulunmaktadır.²⁴

Yeni bilgisayar destekli sistem dinamik bir

sistemdir. Preoperatif ve intraoperatif olmak üzere iki aşama içerir. Preoperatif aşamada hastadan elde edilen ham görüntüleri geliştirmek için 3D görüntüleri kullanılmaktadır. Teknik, BT'den alınan bilgilerle hedef bölge ve bununla komşulukta olan organlarla ilişkili bir yol oluşturmaktır. Bu teknik, diş hekimlerinin hastanın anatomisini önceden öğrenmesine yardımcı olmaktadır.^{2,4} İntraoperatif aşama gerçek cerrahi prosedür sırasında hem navigasyon hem de karar desteği amacı ile kullanılan aşamadır. Hastanın 3D görüntüleme verilerini gerçek zamanlı olarak monitörize edebilmekte, cerrahi alet pozisyonu ve yörüngesini izleyebilmekte ve 3D olarak doğru derinlikte yönlendirilmesini sağlayabilmektedir.³² Böylelikle kılavuz olmadan direk BT'den alınan verilerle osteotomi drillerine tam bir rehberlik sağlanmaktadır. Hem hastaya hem de cerrahi el parçasına takılı sensörler ile işlem sırasında cihazların sanal konumları anlık olarak algılanabilmekte ve böylece intraoperatif modifikasyonlara olanak tanınmaktadır. Bunlara ilave olarak statik sistemin dezavantajı olan kılavuz kırılması veya yer değiştirmesi gibi komplikasyonların üstesinden gelebilmektedir. Böylece implantlar tam olarak doğru yerde ve doğru açıda konumlandırılabilir.^{2,4,5,32,33}

'YOMİ'; Mart 2017'de FDA tarafından onaylanmış, robotik olarak kontrol edilen ve dental cerrahide implantların yerleştirilmesi için kullanılan sistemdir. Dinamik sistemle çalışan bu robot cerrahi alanın net görüşüne ve cerrahın cerrahi prosedür içinde planı değiştirmesine izin verir.^{5,33,34}

2017 yılında Güney Çin'de diş hekimi bir robotun bir hastaya iki implant yerleştirdiği bildirilmiştir.³⁵ İşlemin yanılma payının 0,2-0,3 mm olması ve bir saatten az sürede tamamlanması dikkat çekicidir.³⁴

Dental Robotik Drill

Dokunsal teknolojiler tarafından geliştirilen yeni bir sistemdir. Hastanın çenesi bir çerçeve ile immobilize edilir. Çok ince iğneler kemiğin yerini belirlemek için dişetine adapte edilir. Bu veriler, drill kılavuzlarını yapılandırmak için BT taraması verileriyle birleştirilerek bir bilgisayara kablosuz olarak aktarılır. Böylece aktive edildiğinde frezler kendi kendini yönlendirebilmekte ve aynı zamanda hekim tarafından değiştirilebilmektedir. Bu uygulama prosedürü hastalar için daha ucuz, daha hızlı ve daha az ağrılı hale getirebilmektedir.^{2,4}

Dental İmplantoloji Robotu

Bu sistem, çeşitli implant tasarımlarının ve prosedürlerinin, hayvan testlerinden ve klinik insan denemelerinden önce test edilmesini ve değerlendirilmesini mümkün kılmak amacı ile geliştirilmiştir. Mandibular hareketleri ve okluzal temas kuvvetlerini taklit edebilmektedir. BT verileriyle çalışmak için kullanılan önceden programlanmış

yazılımlardan oluşmaktadır. İmplant delme işlemini gerçekleştirebilmekte ve implantlara çiğneme işlemini taklit etmek için basınç uygulayabilmektedir.²

Tam Protez Üretim Robotu

Tam protez üretimi için çeşitli robotik uygulamalar mevcuttur. Tam protez üretimini daha kaliteli bir hale getirmesinin yanı sıra bu süreci standardize etmektedir. İlk olarak tek bir robot olarak üretilen cihaz, yapay dişlerin tek bir robot tarafından manipüle edilemeyecek derecede karmaşık şekilli olmasından dolayı multimanipulatör sistemli olarak yeniden sunulmuştur. Bu yöntemle tam protez üretimi sadece 30 dk sürmektedir.³⁶

Yazılımın çeşitli işlevleri vardır. Hastanın tıbbi geçmiş dosyasını oluşturmada, ardından çene arkını ve çene ark kurvatürünü çizmekte ve son olarak çene kurvatürü parametrelerine göre diş kurvatür eğrisini ayarlamaktadır. Aynı zamanda, dikkatli bir gözlem ortamı sunmakta ve 3D sanal dişleri ekranda görüntüleyerek diş duruşunun değiştirilmesine yardımcı olmaktadır.^{2,36}

Ortodontik Ark Teli Bükme Robotu

Ortodontik tel bükme işlemini otomatik olarak gerçekleştiren bir teknolojidir. 3D görüntüleme ve CAD/CAM sistemlerini kullanmaktadır. Motoman olarak isimlendirilen bir ark teli bükme robotu; bükme pozisyonu, ark telinin optimizasyon açısını, kinematik özellikleri ve eğilme özelliklerini analiz etmektedir.²

Dental Materyal Testinde Çiğneme Robotu

Çene hareketlerini simüle eden robotlar, stomatolojide, gıda biliminde, çene hareketleri hastalıklarının tedavisinde büyük bir ilgi görmektedir. Yeni dental materyal geliştirme sürecinde, üreticilerin bu materyallerin özelliklerini ve ağızdaki performanslarını tahmin edebilmeleri adına çiğneme robotları kullanılmaktadır.³⁷

İnsan ağızı içinde yapılan hareketleri ve dişler tarafından uygulanan kuvvetleri simüle etmek için programlanmış altı çizgisel harekete geçirici sisteme sahip 3D bir mekanizmaya dayanan çiğneme robotu iki ayrı sistemden oluşmaktadır. Birinci sistem yani kontrol sistemi, robotun hareketli parçasına, yani Stewart platformuna emir veren ve geri besleme sinyalleri sayesinde yürütülen hareketleri kontrol eden endüstriyel bir bilgisayardır. Stewart platformu, simetrik olarak düzenlenmiş birbirinin aynısı altı kinetik bacak tarafından sabit bir tabana bağlanan, hareketli platform (mandibulayı simüle eden son efektör) ile birbirine paralel bir mekanizmadır. İkinci sistem ise verileri toplamaktadır. Bu kapsamlı sistem yeni dental materyallerin geliştirilmesi ve test edilmesi sürecini

iyileştirme potansiyeline sahiptir.⁴

Diş Kesimi Robotu

Diş preparasyonu günümüzde yüksek devirli el aletleri ile yapılmaktadır. Kullanılan bu metodun pek çok dezavantajı bulunmaktadır. Öncelikle bu şekilde yapılan preparasyonun doğruluğu, insan görüş açısına ve 2,5-5 cm aralığında açılabilen dar ağız aralığındaki el hareketlerine bağlıdır.³⁸

Preperasyon sırasında hekim, hastanın kas, yanak, dil, dudak gibi yumuşak dokularını korumakla yükümlüdür. Ancak, yüksek devirde el aleti ile çalışırken hekimin; yumuşak doku yaralanması, termal hipersensivite ve aşırı diş dokusu kaldırımı gibi iatrojenik kazalara sebebiyet vermemesi çok büyük bir dikkat gerektirmekte ve süreci oldukça zorlaştırmaktadır.³⁹

Diş preperasyonunda kullanılmak üzere ultra kısa nabızlı lazer (USPL) ışınını kullanan, 3D hareket planlama yazılımına sahip otomatik bir diş hazırlama robotu geliştirilmiştir. Bu cihaz 6 adet komponentten oluşmaktadır.⁴⁰

1. Hastanın hedef dişinin ve komşu dişlerinin 3D verisini almak amacı ile kullanılacak ağız içi 3D bir tarayıcı
2. Hedef dişin preparasyon şeklini tasarlamak ve lazere 3D bir hareket yolu yaratmak amacı ile kullanılacak CAD/CAM
3. Lazer ışınlarını sert doku preperasyonuna uygun hale getiren düşük ısılı ultra kısa nabızlı lazer jenarötörü
4. 6 derece serbestlikte ışın yönlendirici kol
5. Robotik bir sistem (ağız içinde lazeri kontrol eden mikro-preperasyon ünitesi)
6. Komşu dişleri lazer kesiminden koruyan bir donanım

Lazer ile preperasyon tekniği, titreşimi ve sesi ortadan kaldırıp daha az ağrıya sebep olması yönüyle geleneksel el manipülasyonu ile karşılaştırıldığında daha avantajlı bulunmuştur. Bununla birlikte komşu dokulara daha az zarar verdiği de ileri sürülmüştür.^{39,40}

T-Scan

Çeneler arasındaki normal okluzal ve artikülasyon ilişkileri, çiğneme sırasında üretilen kuvvetlerin dengeli dağılımını sağlamaktadır. Erken okluzal temaslar, interküspal pozisyondaki harmonik olmayan okluzal temaslar, diş destekli dokularda (mukoza, periodontal doku, kemik), çiğneme kaslarında ve TME'de değişikliklere, travmaya ve hatta kulak çınlaması hastalığına (tinnitus) sebep olmaktadır. Bu nedenle okluzal analiz, uygulamaların önemli bir basamağını oluşturmaktadır.⁴¹⁻⁴³

Gerek ortodontik gerek protetik tedavi sonucunda

çiğneme kuvvetlerini temporamandibular ekleme doğru olarak ileterek nöromuskuler dengeyi sağlamak için ideal bir okluzyon şarttır.^{42,44}

Okluzal artikülasyon ilişkisini kontrol etmek için çeşitli okluzal analizörler kullanılmaktadır. Geleneksel bir yöntem olan artikülasyon kağıdı, alt ve üst dişler arasındaki kontak noktalarını belirlemek için kullanılan en yaygın araçtır.⁴⁴ Artikülasyon kağıdı okluzal temas noktalarını boyayarak kolayca vurgulamasına rağmen, oluşan gücün yoğunluğu ve büyüklüğü hakkında bilgi vermemektedir.⁴⁵ Kağıt üzerindeki işaretlemelerde, aynı okluzal yüklerin farklı yoğunluklara karşılık gelmesi nedeni ile öznel olduğu ve klinik hata payını arttırabileceği düşünülmektedir.⁴¹

Geleneksel yöntemin bu öznel ve yanlış yorumlamasından kaçınmak için Maness 1987'de T-Scan adlı bilgisayar destekli okluzal analiz sistemi tanıtmıştır.⁴⁶ Bu sistem ağız içi bir sensör kullanarak gerçek zamanlı olarak okluzal kuvvetlerin kaydedilmesini sağlamaktadır.^{41,47}

T-Scan orjinal tasarımı, yazılım ve donanım olarak geliştirilerek günümüzdeki versiyonu T-Scan 3 haline getirilmiştir. Bu cihaz okluzal kontakları kaydeden bir sensör, bilgisayara bağlı veri aktarım modülü, verileri bilgisayara gönderecek bir yazılım programı ve bunları görselleştirebilecek bir monitörden oluşmaktadır. Program verileri işlemekte ve renkli olarak 2D ve 3D grafikler olarak göstermektedir.^{41,48}

İki boyutlu grafiklerde oluşturulan okluzal kontaklar ve dental arktaki konturlar hücrese görüntüler olarak görselleştirilmiştir. 3D grafiklerde, kaydedilen kontaklar okluzyon üzerinde oluşan kuvvetlerin yoğunluğuna göre değişik renklerde ve yükseklikte sütunlar olarak görselleştirilmiştir. T-Scan sayesinde nitel verilerin nicel parametrelere çevrilmesi ve bunların dijital olarak eş zamanlı görüntülenmesi mümkün olmaktadır.^{41,49}

Sanal Artikülator ve Sanal Yüz Arka Transferleri

Sanal gerçeklik, diş hekimliği pratiğinin geleceği ile bağlantılı bilgisayar tabanlı bir teknolojidir. Son yıllarda diş hekimliğinde dijital teknolojilerin kullanımı ile sanal ortamda çalışmak, herhangi bir klinik durumun teşhisini, planlamasını ve tedavisini geliştirmekte ve harcanan süreyi kısaltmaktadır. Son yıllarda dijitalizasyon çağdaş dünyanın bir parçası haline gelmekte ve yapay zekanın gelişimiyle birlikte diş hekimliğindeki yerini almaktadır.^{50,51}

Konvansiyonel yöntemde alt ve üst çene alçı modellerini, mekanik bir artikülatorde horizontal çene ilişkisine göre oryente etmek yerine, üst çene dijital dökümünün sanal bir artikülatorde transferini sağlamak

ölçülebilir, güvenilebilir ve tekrar edilebilir bir yöntem sunmaktadır. Ayrıca diş hekimi ve diş teknisyenine alçı model dökümü olmaksızın tamamen dijital bir ortamda çalışabilme imkanı sağlamaktadır. Bu protokolü yürütmek için ağız içi tarayıcı, dijital kamera ve yazılım yeterli olmaktadır.⁵²

Sanal artikülatorler, mekanik artikülatorlerin limitasyonlarını azaltmaktadır. Gerçek hasta bilgilerini simule etmekte, statik ve dinamik okluzyonun sayısal dökümlerine izin vermekte, çene ilişkilerini terminal menteşe eksenine göre oryente edebilmektedir. Böylece yapılan restorasyonların interferans içermeyeceği ve stabilitenin sağlanacağı düşünülmektedir.^{52,53}

Uygulamaya ilişkin ana problem bütün arkın taranmasıdır. Hizalamalar sırasında hata olduğu takdirde en sonda oluşacak kümülatif hatanın büyüklüğü fazla olacaktır. Sonuç olarak, kapsamlı bir diş tedavisi için ağız içi tarama yapılırken çok dikkatli olunması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.⁵⁰

Bilgisayar Destekli Tasarım ve Bilgisayar Destekli Üretim (CAD/CAM)

CAD/CAM teknolojisi, 1970'li yıllarda diş tasarımı ve üretimine ilk kez sunulduğundan beri, bilgisayar kontrollü bir robot oluşturmak ve onu ağız içinde uygulamak üzerine çok fazla çaba sarf edilmiştir.³⁶ Bu tasarım dental restorasyonların (kron, veneer, inley, onley, köprüler, implantlar, hareketli protezler, ortodontik uygulamalar) tasarlanmasında ve üretiminde kullanılmaktadır.⁵⁴ CAD/CAM teknolojisinin konvansiyonel yönteme göre daha hızlı daha doğru ve daha pratik olduğu düşünülmektedir.^{55,56} Bütün CAD/CAM sistemleri, dijital bir tarayıcı, yazılım ve üretim teknolojisi olmak üzere üç komponentten oluşmaktadır.⁵⁷

Dijital bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler CAD/CAM sistemi kullanımını yaygınlaştırmaktadır.⁵⁸ Diş hekimliği alanında kullanımının başlaması ile konvansiyonel tekniklere nazaran daha hatasız ve daha kaliteli dental restorasyonlar oluşturulmaktadır.⁵⁹

1980'lerde CEREC sistemi tanıtılmıştır. Böylece hasta ağızında açılan kavitenin tek bir günde ağız içi ölçümleri yapıp, tasarlanarak seramik bloktan inley restorasyon tamamlanmıştır.⁶⁰ Günümüzde omnicam adlı ağız içi kameraya sahip CAD/CAM sistemleri ile inley, onley, veneer, kron, köprü, implant destekli protezler ve hareketli protezler toz kullanımı olmadan ağız içi kamera ile ölçü alınıp, doğal diş renginde üç boyutlu olarak tasarlanıp üretilmektedirler.^{58,61}

Bilgisayar Kontrollü Lokal Anestezi

Diş hekimliğinde lokal anestezi özellikle çocuk ve

genç bireylerde şiddetli korku ve endişe oluşturmaktadır.⁶² Dental tedavi öncesi lokal anestezinin ağrısız bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için dokulara yavaş ve belli bir hızda lokal anestezik enjekte eden bilgisayar ile kontrol edilen cihazlar geliştirilmiştir.⁶³

Diş Fırçalama Robotu

Klinik fırçalama programları altı eksenli bir robota aktarılmış ve böylece fırçalama gücünün, süresinin, fırça angulasyonlarının ve hareketlerinin klinik fırçalamanın parametrelerini yansıtmaya sağlanmıştır. Standart klinik diş fırçasına göre plak kontrolünde daha iyi sonuçlar verdiği bildirilmiştir.⁶⁴

Tele dişhekimliği

Tele dişhekimliği; insanlara sağlık hizmeti sunmak için bilgi tabanlı teknolojilerin ve iletişim sistemlerinin kullanıldığı diş hekimliğinin hızla gelişmekte olan alanıdır. Elektronik cihazlar yardımı ile uzak mesafeler arasında, hastalara ait bilgilerin hızlı ve etkili bir şekilde aktarılmasını içermektedir. Bu uygulama, daha iyi bir tedavi planlaması ve sonuçları için hasta ile doktor arasında ve çeşitli uzmanlar arasında etkili bilgi alışverişini sağlamaktadır.⁶⁵

Günümüze kadar çoğu tele dişhekimliği programları direk hasta-hekim iletişiminden çok, uzaktan eğitim ve bilgi aktarımı (konsültasyon) üzerine yoğunlaşmıştır. Bu amaçla tabletler (taşınabilir dijital aygıtlar) işlevsel olarak uygun buldukları için yaygın olarak kullanılmaktadır.^{66,67}

SONUÇ

Robotlar geleceğe yönelik teknolojilerin en güçlü icatları olma yolunda ilerlemektedirler. Bunlardan insanlarla interaktif çalışmaları, bunun da ötesinde insanlardan daha doğru ve güvenilir olmaları beklenmektedir. Günümüzde diş hekimliğinde geleneksel tekniklerden dijital dünyaya büyük adımlar atılmıştır. Diş hekimliğinde robotların kullanımı, tedavi sürelerinin ve diş hekiminin harcadığı eforun azalmasına büyük ölçüde katkıda bulunacak, diş hekimliğinin uygulanma şekline yeni bir bakış açısı kazandıracaktır. Pek çok sahada insanlara hizmet etmekte olan robotların gelecekte insanların yerini bile alabileceği düşüncesi çok uzak değildir. Bununla birlikte, konvansiyonel tekniklere kıyasla halen birçok sınırlaması mevcuttur.

KAYNAKÇA/REFERENCES

1. 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.
2. Kumar P, Dixit P, Kalaivani V, et al. Future advances in robotic dentistry. *J Dent Heal Oral Disord Ther* 2017; 7: 3-5.
3. Jeelani S, Dany A, Anand B, Vandana S, Maheswaran T, Rajkumar E. Robotics and medicine: a scientific rainbow in hospital. *J Pharm Bioallied Sci* 2015; 7(2): 381-383.
4. Rawtiya M, Verma K, Sethi P, Loomba K. Application of robotics in dentistry. *Indian J Dent Adv* 2014; 6: 1696-1703.
5. Divya Bhat B, Bhandary S, Naik R, Shetty D. Robotics in dentistry: fiction or reality. *J Dent Res Rev* 2017; 4: 67-68.
6. Cheema HS, Dhillon PK. Robotics in dentistry. *Dentimedia J Dent* 2012; 17: 61-62.
7. 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.
8. Tavkar A, Pawar A. Simulation in dentistry. *EC Dent Sci* 2017; 12: 115-121.
9. Kukreja BJ, Dodwad V, Singh T. Robotic dentistry-the future is at the horizon. *J Pharm Biomed Sci* 2012; 16: 25-28.
10. Thangavel K, Balamurugan A, Elango M, Subiramaniyam P, Senrayan M. A survey on nanorobotics in nano-medicine. *J Nanosci Nanotechnol* 2014; 2: 525-528.
11. Aeran H, Kumar V, Uniyal S, Tanwer P. Nanodentistry: is just a fiction or future. *J Oral Biol Craniofacial Res* 2015; 5: 207-211.
12. Gambhir R, Sogi G, Nirola A, Sekhon T, Kakar H, Brar R. Nanotechnology in dentistry: current achievements and prospects. *J Orofac Sci* 2013; 5: 9.
13. Chole D, Khan I, Kundoor S, Bakle S, Gandhi N, Deshpande R. Nanotechnology: conservative dentistry and endodontics. *IOSR J Dent Med Sci* 2017; 16: 102-107.
14. Abiodun-Solanke IMF, Ajayi DM, Arigbede AO. Nanotechnology and its application in dentistry. *Ann Med Health Sci Res* 2014; 4: 171-177.
15. Seth N, Khan K. Dentistry at the nano level: the advent of nanodentistry. *IHRJ* 2017; 1: 3-9.
16. Kanaparthi R, Kanaparthi A. The changing face of dentistry: nanotechnology. *Int J Nanomedicine* 2011; 6: 2799-2804.
17. Bhardwaj A, Bhardwaj A, Misuriya A, Maroli S, Manjula S, Singh AK. Nanotechnology in dentistry: present and future. *J Int oral Heal JIOH*. 2014; 6: 121-126.
18. Patil M, Mehta DS, Guvva S. Future impact of

- nanotechnology on medicine and dentistry. *J Indian Soc Periodontol*. 2008; 2: 34-40.
19. Balan B, Narayanan S. Nano robotics - its time for change. *IJO CR* 2014; 2: 41-46.
 20. Mehrotra, D. (2015). Nano-science and dentistry. *J Oral Biol Craniofacial Res* 2015; 5: 1.
 21. Saravana KR, Vijayalakshmi R. Nanotechnology in dentistry. *Indian J Dent Res* 2006; 17: 62-65.
 22. Subramani K, Ahmed W. Emerging nanotechnologies in dentistry. 1st Ed., Elsevier Inc, ABD, 2012, 1-14.
 23. Kirti S, Bansal P, Khuller N, Bhatia A, Mehta A. Nanorobotics-beyond the microscope in periodontics. *J Stomatognathic Sci* 2015; 1: 24-27.
 24. Zandparsa R. Latest biomaterials and technology in dentistry. *Dent Clin North Am* 2014; 58: 113-114.
 25. Verma S, Prabhat K, Goyal L, Rani M, Jain A. A critical review of the implication of nanotechnology in modern dental practice. *Natl J Maxillofac Surg* 2010; 1: 41.
 26. Shetty NJ, Swati P, David K. Nanorobots: future in dentistry. *Saudi Dent J* 2013; 25: 49-52.
 27. Dalai DR, Gupta D, Bhaskar DJ, et al. Nanorobot : a revolutionary tool in dentistry for next generation. *J Contemp Dent* 2014; 2: 106-113.
 28. Rasheed SAP, Jude M, Suresh K, Dey S, Sunil S, Varghese D. Nanotechnology and its applications in dentistry. *Int J Adv Heal Sci* 2016; 2: 7-10.
 29. Hansa K, Basavaraj P, Singla A, et al. Implications of nanotechnology in dentistry. *J Orofac Heal Sci* 2014; 5: 6.
 30. Saadeh Y, Vyas D. Nanorobotic applications in medicine: current proposals and designs. *Am J Robot Surg* 2014; 1: 4-11.
 31. Narang J, Narang R. Nanomedicines for dental applications-scope and future perspective. *Int J Pharm Investig* 2015; 5: 121.
 32. Gulati M, Anand V, Salaria S, Jain N, Gupta S. Computerized implant-dentistry: advances toward automation. *J Indian Soc Periodontol* 2015; 19: 5.
 33. Yeshwante B, Baig N, Tambake SS, Tambake R, Patil V, Rathod R. Mastering dental implant placement. *JODMS* 2017; 3: 220-227.
 34. Haidar Z. Autonomous robotics: a fresh era of implant dentistry... is a reality! *J Oral Res* 2017; 6: 230-231.
 35. Bartold PM. Robotic dentistry - will it replace dentists? *Aust Dent J* 2017; 62: 403.
 36. Yong-de Z, Jin-gang J, Pei-jun L, Yong W. Study on the multi-manipulator tooth-arrangement robot for complete denture manufacturing. *Ind Robot Int J* 2011; 38: 20-26.
 37. Wen H, Xu W, Member S, Cong M. Kinematic model and analysis of an actuation redundant parallel robot with higher. *IEEE Trans. Ind. Electron* 2015; 62: 1590-1598.
 38. Yuan F, Wang Y, Zhang Y, Sun Y, Wang D, Lyu P. An automatic tooth preparation technique: a preliminary study. *Sci Rep* 2016; 6: 1-9.
 39. Otani T, Raigrodski AJ, Mancil L, Kanuma I, Rosen J. In vitro evaluation of accuracy and precision of automated robotic tooth preparation system for porcelain laminate veneers. *J Prosthet Dent* 2015; 114: 229-235.
 40. Wang L, Wang D, Zhang Y, Ma L, Sun Y, Lv P. An automatic robotic system for three-dimensional tooth crown preparation using a picosecond laser. *Lasers Surg Med* 2014; 46: 573-581.
 41. Bozhkova TP. The t-scan system in evaluating occlusal contacts. *Folia Med (Plovdiv)* 2016; 58: 122-130.
 42. Trpevska V, Kovacevska G, Benedeti A, Jordanov B. T-scan III system diagnostic tool for digital occlusal analysis in orthodontics-a modern approach. *Prilozi* 2014; 35: 85-94.
 43. Di Berardino F, Filippini E, Schiappadori M, Forti S, Zanetti D, Cesarani A. The occlusal imaging and analysis system by T-scan III in tinnitus patients. *Biomed J* 2016; 39: 139-144.
 44. Korunoska-Stevkovska V, Jovanovska J, Razmovski ER, et al. Overview of the common methods for registration of occlusal contact. *JPBMS* 2017; 8: 624-631.
 45. Afrashtehfar KI, Qadeer S. Computerized occlusal analysis as an alternative occlusal indicator. *J Craniomandib Pract* 2016; 34: 52-57.
 46. Ferrato G, Falisi G, Ierardo G, Polimeni A, Paolo C. Digital evaluation of occlusal forces: comparison between healthy subjects and tmd patients. *Ann Stomatol* 2017; 8: 79-88.
 47. Cotruță AM, Mihăescu CS, Tănăsescu LA, Mărgărit R, Andrei OC. Analyzing the morphology and intensity of occlusal contacts in implant-prosthetic restorations using T-scan system. *Rom J Morphol Embryol* 2015; 56: 277-281.
 48. 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: 730-736.
 49. Kerstein RB, Thumati P, Padmaja S. Force finishing and centering to balance a removable complete

- denture prosthesis using the T-scan III computerized occlusal analysis system. *J Indian Prosthodont Soc* 2013; 13: 184-188.
50. Solaberrieta E, Garmendia A, Brizuela A, Otegi JR, Pradies G, Szentpétery A. Intraoral digital impressions for virtual occlusal records: section quantity and dimensions. *BioMed Res. Int* 2016; 2016: 1-7.
 51. Khanna SS, Dhaimade PA. Artificial intelligence: transforming dentistry today. *IJBAMR* 2017; 6: 161-167.
 52. Shetty S. Virtual articulators and virtual facebow transfers: digital prosthodontics!!!. *J Indian Prosthodont Soc* 2015; 15: 291.
 53. Bhambhani R, Bhattacharya J, Sen SK. Digitization and its futuristic approach in prosthodontics. *J Indian Prosthodont Soc* 2013; 13: 165-174.
 54. Baroudi K, Ibraheem SN. Assessment of chair-side computer-aided design and computer-aided manufacturing restorations: a review of the literature. *J Int Oral Health* 2015; 7: 96-104.
 55. Germano FED, Germano FRA, Piro M, Arcuri C, Ottria L. Clinical protocol with digital CAD/CAM chairside workflow for the rehabilitation of severely worn dentition patients. *Oral Implantol* 2017; 3: 247-261.
 56. Parkash H. Digital Dentistry: unraveling the mysteries of computer-aided design computer-aided manufacturing in prosthodontic rehabilitation. *Contemp Clin Dent* 2016; 7: 289-290.
 57. Sajjad A. Computer-assisted design/computer-assisted manufacturing systems: a revolution in restorative dentistry. *J Indian Prosthodont Soc* 2016; 16: 96.
 58. Al-Mussawi RMA, Farid F. Computer-based technologies in dentistry: types and applications. *J Dent (Tehran)* 2016; 13: 215-222.
 59. Sannino G, Germano F, Arcuri L, Bigelli E, Arcuri C, Barlattani A. CEREC CAD/CAM chairside system. *Oral Implantol* 2014; 7: 57-70.
 60. Çelik G, Üşümez A, Sarı T. Bilgisayar destekli diş hekimliği ve güncel CAD/CAM sistemleri. *Cumhuriyet Dent J* 2013; 16: 74-82.
 61. Lambert H, Durand J-C, Jacquot B, Fages M. Dental biomaterials for chairside CAD/CAM: state of the art. *J Adv Prosthodont* 2017; 9: 486-495.
 62. Garret-Bernardin A, Cantile T, D'Antò V, Galanakis A, et al. Pain experience and behavior management in pediatric dentistry: a comparison between traditional local anesthesia and the wand computerized delivery system. *Pain Res Manag* 2017; 2017: 1-6.
 63. Kwak E, Pang N, Cho J, Jung B, Kim K, Park W. Computer-controlled local anesthetic delivery for painless anesthesia: a literature review. *J Dent Anesth Pain Med* 2016; 16: 81-88.
 64. Lang T, Staufer S, Jennes B, Gaengler P. Clinical validation of robot simulation of toothbrushing-comparative plaque removal efficacy. *BMC Oral Health* 2014; 14: 1-9.
 65. Boringi M, Waghay S, Lavanya R, et al. Knowledge and awareness of teledentistry among dental professionals-a cross sectional study. *J Clin Diagnostic Res* 2015; 9: 41-44.
 66. Reynolds PA, Harper J, Dunne S, Cox M, Myint YK. Portable digital assistants (PDAS) in dentistry: part I. *Br Dent J* 2007; 202: 409-413.
 67. Reynolds PA, Harper J, Dunne S, Cox M, Myint YK. Portable digital assistants (PDAS) in dentistry: part II - pilot study of PDA use in the dental clinic. *Br Dent J* 2007; 202: 477-483.