



INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

ROBÓTICA EM MEDICINA DENTARIA

Trabalho submetido por
ION STRIMBU
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Trabalho orientado por
Prof. Doutor JOÃO EDUARDO FONSECA FREITAS DIAS

outubro de 2020



INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

ROBÓTICA EM MEDICINA DENTARIA

Trabalho submetido por
ION STRIMBU
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Trabalho orientado por
Prof. Doutor JOÃO EDUARDO FONSECA FREITAS DIAS

outubro de 2020

DEDICATÓRIA

Am înțeles că un om poate avea totul neavând nimic și nimic având totul.

Mihai Eminescu

Entendi que o homem pode ter tudo sem ter nada e ter nada havendo tudo.

Mihai Eminescu

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer o meu orientador, o Prof. Doutor João Eduardo Fonseca Freitas Dias por toda a paciência, disponibilidade, dedicação e toda ajuda. Por ter partilhado o mesmo entusiasmo sobre um tema que me apaixona e por me ter ajudado a concretizar este projeto – Professor, obrigado por tudo!

A Direção do Instituto Universitário Egas Moniz e Cooperativa de Ensino Superior Egas Moniz.

A todos os Funcionários da casa, particularmente a Madalena por todo o apoio e dedicação durante todos estes anos na residência universitária. As minhas tias de coração, Graça e Paula, obrigado por todos os momentos partilhados.

A todos os Professores que me ensinaram durante estes anos.

A todos os colegas e amigos que me acompanharam neste longo caminho.

À minha família, pelo apoio e carinho.

Ao Prof. Doutor Martins Dos Santos.

À Casa Egas Moniz.

RESUMO

A evolução contínua da investigação e do desenvolvimento tecnológico no sector da medicina dentária visa criar novas oportunidades em termos de abordagem clínica e concepção de instrumentos de trabalho inovadores.

Os avanços da computação, tecnologia CAD-CAM e CAD-CAL, lasers, articuladores e arcos faciais virtuais, radiografias e CBCT modificaram os procedimentos convencionais para que a maioria dos passos seja executada digitalmente, possibilitando a realização de tratamentos mais precisos, rápidos e tecnicamente sofisticados. As cirurgias assistidas e realizadas por robôs são atualmente usadas baseando-se nestas tecnologias.

Vários protótipos robóticos estão a ser testados e usados tanto no campo da cirurgia, implantologia quer na pratica geral, permitindo o desenvolvimento de novas técnicas digitalmente vinculadas, encorajando também a atualização das perspetivas em termos de ensino e formação dos futuros profissionais de saúde.

O conceito da robótica, área jovem aplicada à medicina dentária representa a próxima abordagem de alto nível digital e tecnológico, apoiando-se na dimensão audiovisual já presente nos consultórios e blocos cirúrgicos.

O advento e progresso da inteligência artificial no planeamento, combinada com a robótica, resulta num prospeto de instrumentos mecatrônicos inovadores, seguros e tecnicamente evoluídos.

A investigação, desenvolvimento e a imaginação de protótipos novos aumentam cada vez mais os campos de aplicabilidade e desenvolvem técnicas de planeamento novas permitindo a conceitualização futurista de um nicho emergente.

Palavras-chave: Robótica, Digitalização, Cirurgia assistida, Engenharia dentária

ABSTRACT

The continuous evolution of research and technological development in dental sector aims to create new opportunities in terms of clinical approaches and the design of new innovative work tools.

Advances in computing technology, CAD-CAM and CAD-CAL, lasers, articulators and virtual facial arches, radiography and CBCT have modified conventional procedures that most steps are performed digitally, enabling more accurate, quick and technically sophisticated treatments. Robotically assisted surgeries are currently based on these technologies.

Several robotic prototypes are being tested and used in the field of surgery, implantology and general practice, allowing the development of new digitally linked techniques, also encouraging new perspectives in terms of education and training of future health professionals.

As a relatively young area, the concept of robotics applied to dental medicine represents the next high-level digital and technological approach, based on the audiovisual dimension already present in offices and surgical units.

The advent and progress of artificial intelligence in planning, combined with robots results in a prospect of innovative, safe and technically evolved mechatronic instruments.

Research, development and the imagination of new prototypes increase the fields of applicability and develop new planning techniques allowing the futuristic conceptualization of the emerging niche.

Keywords : Robotics, Digitalization, Assisted Surgery, Dental Engineering

RÉSUMÉ

L'évolution continue de la recherche et du développement technologique dans le secteur dentaire vise à créer de nouvelles opportunités en termes d'approches cliniques et conception de nouveaux outils de travail innovants.

Les progrès informatiques des technologies CAD-CAM et CAD-CAL, lasers, articulateurs et les arcs faciaux virtuels et le CBCT ont modifié les procédures conventionnelles afin que la plupart des étapes soient exécutés de manière numérique, permettant des traitements plus précis, rapides et techniquement sophistiqués. La chirurgie assistée par robot repose sur ces technologies.

Plusieurs prototypes robotiques sont testés et utilisés dans le domaine de la chirurgie, de l'implantologie et omni pratique, permettant le développement de nouvelles techniques numériques, encourageant également de nouvelles perspectives en termes d'éducation et de formation des futurs professionnels de santé.

Domaine relativement jeune, le concept robotique appliquée à la médecine dentaire représente la prochaine approche technologique de haut niveau, basée sur la dimension audiovisuelle déjà présente dans les cabinets et blocs opératoires.

L'avènement et les progrès de l'intelligence artificielle dans la planification, combiné aux robots, traduit une perspective d'instruments mécatroniques innovants, sûrs et techniquement évolués.

La recherche, le développement et l'imagination de nouveaux prototypes élargissent les champs d'applicabilité et développent des nouvelles techniques de planification permettant la conceptualisation futuriste de la niche émergente

Mots-clés : Robotique, Digitalisation, Chirurgie assisté, Ingénierie odontologique

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE SIGLAS	11
I. INTRODUÇÃO	13
II. DESENVOLVIMENTO	15
1. Dimensão histórica, origens e definições	15
1.1 A definição do robô – da ficção a realidade	15
1.2 Âmbito da investigação na robotica.....	17
1.2.1 Stanford Research Institute (SRI) e os primeiros conceitos em cirurgia	19
1.2.2 Computer Motion e ZEUS	21
1.2.3 Intuitive Surgical e Da Vinci Surgical System	23
2. O papel da tecnologia na educação	25
2.1 Estações de simulação em realidade virtual (RV)	25
2.2. Pacientes humanoides	27
2.3 Preparação para cirurgia robótica	29
3. Cirurgia robótica	31
3.1 Cirurgia ortognática e maxilo-facial	31
3.1.1 Controlo da velocidade de fresagem cortical em osteotomia	33
3.2 TORS	34
3.2.1 Cirurgia da laringe e das glândulas salivares	35
3.2.2 Goteiras de proteção em TORS	36
4. Implantologia	38
4.1 Implantes unitários.....	38
4.2 Implantes zigomáticos	41
4.3 Simuladores de mastigação.....	42

4.4 Arranjo de dentes automático em prótese total.....	45
5. Ortodontia.....	46
III. CONCLUSÃO	49
IV. BIBLIOGRAFIA.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Demonstração da interface visual e dos DataGloves (George et al., 2018).....	18
Figura 2: O conceito original do (MEDFAST) (George et al., 2018).....	20
Figura 3: O sistema cirúrgico ZEUS da Computer Motion (Hockstein et al., 2007).....	22
Figura 4: A estação de trabalho ZEUS da Computer Motion num bloco cirúrgico (George et al., 2018).....	22
Figura 5: Os braços articulados cirúrgicos do Lenny, MONA e Da Vinci (George et al., 2018).	23
Figura 6: Os controladores do Lenny, Mona e Da Vinci (George et al., 2018).	24
Figura 7: Da Vinci Surgical System (Peters et al., 2018).	24
Figura 8: SimoDont (Roy et al., 2017).....	26
Figura 9: Exemplo de treino na plataforma SimoDont (Roy et al., 2017).	26
Figura 10: DentSim (Roy et al., 2017).	27
Figura 11: Simroid (Tanzawa et al., 2012).....	28
Figura 12: Esquema de uma sala de cirurgia robótica (Liu et al., 2017).	29
Figura 13: Organização do bloco operatório em cirurgia robótica (Giulianotti et al., 2003)...	30
Figura 14: Planeamento virtual do enxerto para reconstrução mandibular (Chao, et al. 2015).	32
Figura 15: Uso de Spandex durante TORS (Ubayasiri et al., 2017)	37
Figura 16: Moleiras de proteção fabricadas em Aquplast (Benito et al., 2020).....	37
Figura 17: Yomi Robotic System for Dental Implant Surgery adotado de Neocis.com	40
Figura 18: Assemblagem (3D) do simulador de mastigação (Alemzadeh & Raabe; 2008). ...	43
Figura 19: Configuração e esquema do sistema (Alemzadeh et al., 2007).	44
Figura 20: Estrutura do manipulador de arranjo de dentes com 84 GDL (Jiang et al. 2014). .	45
Figura 21: Sistema de dobragem de arrame Suresmile (Jiang et al., 2014).	47
Figura 22: Sistema de dobragem de arrame LAMDA (Jiang et al., 2014).	47

INDICE DE SIGLAS

3D - Tridimensional

AESOP - Automated Endoscopic System for Optimal Positioning

ARPA - Advanced Research Projects Agency

CAD-CAL - Computer-aided Learning /Computer-aided Simulation

CAD-CAM - Computer-aided Design/ Computer-aided Manufacturin

CBCT – Tomografia computadorizada de feixe cónico

DARPA - Defense Advanced Research Projects Agency

EUA - Estados Unidos da América

FDA - Food And Drug Administration

GDL - Graus de Liberdade

ISO - International Standardisation Organisation

MEDFAST - Medical Forward Surgical Treatment

NASA - National Aeronautics and Space Administration's

RIA - Robotic Industries Association

R.U.M – Rossum's Universal Robots

RV - Realidade Virtual

SRI - Stanford Research Institute

VSP – Planeamento cirúrgico virtual

TORS - Cirurgias robótica trans oral

MASO - Mandibular Angle Split Osteotomy

I. INTRODUÇÃO

A presente dissertação de Mestrado pretende efetuar uma revisão de literatura das publicações relativas à utilização e desenvolvimento dos instrumentos robóticos aplicados na área da Medicina Dentária, relatando tanto a sua aparição, evolução e aplicações como a discussão das futuras perspectivas inscritas numa cronologia inevitável da evolução tecnológica.

Em saúde, a robótica refere-se à ciência aplicada, ampla e multidisciplinar, baseada no tratamento de imagens, a modelização tridimensional 3D, conceção assistida por computador, navegação coordenada e planificação de movimentos numa perspetiva de trabalho homem-máquina (Liu et al., 2020).

Em termos de dimensão histórica, os inícios das pesquisas começaram nos Estados Unidos (EUA) há mais de 70 anos influenciado pela eterna procura de inovação que caracterizou a época da guerra fria.

Num período muito curto, os aparelhos robóticos entraram na corrente das diferentes especialidades médicas com início em cirurgia geral. Pela sua habilidade a providenciar capacidades aumentadas, a automatização dos cuidados em saúde passou a formar um sector industrial dinâmico em termos de crescimento e interesse, conjugando os atores das áreas industriais, informáticas e médicas a participar na construção e a sua implementação na sociedade moderna.

Relativamente à investigação na cirurgia robótica e, segundo a indexação PubMed, foram publicados 2 a 8 artigos por ano antes dos anos 2000, contando mais de 700 artigos por ano em 2017 e 2018 refletindo o entusiasmo crescente da comunidade científica neste sentido.

Surgindo da popularização inovadora dos aparelhos usados em cirurgia, a medicina dentária viu o seu sector digital evoluir. De facto, com a contribuição do *Cone Beam Computed Tomography* (CBCT) e da impressão digital, a habilidade informática de combinar várias análises paramétricas permitiram ao médico dentista a planificação

do tratamento de maneira digital, permitindo assim incluir várias estratégias terapêuticas e, por exemplo, produzir por um lado próteses através de máquinas e, por outro usar guias pré parametrizadas em cirurgia e implantologia beneficiando da qualidade e precisão dos sistemas.

A conjugação do digital permitiu, em concreto, sustentar os passos analógicos e aumentar a qualidade dos cuidados de saúde oferecidos. De tal forma, a literatura sugere que a robótica está relacionada com digital, da mesma forma que o digital se conjuga com o analógico, ou seja, assiste-se a um aporte qualitativo representando um passo evolutivo otimizando conceitos existentes.

II. DESENVOLVIMENTO

1. Dimensão histórica, origens e definições

1.1 A definição do robô – da ficção a realidade

Ao longo do século passado os robôs foram amplamente incorporados na vida diária. A sua implementação na fabricação e processamento industrial, fabricação e distribuição permitiu a todos os habitantes dos países industrializados beneficiarem das suas vantagens, contribuindo na melhoria da eficiência durante a execução de tarefas e numa melhoria em termos de qualidade de vida (Hockstein et al., 2007), transformando não só a vida diária, mas também as práticas cirúrgicas a um ritmo surpreendente (Ranev & Teixeira, 2019).

A origem da palavra “*robot*” vem do Tcheco “*robota*” significando trabalho forçado, introduzida na consciência popular pela primeira vez pelo autor Karel Čapek na sua obra de ficção científica *R.U.R. (Rossum’s Universal Robots): a fantastic melodrama* em 1923 (Lanfranco et al., 2004; Hockstein et al., 2007; Palep, 2009; Borumandi et al., 2012; De Ceulaer et al., 2012; Rawtiya et al., 2014; Renev & Teixeira, 2019; Liu et al., 2020).

Em 1950, Isaac Asimov publicou uma obra de ficção científica, *I Robot* (Kumar, 2017) na qual adotou uma perspetiva engenheira das tecnologias robóticas avançadas e cimentou a conceitualização popular do robô na cultura moderna, emitindo três leis que enquadram o comportamento do robô, criatura fantástica e totalmente fictícia naquela época, e constroem o raciocínio do ser antes de formular qualquer ação (Hockstein et al., 2007; Moran, 2008; Kaminka et al., 2017):

- 1ª Lei: um robô não pode ferir um ser humano ou, por inação, permitir que um ser humano sofra algum mal.

- 2ª Lei: um robô deve obedecer as ordens que lhe sejam dadas por seres humanos exceto nos casos em que tais ordens entrem em conflito com a primeira lei.

- 3ª Lei: um robô deve proteger a sua própria existência desde que tal proteção não entre em conflito com a primeira ou segunda lei.

Curiosamente, a *Defense Advanced Research Projects Agency* (DARPA), que originou o conceito do sistema cirúrgico robotizado na sua forma atual, ofereceu colaboração a Isaac Asimov durante a guerra fria (Ranev & Teixeira, 2019).

Para além da ficção, 75 anos depois, o aumento da esperança de vida abriu perspectivas a soluções de acompanhamentos personalizados destinado à população idosa. Tal foi o caso do projeto *Acceptable robotics COMPanions for AgeiNg Years* (ACCOMPANY), apresentado ao *The 6th International Conference on Human System Interaction* em Polónia, destinado a monitorização inteligente do meio ambiente, integração nas habitações e vigilância de pessoas idosas em dificuldades, conceitualizando o robô social e a casa inteligente a fim de promover uma presença e apoio em caso de necessidades. Um tal projeto necessitou da emergência de novos parâmetros, compatíveis com os tempos modernos, completando as três leis por 6 variáveis adicionais que são: a autonomia, independência, capacitação, segurança e respeito da privacidade e contacto social (Amirabdollahian et al., 2013) cimentando a dimensão historicamente pioneira de Isaac Asimov e o interesse particular que o seu trabalho suscitou a (DARPA).

Atualmente o conceito de robô passou a ser mais coerente, a *American Robot Association* (ARA) define-o como um manseador programável e polivalente a fim de manipular materiais, peças e utensílios sendo um sistema especializado em ações modificáveis e programáveis na realização de várias tarefas (Liu et al., 2020).

The Robotic Industries Association (RIA) e a *International Standardisation Organisation* (ISO) convergem na mesma direção, definindo um robô industrial como uma máquina pertencendo a um sistema que do ponto de vista ergonômico tem a capacidade de ser comandada automaticamente e manipulada por um operador seguindo um planeamento, desenvolvimento, monitorização, e programabilidade de uma ação, formando um ecossistema de trabalho polivalente constituído pelas partes que compõem as máquinas, assim que os manipuladores técnicos operam os programas executáveis num objetivo específico realizado em três eixos ou mais.

Compostos por aparelhos móveis, dispositivos tele-robóticos e braços automáticos, estes podem ser classificados em quatro categorias mecatrônicas: ativos, semi-ativos, passivos e tele-operados (Hockstein et al., 2007; Cao et al., 2020).

Aplicados em saúde eles são usados em cirurgia, exame clínico e telemedicina, gestão, transporte, elevação de pacientes e materiais em ambiente hospitalar ou laboratorial, reabilitação e assistência em casa, fisioterapia e medicina dentária. Enfim, a automatização do fornecimento de medicamentos nas farmácias permite aumentar a precisão, eficácia, e otimização dos inventários evitando erros nomeadamente nos países que racionam a distribuição de medicamentos (Rodriguez-Gonzales et al., 2018).

1.2 Âmbito da investigação na robótica

A breve descrição histórica pretende relatar a produção dos primeiros protótipos, beneficiando cada vez mais da aprendizagem de novos conceitos que tinham sido inventados e incorporados nos projetos de desenvolvimento, realizadas por vários grupos de trabalho e cuja combinação levou à elaboração, aperfeiçoamento e melhoria dos sistemas atuais que surgem como o fruto da evolução e integração constante dos últimos anos da investigação. E revisitando assim a história que nos permite entender melhor a revolução tecnológica em curso (Ranev & Teixeira, 2019).

A cirurgia robótica é considerada como uma área muito jovem, e conheceu um grande avanço e um desenvolvimento muito rápido durante as últimas décadas (Leung & Vyas, 2014).

Portanto, as hipóteses de uso robótico começaram a ser imaginadas há 50 anos atrás. O plano de fundo da cirurgia robótica remonta aos anos 1967, levando até 30 anos ao departamento da Defesa dos Estados Unidos em conjunto com empresas inovadoras a implementar agências especializadas e investigar o desenvolvimento de um aparelho cirúrgico, multiuso e totalmente funcional. O objetivo primário da investigação é a diminuição das repercussões dos danos nos elementos das forças armadas no campo de guerra, permitindo uma assistência rápida e um cuidado em saúde eficaz (Georges et al., 2018; Wu et al., 2019).

Paralelamente, os anos 1960 marcaram o início do desenvolvimento de trabalhos na área da realidade virtual (RV). Durante os preparativos da missão espacial *Voyager Mission*, os cientistas da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) estudaram a elaboração de um sistema com o fim de transpor a presença visual de um indivíduo num outro ambiente, dando início ao conceito de telepresença e num espírito visionário, para além dos campos de guerra, destinado a operar os astronautas no espaço, devido a falta de meios médicos e pessoal no contexto espacial (Borumandi et al., 2012; De Ceulaer et al., 2012; Wu et al., 2019).

O termo de realidade virtual (RV) foi criado por Jaron Lanier, que elaborou um sistema visual integrado num capacete, assumindo o som e a disposição das imagens em 3D. A *Figura 1* representa o sistema de Lanier, que era acompanhado de luvas conectadas chamadas *DataGloves* destinadas a permitir a manipulação dos elementos presentes no ecrã (Georges et al., 2018).

Em 1987, o conceito conheceu o estado de arte, permitindo a realização de um sistema de controlo e interação com imagens num ambiente computadorizado e atualmente, combinado com as máquinas robóticas este conceito otimizado resultou na telepresença. (Ranev & Teixeira, 2019).

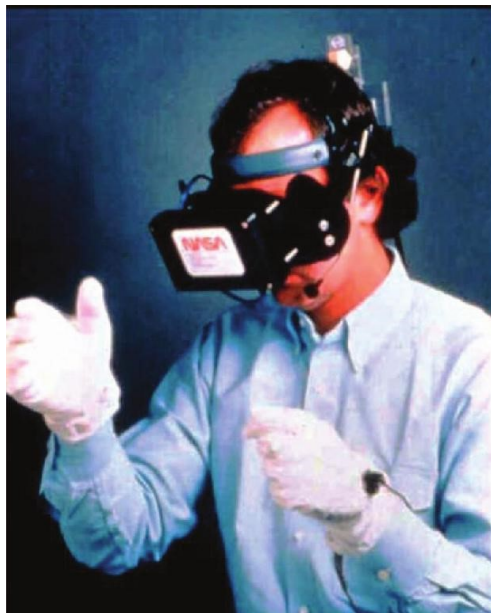


Figura 1: Demonstração da interface visual e dos *DataGloves* (George et al., 2018)

1.2.1 Stanford Research Institute (SRI) e os primeiros conceitos em cirurgia

O primeiro passo na investigação e elaboração de robôs cirúrgicos foi iniciado por Phil Green em 1986, professor na *Stanford Research Institute* (SRI). Este ambicionou um manipulador com habilidades aumentadas destinado à microcirurgia vascular e anastomótica. Os primeiros conceitos básicos foram pensados a fim de oferecer um campo visual, auditivo e uma interface a fim de manipular os instrumentos operativos, integrados num capacete de realidade virtual (RV) combinado com as *DataGloves* do Jamie Lanier. Infelizmente, devido a falta de perícia na realização das tarefas desejadas o protótipo foi rapidamente abandonado por causa da sua inadequação no contexto médico. (George et al., 2018; Ranev & Teixeira, 2019).

O protótipo funcional desenvolvido em seguida, chamado sistema cirúrgico teleoperado de Green foi reorganizado em duas partes: de um lado uma estação de trabalho, destinada ao cirurgião, incluindo um monitor tridimensional 3D oferecendo uma experiência visual imersiva graças a óculos polarizados e a integração de controladores manuais dos instrumentos cirúrgicos e uma segunda unidade remota, incluindo duas câmaras estereoscópicas e dois manipuladores, simuladores de braços, com pontas de instrumentos permutáveis. Os braços tinham 4 Graus de Liberdade (GDL) e incluíram uma noção de controlo sensitiva da força aplicada aos instrumentos, chamada háptica, através dos manipuladores. (George et al., 2018; Ranev & Teixeira, 2019).

Percebendo as múltiplas vantagens do sistema de telepresença de Green em comparação a cirurgia laparoscópica tradicional, nomeadamente na eliminação do efeito de fulcro e no aporte da visão estereoscópica o protótipo foi reciclado e fusionado como peça central nas pesquisas da *Advanced Biomedical Technologies Program* sob a direção da (DARPA), com objetivos aplicáveis ao setor militar, destinado a *Medical Forward Surgical Treatment* (MEDFAST), representado na Figura 2, conceito que ambicionou uma sala de operação completa integrada num veículo blindado, capaz de realizar operações cirúrgicas remotas durante a evacuação dos soldados das zonas de conflito militar, integrando vários instrumentos como radiografia digital, administração anestésica e medicamentosa, sistemas de aspiração e futuramente o CBCT (George et al, 2018).

Devido ao facto de a MEDFAST ser um veículo em movimento, a redução do tremor para estabilizar o conjunto permitiu, assim, que a otimização da destreza fornecida pelo sistema de telepresença, permitindo a realização da intervenção cirúrgica (Ranev & Teixeira, 2019).

Em 1993, o sistema MEDFAST efetuou a primeira demonstração de eficiência em ensaios animais bem-sucedidos, no entanto, o sistema precisava ainda de ligação através de cabos. Em 1995 o protótipo evoluiu e foi adicionado um braço robótico comportando 6 GDL com integração de um sistema de telecomunicação baseado em micro-ondas concluindo testes sem fio a uma distância de 5Km. Em 1997, o sistema MEDFAST foi terminado integrando o sistema de telepresença em 1999 (George et al., 2018; Ranev & Teixeira, 2019).



Figura 2: O conceito original do MEDFAST (George et al., 2018).

1.2.2 Computer Motion e ZEUS

Paralelamente às pesquisas da SRI, em 1990 nasceu a companhia privada *Computer Motion*, sendo a primeira a produzir um aparelho aprovado pela *Food And Drug Administration* (FDA). Também financiados pela NASA e a DARPA, os âmbitos das investigações constituíram a pesquisa de um sistema de visualização endoscópica, controlado vocalmente, chamado *Automated Endoscopic System for Optimal Positioning* (AESOP) concebido a fim de melhorar e guiar o laparoscópio controlado pelo cirurgião. Em 1993 o protótipo foi usado clinicamente e disponibilizado no mercado em 1994, aprovado pela FDA (Palep, 2009).

Em 1996 foi introduzido o *HERMES*, um sistema integrado na sala cirúrgica permitindo a função de controlo vocal. No mesmo ano o protótipo evoluiu para *ZEUS*, sistema completo, integrando o AESOP e dois braços robóticos com 7 GDL, eliminando o efeito de tremores, e permitindo movimentos fluidos. O sistema foi concebido de maneira a montar os braços robóticos numa mesa cirúrgica havendo visualização 3D reciclando o sistema dos óculos polarizados da (SRI), integrando também controlos de cirurgia tele-operada. Em 1998 o sistema efetuou com sucesso uma anastomose tubária e cirurgia coronária em 1999. (George et al., 2018)

Em 2001, realizou-se a primeira cirurgia transatlântica, com um cirurgião em New York, (EUA), tele operando um paciente situado em Strasbourg, França, usando o sistema de telecomunicações *SOCRATES*, igualmente aprovada pela FDA. Em 2003 a companhia *Computer Motion* fusionou com a *Intuitive Surgical*. (George et al., 2018; Ranev & Teixeira, 2019).

As figuras 3 e 4 mostram a organização da estação de trabalho *ZEUS* da *Computer Motion*, disposta de maneira ergonómica, num bloco cirúrgico a operar.



Figura 3: O sistema cirúrgico ZEUS da *Computer Motion* (Hockstein et al., 2007).



Figura 4: A estação de trabalho ZEUS da *Computer Motion* num bloco cirúrgico (George et al., 2018).

1.2.3 Intuitive Surgical e Da Vinci Surgical System

Em 1995 *Intuitive Surgical* adquire as patentes da (SRI), e redesenha os protótipos iniciando novas pesquisas com base intelectual sólida preexistente.

A primeira versão elaborada foi chamada *Lenny*, diminutivo de Leonardo (Figura 5). O robô cirúrgico comporta três braços robóticos: dois de manipulação com 7 GDL e um braço dotado de câmara endoscópica, substituindo os óculos polarizados da SRI com um sistema vídeo mais elaborado com recurso a óculos de visão. (Palep, 2009; George et al., 2018; Ranev & Teixeira, 2019).

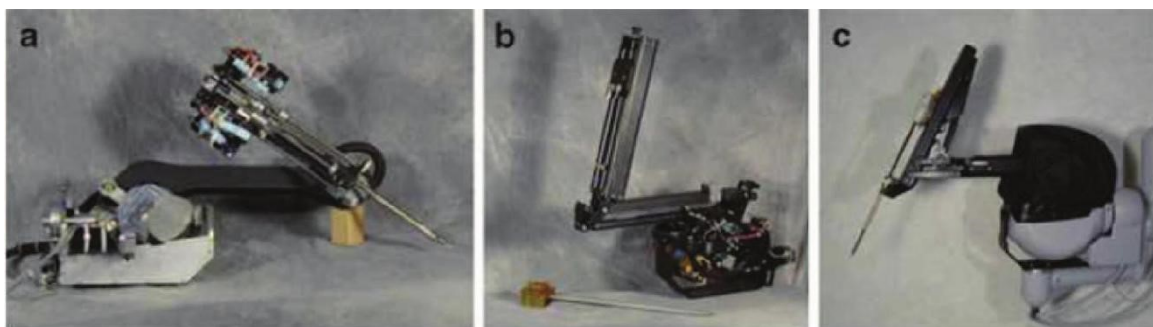


Figura 5: Os braços articulados cirúrgicos do Lenny, MONA e Da Vinci (George et al., 2018).

Em 1996, foram efetuados, sem sucesso, os primeiros ensaios clínicos animais motivando a realização de um segundo sistema elaborado o qual foi chamado de MONA, em memória à obra do pintor Leonardo da Vinci. O sistema iniciou os primeiros ensaios humanos com uma primeira colecistectomia bem-sucedida realizada num paciente de 72 anos e uma segunda logo depois. Passado um dia, foram efetuadas duas fistulas arteriovenosas. O aparelho foi logo aprovado pela FDA para visualização e retração tecidual. Em 1998 foi realizada uma faixa gástrica, mas devido a problemas técnicos o aparelho teve que ser ainda melhorado, resultando o Da Vinci Surgical System, que, desta vez integrou braços robóticos aumentados, elaborados pela SRI consolidando assim o sistema final (George et al., 2018) e permitindo incorporar os GDL necessários a reproduzir os movimentos e destreza do punho cirúrgico, até ultrapassar as capacidades naturais da mão humana (figura 6). (Smet et al., 2018).

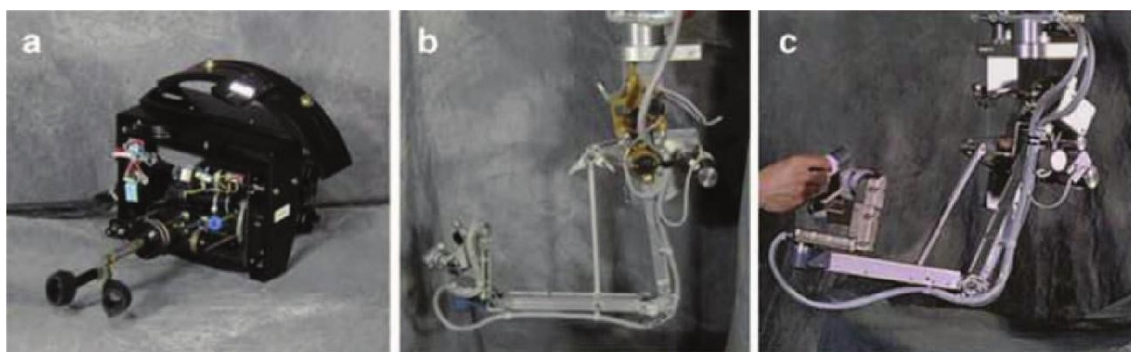


Figura 6: Os controladores do Lenny, Mona e Da Vinci (George et al., 2018).

Em 1998, o Da Vinci Surgical System é adotado para ensaios clínicos humanos na França, Alemanha e México realizando uma primeira venda na Alemanha, contando 10 aparelhos vendidos em 1999 (George et al., 2018).

Em julho 2000, o aparelho recebe a aprovação da (FDA) para cirurgia laparoscópica geral e para a reparação de válvulas mitrais em novembro 2002 (Palep, 2009).

O da Vinci Surgical System é atualmente usado em urologia, cirurgia geral, ginecologia, cirurgia cardiotorácica, pancreática, pélvica, pediatria, remoção de tumores esofágicos, cirurgia hepatobiliar e colo rectal (Leung & Vyas, 2014; Giullianotii 2019).

Em 2003, um 4º braço robótico foi adicionado (Leung & Vyas, 2014), e actualmente o sistema ultrapassa todos os competidores do mercado em termos de relevância na literatura científica e fiabilidade de execução, concluindo a história das pesquisas originalmente ambicionadas (figura 7) (Peters et al., 2018).



Figura 7: Da Vinci Surgical System (Peters et al., 2018).

2. O papel da tecnologia na educação

2.1 Estações de simulação em realidade virtual (RV)

O treino pré-clínico dos médicos dentistas é atualmente realizado em “cabeça de fantoma” consistindo numa região cefálica funcional com dentes incorporados, considerada discrepante em relação a realidade de um tratamento realizado no paciente humano (Kumar, 2017).

A realidade virtual apresenta como vantagem uma aprendizagem flexível incluindo a componente da autoeducação sem limite horário formal e sem riscos envolvendo humanos, aumentando assim o volume de treino pré-clínico dos alunos. Por outro lado, os custos em termos de material e consumíveis marcando um ponto de interesse em *Computer-aided Learning - Computer-aided Simulation* (CAD-CAL). (Roy et al., 2017).

O *SimoDont* é uma plataforma de treino clínico de simulação tridimensional 3D em RV. O sistema é constituído pela própria unidade de simulação que comporta instrumentos hápticos, com feedback instantâneo, permitindo obter a noção em termos de pressão e força assim como trabalhar numa postura ergonómica. Existem vários módulos programáveis para a dentisteria, endodontia, periodontologia, higiene oral e prótese fixa (Roy et al., 2017).

O sistema apresenta a vantagem de possibilitar a customização e emulação de vários casos clínicos pelos professores e alunos permitindo modular a dificuldade do caso a tratar (Huang et al., 2018)

A figura 8, mostra a composição do sistema *SimoDont* no seu aspeto físico, com a unidade de controlo dos instrumentos hápticos, o monitor assim que o sistema de visão imersiva para o aluno. A figura 9 mostra um exemplo de um exercício realizado na plataforma.

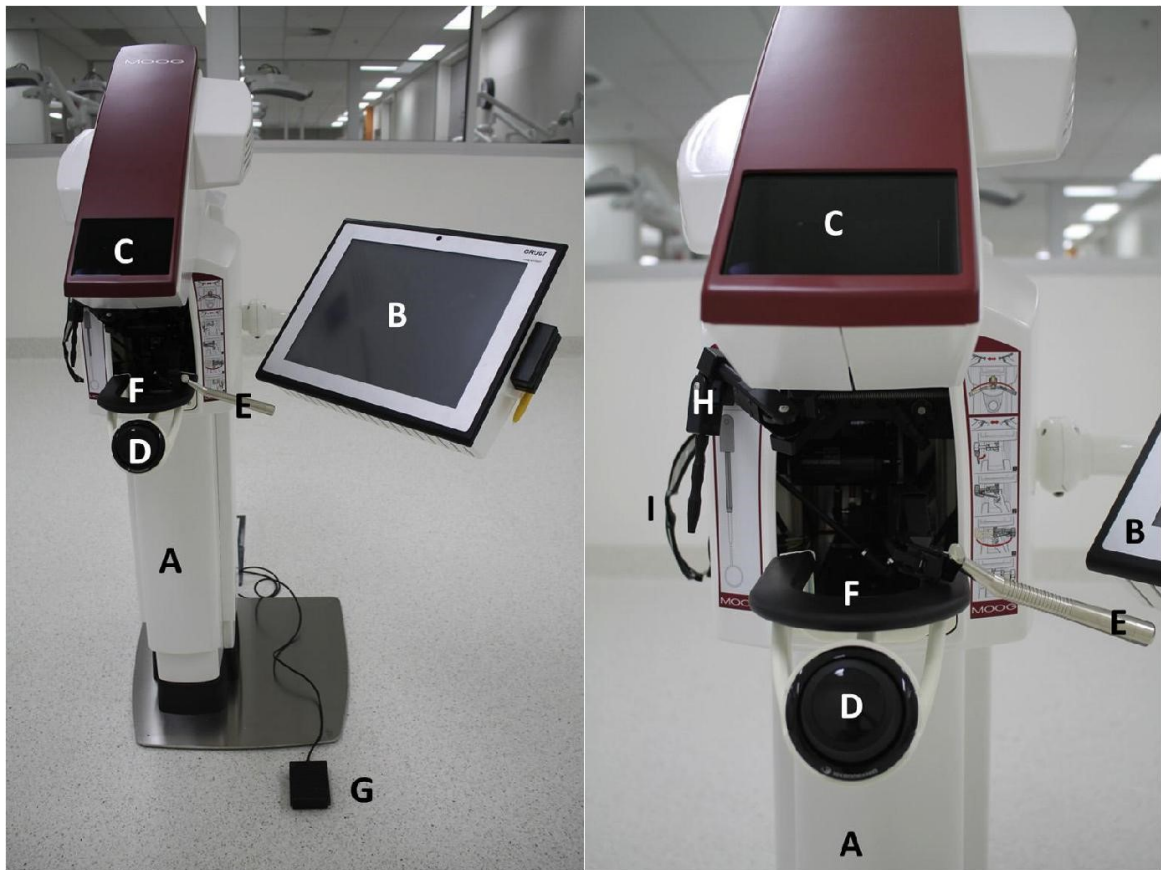


Figura 8: *SimoDont* (Roy et al., 2017).

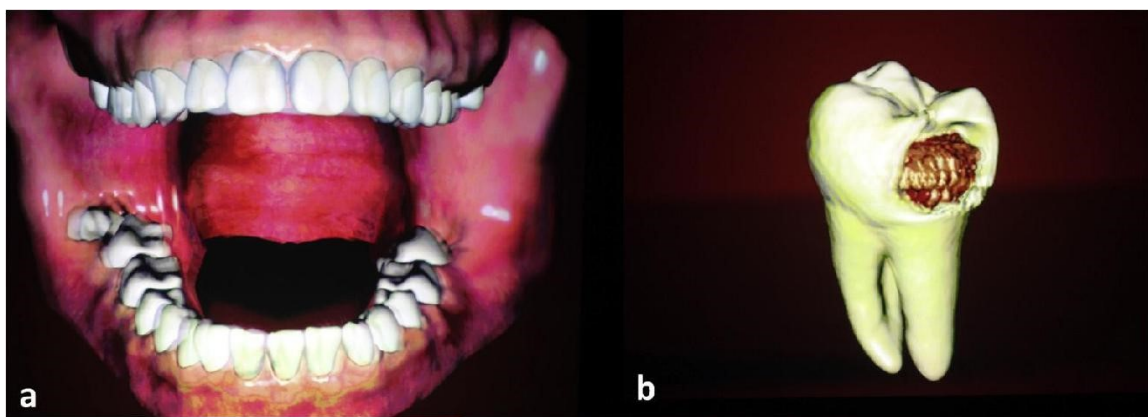


Figura 9: Exemplo de treino na plataforma *SimoDont* (Roy et al., 2017).

2.2. Pacientes humanoides

O treino no ambiente da realidade virtual progrediu rapidamente na área médica, permitindo a repetição infinita dos procedimentos clínicos (Miki et al., 2016).

O *Dentsim* é o exemplo que incorpora os conceitos do treino em situação real incorporando também o feedback háptico instantâneo (Huang et al., 2018).

O aparelho de simulação consiste numa unidade ergonômica de treino simulando o trabalho em situação real, constituída pela cabeça do fantoma assim que um kit de instrumentos dentários. O conjunto do sistema é conectado a 2 computadores: o primeiro serve para controlar o fantoma pelo professor e o segundo para a observação do exercício realizado pelo aluno, graças a uma câmara instalada acima do conjunto oferecendo visão directa da cavidade oral ao supervisor. A cabeça é equipada de vários sensores e motores, permitindo ao manequim mexer e ter reflexos físicos bruscos (figura 10) (Roy et al., 2017).



Figura 10: *DentSim* (Roy et al., 2017).

A eficiência do tratamento depende das competências e experiência do clínico a operar e que se adquirem com a experiência. O modelo tradicional no que concerne ao treino pré-clínico dos estudantes de medicina dentária e o paciente fantoma clássico é melhorado no caso do *DentSim*. A fim de ultrapassar as limitações dos sistemas disponíveis, e numa perspetiva futurista, o conceito do paciente totalmente robotizado foi desenvolvido com o intuito de oferecer ao aluno uma situação de treino realista e digitalmente enquadrada.

O conceito *Simroid* foi desenvolvido na universidade japonesa Kokoro. O robô tem aparência humana, capaz de emitir respostas realistas com habilidade em falar, simular expressões faciais, reagir e simular dor o desconforto, com capacidade de avaliar a qualidade do tratamento recebido e assim emitir uma crítica como paciente (Abe, 2017; Kumar, 2017).

Os resultados dos estudos mostram que *Simroid* tem vantagens na simulação de uma consulta, nomeadamente, em termos de comunicação com o paciente quer na avaliação do tratamento obtido como das competências reacionais do aluno, permitindo a monitorização do sucesso clínico (Liu et al., 2020).

Para além da simulação em situação real, o *Simroid* foi concebido como um paciente de sexo feminino, obrigando o clínico evitar qualquer contacto com o peito do paciente, acentuando assim a noção ergonómica, e por sua vez jurídica em termos de postura que o aluno em medicina dentária deve obrigatoriamente cumprir (figura 11) (Tanzawa et al., 2012; Rawtiya et al., 2014).

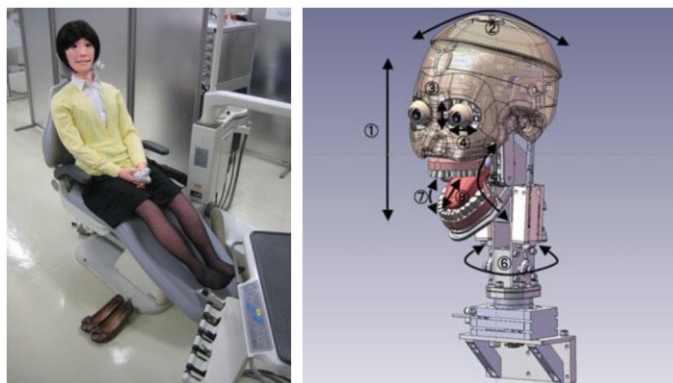


Figura 11: *Simroid* (Tanzawa et al., 2012).

2.3 Preparação para cirurgia robótica

O termo da cirurgia robótica é geralmente usado referindo se a sistemas cirúrgicos e plataformas similares enquanto a cirurgia assistida por computador refere se ao planeamento cirúrgico, navegação e imagens guiadas em tempo real (Ranev & Teixeira, 2019) permitindo criar um novo tipo de salas de operação (Kumar, 2017).

A emergência da tecnologia cirúrgica robótica previamente descrita implica o desenvolvimento de programas de ensino e aprendizagem na capacidade a usar tecnicamente as ferramentas para residentes e pós-doutorados, para além das competências intelectuais da profissão (Moles et al., 2009).

Os cirurgiões têm de ter habilidades, tanto no controlo dos aparelhos como das habilidades psicomotoras exigidas pela cirurgia robótica e aumentar a curva de aprendizagem nesta área, sabendo controlar os instrumentos de visualização, o posicionamento do braço robótico, a habilidade de perceção correta da profundidade do campo e apreciação das forças aplicadas no braço robótico controlando a sensação de feedback háptico. (Wu et al., 2019).

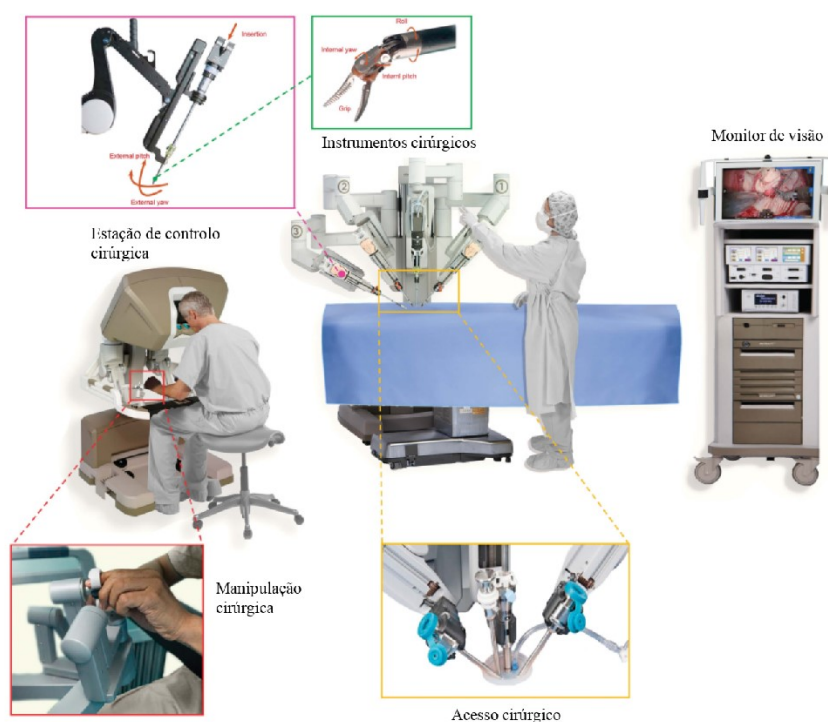


Figura 12: Esquema de uma sala de cirurgia robótica (Liu et al., 2017).

O facto de o sistema Da Vinci Surgical System ter um quarto braço disponível, permite ser controlado por um outro cirurgião ao mesmo tempo, enquanto que no ensino clínico presencial este pode a partir de uma localidade diferente. Esta inovação permite modalidades educativas como a tele-mentoria e a tele-vigilância num contexto de treino clínico, em situação real, permitindo ao cirurgião fazer-se passar por assistente durante cirurgias concretas em pacientes e eventualmente ser substituído pelo mentor em casos de dificuldades na realização de determinadas tarefas (figura 12) (Leung & Vyas, 2014).

As equipas cirúrgicas como o enfermeiro, o anestesista e o cirurgião auxiliar assistem visualmente à operação e participam na preparação das especificações cirúrgicas a respeitar como a inicialização e configuração do aparelho e sistema visual assim que como a otimização do bloco cirúrgico. A Figura 13, mostra a disposição da sala cirúrgica em função do que se vai operar. (Giulianotti et al., 2003).

A co-manipulação é feita com a assistência do cirurgião auxiliar no manuseamento de um instrumento e na realização de uma ação, como por exemplo numa injeção, enquanto a tele-manipulação permite usar um manipulador robótico, manipulado pelo cirurgião auxiliar, adjacente ao sítio cirúrgico, ou numa outra localidade e assim assistir à operação in vivo (figura 13) (Smet et al., 2018).

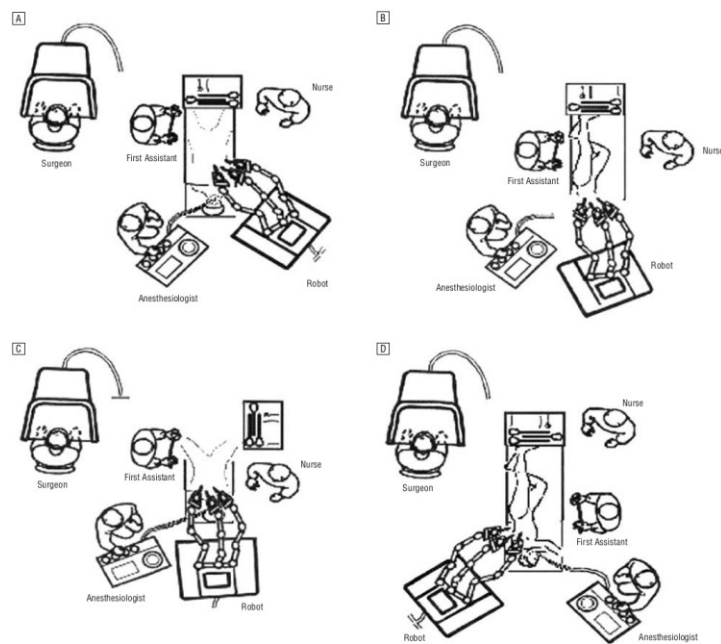


Figura 13: Organização do bloco operatório em cirurgia robótica (Giulianotti et al., 2003).

3. Cirurgia robótica

3.1 Cirurgia ortognática e maxilo-facial

Em cirurgia oral e maxilo-facial, as aplicações computacionais estão a ser aplicadas com recurso a imagiologia, planeamento, monitorização e guiagem durante a operação (Lee, 2013).

A cirurgia ortognática trata do reposicionamento do maxilar e mandíbula com objetivo de devolver a simetria perdida e restabelecer as proporções estéticas. A operação é habitualmente feita manualmente. No entanto, os últimos avanços tecnológicos permitiram realizar automaticamente de maneira passiva – guiada pelo cirurgião, ou, ativa – monitorizada e controlada pelo cirurgião, permitindo evidenciar diferenças significativas entre a técnica manual e robotizada. (Theodossy & Bamber, 2003).

A literatura sugere que a reconstrução do esqueleto mandibular é um desafio técnico na área da cirurgia reconstrutiva. Esta é realizada com recurso a enxerto ósseo em pacientes vítimas de traumas, deformidades faciais e ressecções oncológicas. Uma solução realista reside no enxerto ósseo autólogo, proveniente da fíbula do próprio paciente, com corte adaptado e posicionado no sítio recetor do osso mandibular.

Chao et al. (2015) publicaram um estudo pré clínico realizado *in vitro* recorrendo à realização do corte na fíbula de forma pré programada reduzindo assim, a possibilidade de ocorrência de erro humano na realização da osteotomia e colocação do enxerto no sítio adequado. Neste caso, aproveitou-se a transferência da planificação cirúrgica virtual a executar para o robô tendo consistido na modelização e digitalização das peças ósseas do paciente, mandíbula e fíbula, imprimindo os modelos em 3D, planificando a realização da osteotomia e por fim a realização do procedimento de corte nos modelos impressos. Dezoito osteotomias realizadas *in vitro*, (Chao et al., 2015) permitiram tornar realizável uma tal cirurgia (figura 14).

Zhou et al., (2017) realizaram um ensaio animal em dois cães, usando o mesmo conceito, na investigação da *Mandibular Angle Split Osteotomy* (MASO) - usado no tratamento de ângulos mandibulares proeminentes e que implica corte ósseo. Após a realização da simulação e planeamento da cirurgia, esta foi executada e bem-sucedida permitindo a realização de um plano de corte na mandíbula verificando assim a viabilidade da técnica, usufruindo da precisão do planeamento pré-operativo e da realização experimental de uma cirurgia precisa.

Enfim, Kim et al. (2016) publicaram um comparativo de dois casos clínicos humanos, realizando osteotomia de uma peça óssea na fíbula e enxerto na mandíbula. O primeiro caso foi realizado com apoio digital e cirurgia robótica, o segundo usado a mão livre. Os autores concluíram que o caso realizado com recurso ao planeamento cirúrgico digital, chamado *Virtual Surgical Planning* (VSP) apresentou uma execução fiel ao planeamento, num tempo menor, resultando numa recuperação mais rápida do paciente e um resultado estético muito superior quando comparado com o caso realizado a mão livre nomeadamente na cicatriz que a operação deixou assim que a recuperação pós-operatória.

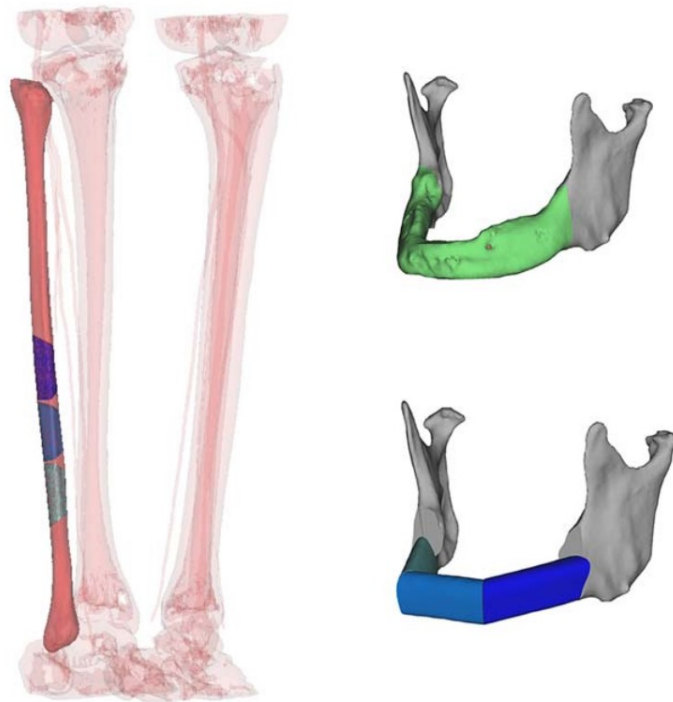


Figura 14: Planeamento virtual do enxerto para reconstrução mandibular (Chao, et al. 2015).

3.1.1 Controlo da velocidade de fresagem cortical em osteotomia

A cirurgia ortognática usa o corte ósseo a fim de separar as peças ósseas. O processo de fresagem óssea é um procedimento de alto risco e pode causar acidentes com impacto sério no paciente nomeadamente danos tecidulares, dos vasos e nervos podendo levar a paralisia facial. A fim de prevenir estes acidentes a monitorização do braço robótico a executar a tarefa tem de ser vigiada tanto na posição e eixo do corte como na velocidade de fresagem (Kasahara et al., 2012).

A fresagem óssea é uma operação indispensável nesta área. Os danos ósseos devido à fresagem dependem da relação entre o tempo de exposição, o aumento da temperatura e o diâmetro da broca. A osteonecrose ocorre imediatamente entre 47°C e 50°C. Abaixo de 44° o efeito é menos notável e depende também do diâmetro da broca. O problema crucial reside no aumento de temperatura que pode provocar queimaduras locais. O uso de braço robótico permite controlar o processo afim de não ultrapassar os limites (Omar & Bamber 2010).

Na cirurgia óssea é desejável ter uma temperatura e um tempo de exposição o mais baixo possível. Devido a complexidade da estrutura óssea, a sua fresagem é um processo muito sensível e, por esse motivo a aplicação de forças mais intensas podem provocar quebra óssea. Por essa razão a fresagem tem de ser feita abaixo de 40°C (Tahmasbi et al., 2017).

3.2 TORS

A cirurgia robótica trans oral (TORS) aplica aparelhos robóticos na execução de procedimentos cirúrgicos a fim de diminuir a morbidade e ultrapassar as limitações associadas a cirurgia da cabeça e do pescoço. Tem sido demonstrado ao longo do tempo o seu valor e eficiência nomeadamente usando o sistema cirúrgico *Da Vinci Surgical System* no tratamento do cancro de laringe e faringe, e por exemplo, na marsupialização de quisto valecular e excisão de tumores tiroideos (Benito et al., 2020).

Vários estudos em cadáver mostraram a perícia minimalmente invasiva do sistema para excisão de tumores malignos e beninos da base da língua, supraglóticos e tonsilares. (Moles et al., 2009; Benito et al., 2020).

Contrariamente à cirurgia aberta a cirurgia minimalmente invasiva apresenta como vantagem a limitação da abertura durante as cirurgias e reduz o tempo de hospitalização, convalescença, evitando também grandes cicatrizes, permite maior rigor na execução de atos graças a triangulação intra-operativa, melhoria da dexteridade e precisão (Peters et al., 2018) e o conjunto permite controlar a dor pos-operatória (Bao et al., 2014).

Atualmente a TORS tem um uso expandido na area de cabeça e pescoço, nomeadamente na remoção de neoplasmas, quistos da cavidade oral suficientemente expostos, tumores laríngeos e nasofaríngeos, das glandulas salivares e tiroide, na sutura no encerramento de fendas labiais (Liu et al., 2017).

A literatura sugere que os resultados da cirurgia robótica assistida com o *Da Vinci Surgical System* estão a ser muito promissoras em termos de resultados clínicos (Borumundi et al., 2011).

3.2.1 Cirurgia da laringe e das glândulas salivares

A incidência dos tumores orais, particularmente tonsilares e da base da língua aumentaram significativamente a nível mundial (Tamaki et al., 2020).

Em 2009, a TORS foi aprovada pela FDA no tratamento do cancro do laringe e orofaringe (Blanco et al., 2013).

A laringe tem um papel importante na fonação, respiração e na proteção contra aspiração alimentar. O tratamento do cancro da laringe reside na laringectomia total acompanhada de protocolos envolvendo radioterapia e quimioterapia. Para além do tratamento considerado como o *Gold Standard* nesta situação, o paciente é exposto a riscos como infeções, sangramentos ou fístulas cutâneas pós-operatórias. As cirurgias de laringectomia total operadas com o da *Vinci Surgical System* em TORS contribuíram para reduzir, significativamente, as complicações cirúrgicas. (Wang et al., 2020) tanto nos casos malignos como benignos (Blanco et al., 2013; Tamaki et al., 2020).

Do outro lado, pacientes com fendas laríngeas operados com TORS a fim de encerrar a fenda evidenciam um grande sucesso sem nenhuma complicação intra-operativa o pos-operativa. (Liu et al., 2017).

Walvekar et al. (2010) foram os primeiros a assinalar a remoção de um cálculo submandibular de 20 mm com a reparação subsequente do ducto salivar usando o sistema robótico, realizando a operação em 120 minutos sem experimentar nenhuma complicação pós-operatória (Liu et al., 2017).

Razavi et al. (2015) reportaram a remoção de pedras sub-mandibulares usando TORS em 22 pacientes sem lesão do nervo lingual e sintomatologia pós-operatória significativa.

3.2.2 Goteiras de proteção em TORS

Para além do acesso, pela parte do paciente, à tecnologia e disponibilidade do equipamento, as principais limitações da TORS, envolvem os custos do material, formação e com os contractos de manutenção dos aparelhos. (Moles et al., 2009).

A cirurgia apresenta também algumas desvantagens como a desidratação a lesão dentária durante os procedimentos representando uma complicação muito comum envolvendo custos e tratamentos adicionais pela parte do paciente caso uma tal situação aconteça (Ubayasiri et al., 2017).

Atualmente, durante os procedimentos existem goteiras protetoras, mas que demonstram ser ineficazes porque mal-adaptadas na boca dos pacientes. Alguns autores investigaram a redução da incidência dos danos dentários ligados a TORS procurando assim a reduzir os aspetos litigiosos legais e pós-operatórios que podem surgir (Benito et al., 2020).

Ubayasiri et. al. (2017) referem uso de *Spandex* afim de proteger as comissuras labiais, em conjunto com a realização de goteiras próprias para o paciente em material termoplástico (figura 15).

Convergingo na mesma direção, Benito et. al. (2020) refere uso de *Aquaplast* como material termoplástico afim de moldar as arcadas do paciente logo na sala de operação, não necessitando da realização de impressões que apresentam como principal vantagem o custo da realização das goteiras assim como o ganho de tempo (figura 16).



Figura 15: Uso de *Spandex* durante TORS (Ubayasiri et al., 2017)

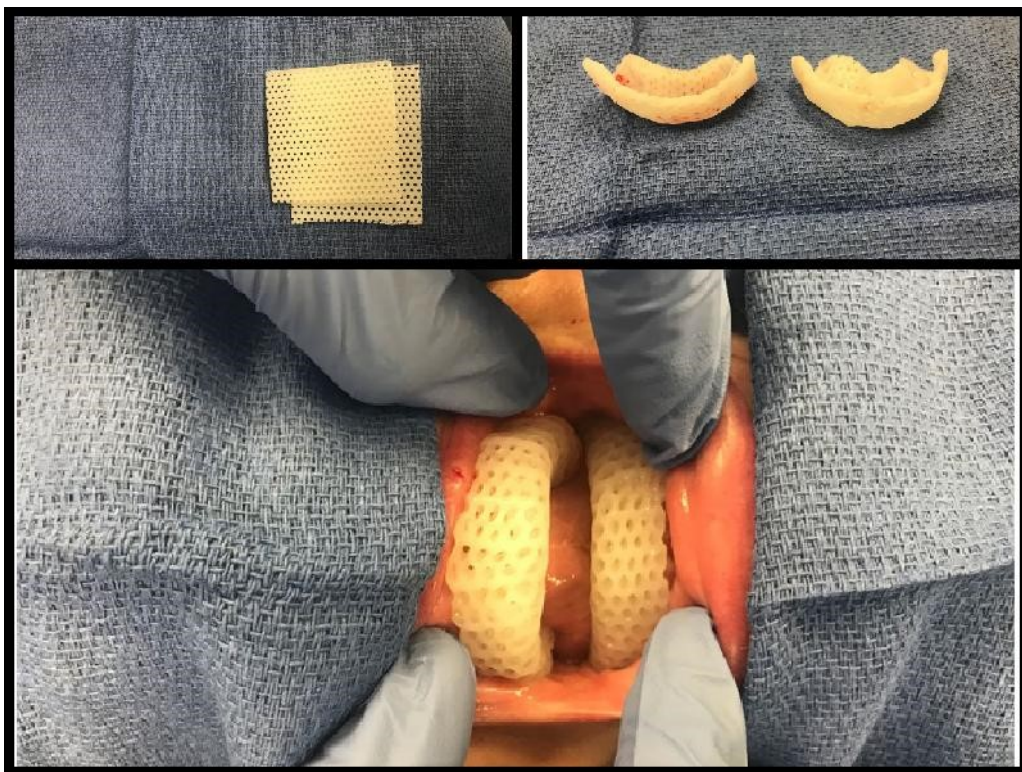


Figura 16: Moleiras de proteção fabricadas em *Aquplast* (Benito et al., 2020).

4. Implantologia

4.1 Implantes unitários

O implante dentário em titânio foi introduzido por Per-Ingvar Brånemark nos anos 1960 (Schwitalla & Müller, 2013). Segundo a *American Dental Association* (ADA), aproximadamente 113 milhões de Americanos adultos tem falta de dentes e 19 milhões são totalmente desdentados. Depois da perda da dentição natural, a morfologia craniofacial muda, e as funções mastigatórias e vocais são afetados (Jiang et al., 2014).

Indicado na substituição de um ou mais dentes, o tratamento com implantes é indicado na reabilitação do edentulismo completo ou parcial (Seki et al., 2020).

O implante simula a raiz do dente em falta, implantado dentro da estrutura óssea da cavidade oral a fim de providenciar retenção e suporte da prótese dentária. (Gupta & Weber, 2020).

Graças ao desenvolvimento da tecnologia implantaria, o tratamento passou a ser a primeira opção terapêutica no tratamento da falta de dentes (Rawtiya et al., 2014) permitindo ao paciente com perda dentária recuperar as suas funções alimentares, fonéticas, melhorando, assim, a sua qualidade de vida a longo prazo (Sun et al., 2014).

A necessidade clínica, a preparação e a colocação do implante tem de ser rigorosamente preparada, evitando assim posições que possam provocar complicações como sangramentos graves, lesões de nervos e perfurações. A fim de ultrapassar estas complicações várias técnicas foram desenvolvidas assegurando assim cada vez um resultado mais satisfatório e fiável. (Liu et al., 2020).

Atualmente, há várias maneiras de colocar um implante dentário. A primeira é através de mão livre, a segunda consiste no recurso a guias cirúrgicas e a terceira consiste na utilização de um sistema robótico incluindo a navegação e guia cirúrgica.

A implantação realizada através da mão livre é o método tradicional de trabalho, mas a falta de precisão e os possíveis acidentes dependem das habilidades e experiência de cada cirurgião (Sun et al., 2014).

O uso de guias cirúrgicas pré parametrizadas, controlando o eixo de inserção da peça é considerado como uma estratégia muito fiável a fim de assistir no diagnóstico e facilitar o posicionamento correto do implante de acordo com a posição da prótese dentária dependendo esta muito da manufatura e do desenho da guia (Wu et al., 2019).

A implantologia assistida por computador foi criada a fim de evitar erros de posicionamento e permitir que estes sejam colocados de maneira exata. Esta deve ser considerada com um conjunto de sequência de passos, cada um tendo consequências para os próximos, sendo mais reproduzível e exata do que a implantologia à mão livre assegurando a proteção das estruturas anatômicas críticas (Azari & Nikzad 2008; Arcuri et al., 2016).

Uso de *Digital Smile Design* (DSD) em conjunto com meios imagiológicos permitem de coincidir a posição dos implantes com as próteses a fim de garantir um bom efeito funcional e estético. O planejamento digital permite a comunicação entre as equipas médicas, o laboratório e contribui na motivação do paciente (Arcuri et al., 2016).

O acesso a tecnologia robótica nos procedimentos médicos é demorado devido ao acesso limitado por causa do custo, complexidades dos sistemas e formação dos cirurgiões (Tahir et al., 2019).

Atualmente, o primeiro sistema robô-implantológico comercial, chamado *Yomi Robotic System for Dental Implant Surgery* foi desenvolvido pela empresa *Neocis*. O sistema é usado a fim de assistir os médicos dentistas a efetuar cirurgias implantarias. O sistema pode definir com precisão os procedimentos cirúrgicos fornecendo aos médicos instruções sobre o uso de instrumentos cirúrgicos mais adequados e fornece uma interface visual a fim de controlar com precisão a direção da cirurgia. O sistema Yomi usa tecnologia de guia háptica com um feedback multissensorial com o objetivo de atingir um tratamento o menos invasivo possível. (Wu et al., 2019; Liu et al., 2020).

Trata-se do primeiro sistema implantológico robotizado disponível no mercado e aprovado pela FDA em 2017 (Wu et al., 2019).

A figura 17 representa o sistema de navegação computadorizado destinado a assistência no planeamento pré-operatório e cirúrgica intraoperatório. O sistema oferece programa específico a fim de planejar os procedimentos de implantação e providencia guia navegacional dos instrumentos cirúrgicos durante a operação, oferecendo guiagem háptica controlando a posição de fresagem, orientação e profundidade da cavidade. O sistema assistido deixa o cirurgião controlar cada passo. Yomi permite uma visualização clara do campo cirúrgico contrariamente às guias plásticas e permite também ao cirurgião mudar o plano se for preciso. Graças ao CBCT o cirurgião recebe informação em tempo real, tanto no aspeto háptico que visual e permite obter uma fiabilidade e precisão sem necessidade de fabricação de guia cirúrgica em plástico (Sreelekshmi et al., 2017; Wu et al, 2019).



Figura 17: *Yomi Robotic System for Dental Implant Surgery* adotado de Neocis.com

4.2 Implantes zigomáticos

O implante zigomático é um tratamento alternativo no que se refere a um maxilar severamente atrofiado evitando grandes enxerto ósseos. Devido à complexidade da estrutura zigomática a implantação dos implantes zigomáticos fica uma tarefa delicada que deve ter em consideração inúmeros aspetos de segurança.

O uso de sistemas navegacionais em conjunto com a cirurgia planeada evita a possibilidade de trauma durante a operação. Devido a sua precisão e estabilidade, os robôs cirúrgicos foram usados a fim de substituir as operações manuais. Neste sistema a aplicação de força é controlada e autoriza a modificação manual da posição alvo controlando a direção e profundidade. (Cao et al., 2020).

4.3 Simuladores de mastigação

A investigação em implantologia encontra muitos problemas ainda não resolvidos em particular a interface de distribuição do stresse entre os componentes do implante com o osso adjacente, por isso foram desenvolvidos sistemas a fim de testar a transmissão de forças e avaliar a interface da prótese, cimento, implante e osso. (Jiang et al., 2014).

Para além do planeamento, a colocação de implantes implica, o controlo do posicionamento, e a tomada em linha de conta do gradiente e modulo de elasticidade dos implantes em titânio com o osso em seu redor. A não consideração deste parâmetro pode provocar stresse na junção do osso-implante durante a transferência de carga podendo acentuar a perda óssea peri-implantária (Schwitalla & Møller, 2013).

O simulador de mastigação, graças ao seu desenho e os seus componentes otimizados participa no sucesso do planeamento. De facto, o sistema foi desenvolvido com objetivo na reabilitação, baseado em estudos de ciências nutricionais e em teste de implantes dentários a fim de reproduzir a biomecânica natural do sistema mastigatório e correlacionar o conjunto com a oclusão e as peças protéticas. O aparelho é usado na avaliação da textura dos alimentos e materiais baseando-se nos testes cíclicos implicando compressão uniaxial conforme as diretivas (ISO 14801) com o nível requerido da força mastigatória e na biomecânica mandibular ajudando no estudo da interação do implante dentário para a sua melhor implantação, visando a saúde óssea e a estabilidade do implante. (Tahir et al., 2019)

Todos os protótipos têm em comum duas placas paralelas, articuladas numa geometria tridimensional permitindo a realização de movimentos feitos com 6 GDL usados a fim de obter uma dexteridade máxima no sentido horizontal vertical e sagital respeitando as 6 chaves de oclusão de Andrews, simulando a mastigação e as forças de mordida monitorizadas por computador e para além de detetar as falhas, identificar o ponto fraco do conjunto que compõe a reabilitação protética assim como o conjunto Figura 18 (Alemzadeh & al., 2007; Alemzadeh & Raabe, 2008, Tahir et al., 2019).

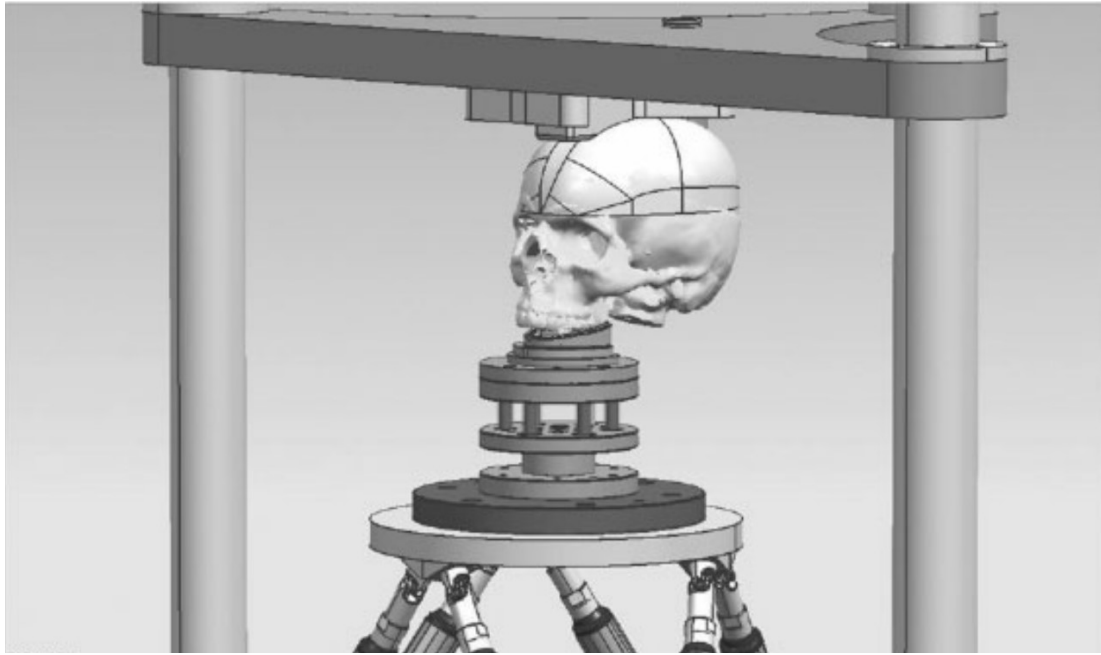


Figura 18: Assemblagem (3D) do simulador de mastigação (Alemzadeh & Raabe; 2008).

O ecossistema descrito na figura 19 e constituído por três partes (Alemzadeh et al., 2007):

- O aparelho de mastigação propriamente dito que vai simular uma serie de combinações de mordidas e os movimentos físicos a executar consoante os testes desejados na monitorização dos parâmetros requeridos que seja a peça implantaria, do material usado na reabilitação o eventualmente do cimento.

- A segunda parte é constituída pelo codificador, que serve de intérprete entre o programa de controlo e a placa amplificadora. O codificador vai gerir o sinal digital recebido do computador e converter lo em análogo, transmitindo as informações à placa amplificadora que alimenta o robô em energia e informação.

- A última parte é o computador que contem o programa de controlo de simulação e avaliação do teste, monitorizando e analisando os dados recolhidos. Controla e programa a velocidade dos movimentos assim que as direções a executar.

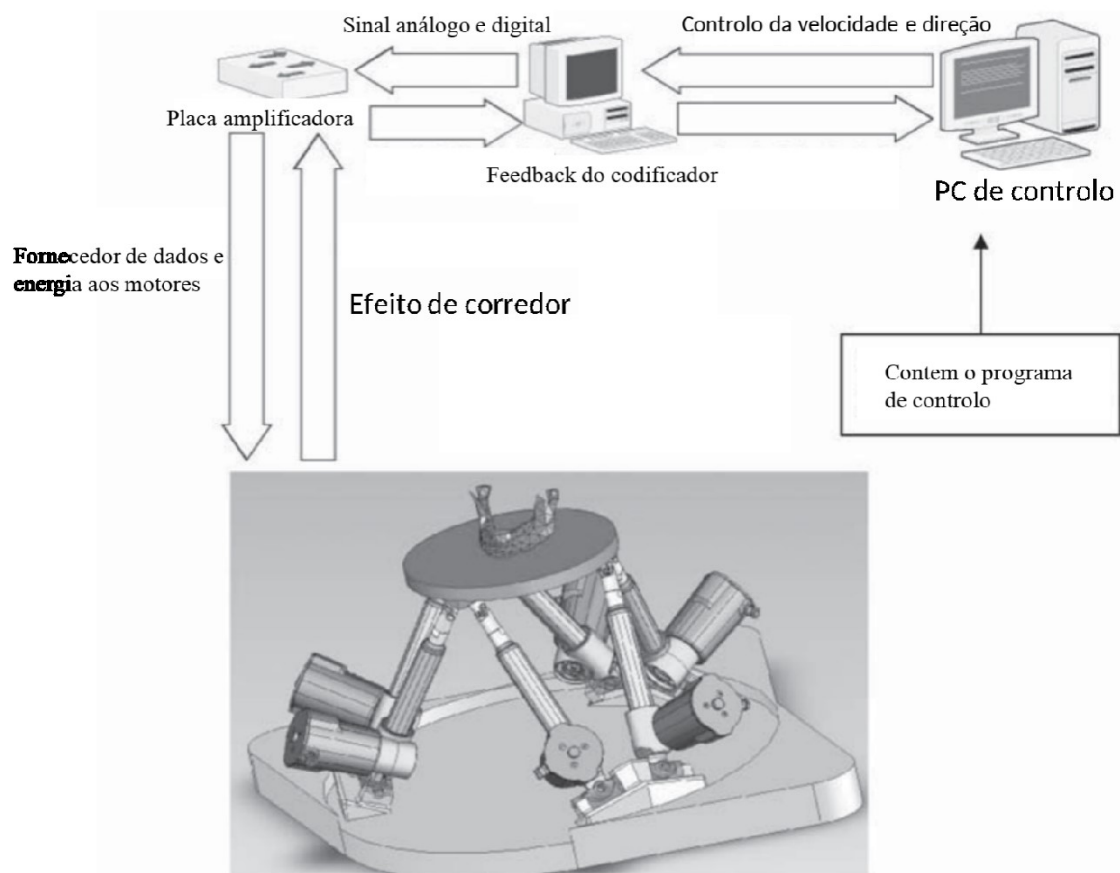


Figura 19: Configuração e esquema do sistema (Alemzadeh et al., 2007).

Conjugando o sistema de mastigação com a planificação da (VSP) e (DSD), assim que o desenho digital da prótese o aparato tem a captabilidade de melhorar o processo da colocação do implante e aumentar o sucesso pós-operatório de uma reabilitação, que seja implantaria, protética e restauradora (Rawtiya et al., 2014).

4.4 Arranjo de dentes automático em prótese total

A maneira tradicional de montar os dentes numa dentadura é feita manualmente: o resultado depende da experiência de cada técnico de prótese dentária. As próteses totais variam no tamanho dos dentes, assim que na disposição e orientação de cada peça (Sreelekshmi et al., 2017).

A prótese tem que satisfazer a oclusão, funcionalidade e estética. Neste sentido foi desenvolvido robôs que organizam a disposição dos dentes em função da solução mais adequada para o paciente. (Liu et al., 2020).

O robô de arranjo de dentes automático permite desenvolver curvas e arranjar os dentes em função da mordida de cada paciente (Kumar, 2017).

O robô é constituído de 14 manipuladores independentes, num conjunto de 84 GDL, e ajustam a posição de cada dente consoante 6 GDL: três de rotação e três de inclinação (figura 20) (Jiang et al., 2014).

O robô é capaz de organizar uma dentadura completa em 30 minutos (Kumar, 2017).

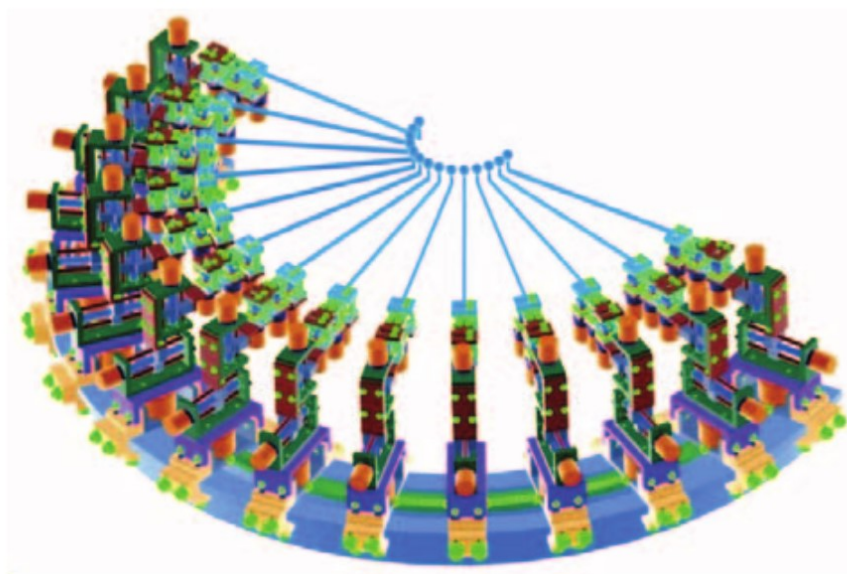


Figura 20: Estrutura do manipulador de arranjo de dentes com 84 GDL (Jiang et al. 2014).

5. Ortodontia

Para além do tratamento ortodôntico, os meios digitais servem na planificação do tratamento, diagnóstico clínico e na elaboração da estratégia terapêutica a adotar. Em ortodontia a robótica aplica-se na dobragem e flexão dos arames, considerando a posição dos dentes, os seus graus de angulação e rotação contribuindo a aliviar os erros e imperfeições da dobragem que podem surgir quando a operação é feita manualmente (Kumar, 2017).

O robô de flexão de arcos *Suresmile*, (Figura 21), analisa impressões digitais 3D e usa a tecnologia CAD/CAM a fim de elaborar os planos de tratamento e personalizar os aparelhos ortodônticos. Constituído por dois braços robóticos dotados de sensores de força aplicada, o aparelho dobra o arame consoante o planeamento efetuado e pré-visualizado digitalmente (Jiang et al., 2014).

O sistema LAMDA de *Gilber*, Figura 22, realiza o processo aplicando uma força de compressão horizontal no arame, e serve na fabricação de arcos linguais. O aparelho consegue realizar movimentos só no plano X/Y e não pode fazer formas 3D contrariamente ao sistema *Suresmile* (Jiang et al., 2014).

A literatura sugere que a dimensão robótica no que consiste da ortodontia toca principalmente na dobragem de arcos, mas os robôs mencionados estão ainda num estágio de prototipagem e de verificação e ainda não podem ter aplicações clínicas concretas nomeadamente por causa de impossibilidade na realização de certas dobras, que o aparelho ainda não consegue assumir (Liu et Al. 2020).



Figura 21: Sistema de dobragem de arrame *Suresmile* (Jiang et al., 2014).

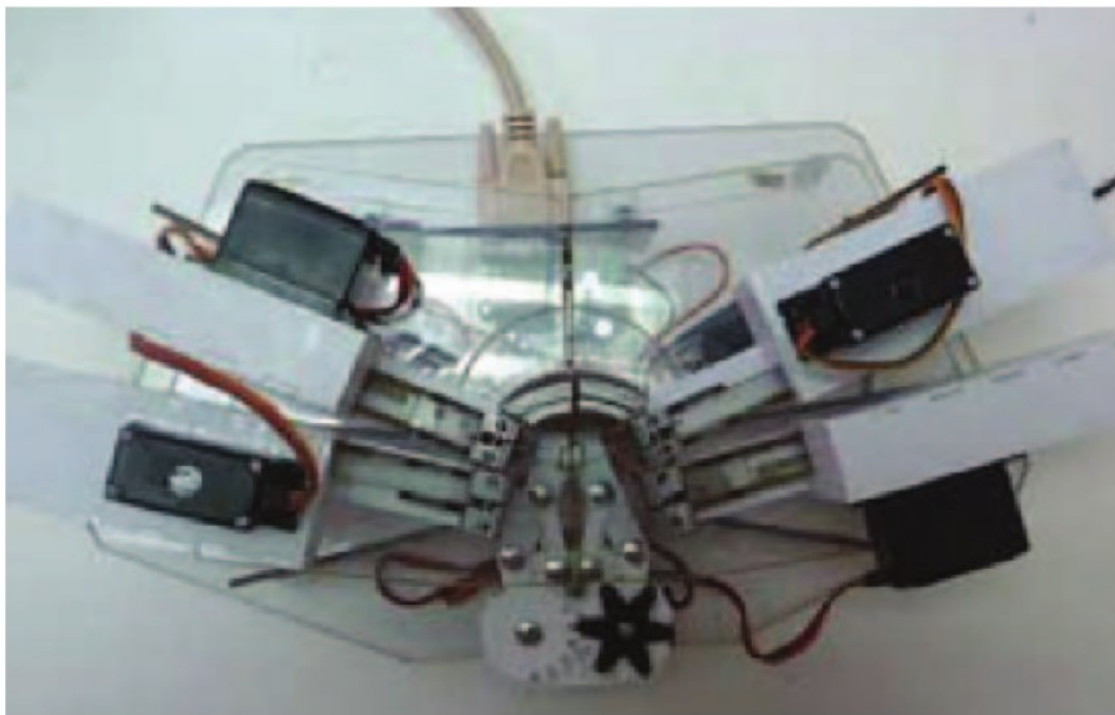


Figura 22: Sistema de dobragem de arrame LAMDA (Jiang et al., 2014).

III. CONCLUSÃO

A utilização dos aparelhos robóticos na área da medicina dentária oferece um tratamento melhorado e de boa qualidade num espaço de tempo reduzido. Os procedimentos minimamente invasivos prometem desempenhar um papel importante na indústria de saúde nos próximos anos e impõem-se como um cuidado em saúde moderno assegurado pela otimização dos sistemas existentes e o avanço tecnológico constante.

Atualmente o panel dos aparelhos é largo, permitindo a sua utilização em varias áreas, e para além do desafio técnico que a elaboração de um tal aparelho representa, a literatura sugere que no futuro, o desenvolvimento e a investigação dos robôs aplicados à medicina vai se concentrar na melhoria dos sistemas de navegação e monitorização em tempo real, usufruindo a alta precisão dos aparelhos e melhorando a velocidade e perícia dos tratamentos a executar.

A aplicação da inteligência artificial no diagnostico e planeamento dos tratamentos vem solidificar perspetivas realistas em termos de emulação de soluções adaptadas ao doente, nomeadamente na simulação de cirurgias complexas.

Atualmente as pesquisas e o desenvolvimento nesta área é essencialmente realizada por empresas e universitários representando a liderança do nicho. Portanto, a democratização do acesso a tecnologia influencia pesquisas alternativas e não institucionais. De facto, com o advento da pandemia do (COVID-19) vários particulares invadiram o mercado livre com protótipos de viseiras e mascaras impressas em 3D, desenhadas em casa. Este advento assinala o primeiro passo na participação civil nas pesquisas e desenvolvimento em saúde. Assim, podemos imaginar que o fenómeno se desenvolve e atinge níveis tecnológicos cada vez mais altos resultando na invenção e elaboração de novos instrumentos como é o caso de novos tipos de aspiração nos consultórios odontológicos.

O espirito profundo do conceito da robótica aplicada em saude sempre se encontrou visionario, desde a sua concepção e elaboração até o entusiasmo da sua futura evolução.

,

IV. BIBLIOGRAFIA

Abe, S., Noguchi, N., Matsuka, Y., Shinohara, C., Kimura, T., Oka, K., Okura, K., Rodis, O., & Kawano, F. (2018). Educational effects using a robot patient simulation system for development of clinical attitude. *European journal of dental education : official journal of the Association for Dental Education in Europe*, 22(3), e327–e336. <https://doi.org/10.1111/eje.12298>

Alemzadeh, K., & Raabe, D. (2008). Prototyping artificial jaws for the robotic dental testing simulator. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part H, Journal of engineering in medicine*, 222(8), 1209–1220. <https://doi.org/10.1243/09544119JEIM402>

Alemzadeh, K., Hyde, R. A., & Gao, J. (2007). Prototyping a robotic dental testing simulator. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H : Journal of Engineering in Medicine*, 221(4), 385-396. doi:10.1243/09544119jeim145

Amirabdollahian, F., Akker, op den, R., Bedaf, S., Bormann, R., Draper, H., Gelderblom, G. J., ... Dautenhahn, K. (2013). Accompany: Acceptable robotiCs COMPanions for AgeiNg Years - Multidimensional Aspects of Human-System Interactions. In W. A. Paja, & B. M. Wilamowski (Eds.), *2013 6th International Conference on Human Systems Interaction (HSI) : June 06-08, 2013, Gdansk, Sopot. Poland* (pp. 570-577). New York : IEEE Computer Society. <https://doi.org/10.1109/HSI.2013.6577882>

Arcuri, L., Lorenzi, C., Cecchetti, F., Germano, F., Spuntarelli, M., & Barlattani, A. (2016). Full digital workflow for implant-prosthetic rehabilitations: a case report. *ORAL & implantology*, 8(4), 114–121. <https://doi.org/10.11138/orl/2015.8.4.114>

Asimov, I. (1950). *I Robot*. New-York, NY USA : Gnome Press.

Asimov's Three Laws of Robotics supplemented for 21st century care robots (2014, August 15) retrieved 2 May 2020 from <https://phys.org/news/2014-08-asimov-laws-robotics-supplemented-21st.html>

Ayoub, A., & Pulijala, Y. (2019). The application of virtual reality and augmented reality in Oral & Maxillofacial Surgery. *BMC oral health*, 19(1), 238. <https://doi.org/10.1186/s12903-019-0937-8>

Azari, A., & Nikzad, S. (2008). Computer-assisted implantology: Historical background and potential outcomes—a review. *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, 4(2), 95-104. doi :10.1002/rcs.188

Bao, P. Q., Mazirka, P. O., & Watkins, K. T. (2014). Retrospective comparison of robot-assisted minimally invasive versus open pancreaticoduodenectomy for periampullary neoplasms. *Journal of gastrointestinal surgery : official journal of the Society for Surgery of the Alimentary Tract*, 18(4), 682–689. <https://doi.org/10.1007/s11605-013-2410-3>

Bartold, P. M. (2017). Robotic dentistry - will it replace dentists? *Australian Dental Journal*, 62(4), 403. <https://doi.org/10.1111/adj.12574>

Benito, D., Michel, M. C., Thakkar, P. G., Goodman, J. F., Sadeghi, N., & Joshi, A. S. (2020). A cost effective custom dental guard for transoral robotic surgery. *Journal of robotic surgery*, 14(1), 91–94. <https://doi.org/10.1007/s11701-019-00942-1>

Blanco, R. G., Fakhry, C., Ha, P. K., Ryniak, K., Messing, B., Califano, J. A., & Saunders, J. R. (2013). Transoral robotic surgery experience in 44 cases. *Journal of laparoendoscopic & advanced surgical techniques. Part A*, 23(11), 900–907. <https://doi.org/10.1089/lap.2013.0261>

Borumandi, F., Heliotis, M., Kerawala, C., Bisase, B., & Cascarini, L. (2012). Role of robotic surgery in oral and maxillofacial, and head and neck surgery. *The British journal of oral & maxillofacial surgery*, 50(5), 389–393. <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2011.06.008>

Byrd, J. K., Smith, K. J., de Almeida, J. R., Ferris, R. L., & Duvvuri, U. (2014). Cost-Effectiveness of Transoral Robotic Surgery in the Unknown Primary. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*, 151(6), 1094–1095. <https://doi.org/10.1177/0194599814553932>

Cao, Z., Qin, C., Fan, S., Yu, D., Wu, Y., Qin, J., & Chen, X. (2020). Pilot study of a surgical robot system for zygomatic implant placement. *Medical Engineering & Physics*, 75, 72–78. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2019.07.020>

Capek, K., & Selver, P. (1923). *R.U.R. (Rossum's Universal Robots): A fantastic melodrama*. Garden City, N.Y: Doubleday, Page.

Chao, A. H., Weimer, K., Raczkowsky, J., Zhang, Y., Kunze, M., Cody, D., . . . Skoracki, R. J. (2015). Pre-programmed robotic osteotomies for fibula free flap mandible reconstruction : A preclinical investigation. *Microsurgery*, 36(3), 246-249. doi:10.1002/micr.30013

De Ceulaer, J., De Clercq, C., & Swennen, G. R. (2012). Robotic surgery in oral and maxillofacial, craniofacial and head and neck surgery: a systematic review of the literature. *International journal of oral and maxillofacial surgery*, 41(11), 1311–1324. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2012.05.035>

George, E. I., Brand, T. C., LaPorta, A., Marescaux, J., & Satava, R. M. (2018). Origins of Robotic Surgery: From Skepticism to Standard of Care. *JSLS : Journal of the Society of Laparoendoscopic Surgeons*, 22(4), e2018.00039. <https://doi.org/10.4293/JSLS.2018.00039>

Giulianotti, P. C., Coratti, A., Angelini, M., Sbrana, F., Cecconi, S., Balestracci, T., & Caravaglios, G. (2003). Robotics in general surgery: personal experience in a large community hospital. *Archives of surgery (Chicago, Ill. : 1960)*, 138(7), 777–784. <https://doi.org/10.1001/archsurg.138.7.777>

Gupta R, Weber KK. Dental Implants. [Updated 2020 Feb 7]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470448/>

Hockstein, N. G., Gourin, C. G., Faust, R. A., & Terris, D. J. (2007). A history of robots: from science fiction to surgical robotics. *Journal of robotic surgery*, 1(2), 113–118. <https://doi.org/10.1007/s11701-007-0021-2>

Huang, T., Yang, C., Hsieh, Y., Wang, J., & Hung, C. (2018). Augmented reality (AR) and virtual reality (VR) applied in dentistry. *The Kaohsiung Journal of Medical Sciences*, 34(4), 243-248. doi:10.1016/j.kjms.2018.01.009

Jiang, J., & Zhang, Y. (2012). Motion planning and synchronized control of the dental arch generator of the tooth-arrangement robot. *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, 9(1), 94-102. doi:10.1002/rcs.1451

Jiang, J., Zhang, Y., Wei, C., He, T., & Liu, Y. (2015). A Review on Robot in Prosthodontics and Orthodontics. *Advances in Mechanical Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2014/198748>

Kaminka, G. A., Spokoini-Stern, R., Amir, Y., Agmon, N., & Bachelet, I. (2017). Molecular Robots Obeying Asimov's Three Laws of Robotics. *Artificial Life*, 23(3), 343–350. https://doi.org/10.1162/artl_a_00235

Kasahara, Y., Kawana, H., Usuda, S., & Ohnishi, K. (2012). Telerobotic-assisted bone-drilling system using bilateral control with feed operation scaling and cutting force scaling. *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, 8(2), 221-229. doi:10.1002/rcs.457

Kim, J., Kim, W. S., Choi, E. C., & Nam, W. (2016). The Role of Virtual Surgical Planning in the Era of Robotic Surgery. *Yonsei Medical Journal*, 57(1), 265. doi:10.3349/ymj.2016.57.1.265

Kim, J. (2018). Use of Robots as a Creative Approach in Healthcare ICT. *Healthcare Informatics Research*, 24(3), 155. <https://doi.org/10.4258/hir.2018.24.3.155>

Kumar, P. (2017). Future Advances in Robotic Dentistry. *Journal of Dental Health, Oral Disorders & Therapy*, 7(3). doi:10.15406/jdhodt.2017.07.00241

Lanfranco, A. R., Castellanos, A. E., Desai, J. P., & Meyers, W. C. (2004). Robotic Surgery. *Annals of Surgery*, 239(1), 14–21. <https://doi.org/10.1097/01.sla.0000103020.19595.7d>

Lazar, J. F. (2018). Envisioning the Future of Robotic Surgery: The Surgeon's Perspective. *The Annals of Thoracic Surgery*, 105(2), 343–344. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2017.10.017>

Lee W. (2013). Computer-guidance in oral and maxillofacial surgery. *Journal of the Korean Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, 39(3), 101–102. <https://doi.org/10.5125/jkaoms.2013.39.3.101>

Lerner, H., Mouhyi, J., Admakin, O., & Mangano, F. (2020). Artificial intelligence in fixed implant prosthodontics: A retrospective study of 106 implant-supported monolithic zirconia crowns inserted in the posterior jaws of 90 patients. *BMC Oral Health*, 20(1). doi:10.1186/s12903-020-1062-4

Leung, T., & Vyas, D. (2014). Robotic Surgery: Applications. *American journal of robotic surgery*, 1(1), 1–64.

Liu, D. D., Zhao, W. D., Niu, J., Li, D., Zhou, Z. Y., Zhang, J. Y., & Liu, X. Q. (2020). *Hua xi kou qiang yi xue za zhi = Huaxi kouqiang yixue zazhi = West China journal of stomatology*, 38(1), 90–94. <https://doi.org/10.7518/hxkq.2020.01.016>

Liu, D. D., Zhao, W. D., Niu, J., Li, D., Zhou, Z. Y., Zhang, J. Y., & Liu, X. Q. (2020). *Hua xi kou qiang yi xue za zhi = Huaxi kouqiang yixue zazhi = West China journal of stomatology*, 38(1), 90–94. <https://doi.org/10.7518/hxkq.2020.01.016>

Liu, H. H., Li, L. J., Shi, B., Xu, C. W., & Luo, E. (2017). Robotic surgical systems in maxillofacial surgery: a review. *International journal of oral science*, 9(2), 63–73. <https://doi.org/10.1038/ijos.2017.24>

- Liu, W. P., Richmon, J. D., Sorger, J. M., Azizian, M., & Taylor, R. H. (2015). Augmented reality and cone beam CT guidance for transoral robotic surgery. *Journal of robotic surgery*, 9(3), 223–233. <https://doi.org/10.1007/s11701-015-0520-5>
- Loh, E. (2018). Medicine and the rise of the robots : A qualitative review of recent advances of artificial intelligence in health. *BMJ Leader*, 2(2), 59-63. doi :10.1136/leader-2018-000071
- Miki, T., Iwai, T., Kotani, K., Dang, J., Sawada, H., & Miyake, M. (2016). Development of a virtual reality training system for endoscope-assisted submandibular gland removal. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 44(11), 1800-1805. doi: 10.1016/j.jcms.2016.08.018
- Moles, J. J., Connelly, P. E., Sarti, E. E., & Baredes, S. (2009). Establishing a Training Program for Residents in Robotic Surgery. *The Laryngoscope*, 119(S1). doi:10.1002/lary.20379
- Moran, M. (2008). Three Laws of Robotics and Surgery. *Journal of Endourology*, 22(8), 1557–1560. <https://doi.org/10.1089/end.2007.0106>
- Omar, E. A., & Bamber, M. A. (2010). Orthognathic model surgery by using of a passive Robot Arm. *The Saudi dental journal*, 22(2), 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2010.02.006>
- Palep J. H. (2009). Robotic assisted minimally invasive surgery. *Journal of minimal access surgery*, 5(1), 1–7. <https://doi.org/10.4103/0972-9941.51313>
- Peters, B. S., Armijo, P. R., Krause, C., Choudhury, S. A., & Oleynikov, D. (2018). Review of emerging surgical robotic technology. *Surgical endoscopy*, 32(4), 1636–1655. <https://doi.org/10.1007/s00464-018-6079-2>
- Ranev, D., & Teixeira, J. (2019). History of Computer-Assisted Surgery. *Surgical Clinics of North America*, 100(2), 209–218. <https://doi.org/10.1016/j.suc.2019.11.001>

- Razavi, C., Pascheles, C., Samara, G., & Marzouk, M. (2015). Robot-assisted sialolithotomy with sialendoscopy for the management of large submandibular gland stones. *The Laryngoscope*, 126(2), 345-351. doi:10.1002/lary.25396
- Rawtiya, M., Verma, K., Sethi, P., & Loomba, K. (2014). Application of robotics in dentistry. *Indian Journal of Dental Advancements*, 6(4), 1696+.
- Rodriguez-Gonzalez, C. G., Herranz-Alonso, A., Escudero-Vilaplana, V., Ais-Larigoitia, M. A., Iglesias-Peinado, I., & Sanjurjo-Saez, M. (2018). Robotic dispensing improves patient safety, inventory management, and staff satisfaction in an outpatient hospital pharmacy. *Journal of Evaluation in Clinical Practice*, 25(1), 28–35. doi:10.1111/jep.13014
- Roy, E., Bakr, M. M., & George, R. (2017). The need for virtual reality simulators in dental education: A review. *The Saudi Dental Journal*, 29(2), 41-47. doi:10.1016/j.sdentj.2017.02.001
- Schwitalla, A., & Müller, W. (2013). PEEK Dental Implants: A Review of the Literature. *Journal of Oral Implantology*, 39(6), 743-749. doi:10.1563/aaid-joi-d-11-00002
- Senior, T. (2016). Being replaced by a robot. *British Journal of General Practice*, 66(649), 436. <https://doi.org/10.3399/bjgp16x686461>
- Seki, K., Hasuike, A., Iwano, Y., & Hagiwara, Y. (2020). Influence of antihypertensive medications on the clinical parameters of anodized dental implants : A retrospective cohort study. *International Journal of Implant Dentistry*, 6(1). doi:10.1186/s40729-020-00231-9
- Smet, M. D., Naus, G. J., Faridpooya, K., & Mura, M. (2018). Robotic-assisted surgery in ophthalmology. *Current Opinion in Ophthalmology*, 29(3), 248-253. doi:10.1097/icu.0000000000000476

Sreelekshmi, S., Varghese, K., Abraham, J.P., & JaysaJ., J. (2017). Applications Of Robotics In Prosthodontics – A Review. *International Journal of Innovative Research and Advanced Studies (IJIRAS)*

Sun, T. M., Lee, H. E., & Lan, T. H. (2019). The influence of dental experience on a dental implant navigation system. *BMC oral health*, 19(1), 222. <https://doi.org/10.1186/s12903-019-0914-2>

Sun, X., Yoon, Y., Li, J., & Mckenzie, F. D. (2014). Automated image-guided surgery for common and complex dental implants. *Journal of Medical Engineering & Technology*, 38(5), 251-259. doi:10.3109/03091902.2014.913079

Tahir, A. M., Jilich, M., Trinh, D. C., Cannata, G., Barberis, F., & Zoppi, M. (2019). Architecture and design of a robotic mastication simulator for interactive load testing of dental implants and the mandible. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 122(4). doi:10.1016/j.prosdent.2019.06.023

Tahmasbi, V., Ghoreishi, M., & Zolfaghari, M. (2017). Investigation, sensitivity analysis, and multi-objective optimization of effective parameters on temperature and force in robotic drilling cortical bone. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part H, Journal of engineering in medicine, 231(11), 1012–1024. <https://doi.org/10.1177/0954411917726098>

Tamaki, A., Rocco, J. W., & Ozer, E. (2020). The future of robotic surgery in otolaryngology - head and neck surgery. *Oral oncology*, 101, 104510. <https://doi.org/10.1016/j.oraloncology.2019.104510>

Tanzawa, T., Futaki, K., Tani, C., Hasegawa, T., Yamamoto, M., Miyazaki, T., & Maki, K. (2012). Introduction of a robot patient into dental education. *European journal of dental education : official journal of the Association for Dental Education in Europe*, 16(1), e195–e199. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0579.2011.00697.x>

Theodossy, T., & Bamber, M. A. (2003). Model surgery with a passive robot arm for orthognathic surgery planning. *Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal*

of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons, 61(11), 1310/1317.
[https://doi.org/10.1016/s0278-2391\(03\)00733-x](https://doi.org/10.1016/s0278-2391(03)00733-x)

Ubayasiri, K., Cho, W., Smith, P., Thorpe, R., Mansuri, M., Laugharne, D., & Mortimore, S. (2017). The use of custom-made dental splints for robotic and rigid endoscopic surgery of the upper aerodigestive tract. *Clinical Otolaryngology*, 43(3), 992-994.
 doi:10.1111/coa.13039

Wang, C., Lin, W., Virgilio, A. D., Liu, S., Chen, S., & Liao, J. (2020). Long-term outcomes of trans-oral robotic surgery-assisted total laryngectomy for recurrent laryngeal cancers. *Japanese Journal of Clinical Oncology*, 50(6), 653-660.
 doi:10.1093/jjco/hyaa034

Warren, H., & Dasgupta, P. (2017). The future of robotics. *Investigative and Clinical Urology*, 58(5), 297. <https://doi.org/10.4111/icu.2017.58.5.297>

Walvekar, R. R., Tyler, P. D., Tammareddi, N., & Peters, G. (2010). Robotic-assisted transoral removal of a submandibular megalith. *The Laryngoscope*, 121(3), 534-537.
 doi:10.1002/lary.21356

Wu, Y., Wang, F., Fan, S., & Chow, J. K.-F. (2019). Robotics in Dental Implantology. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America*, 31(3), 513–518.
<https://doi.org/10.1016/j.coms.2019.03.013>

Zhou, C., Zhu, M., Shi, Y., Lin, L., Chai, G., Zhang, Y., & Xie, L. (2017). Robot-Assisted Surgery for Mandibular Angle Split Osteotomy Using Augmented Reality: Preliminary Results on Clinical Animal Experiment. *Aesthetic plastic surgery*, 41(5), 1228–1236.
<https://doi.org/10.1007/s00266-017-0900-5>