

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ODONTOLOGIA

KARINE BENNEMANN DOS SANTOS

CIRURGIA COM NAVEGAÇÃO NA ÁREA BUCOMAXILOFACIAL: UMA
ALTERNATIVA VIÁVEL NOS DIAS ATUAIS?

Porto Alegre
2021

KARINE BENNEMANN DOS SANTOS

CIRURGIA COM NAVEGAÇÃO NA ÁREA BUCOMAXILOFACIAL: UMA
ALTERNATIVA VIÁVEL NOS DIAS ATUAIS?

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Odontologia da Faculdade
de Odontologia da Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, como requisito parcial para
obtenção do título de Cirurgião-Dentista.

Orientador: Prof. Dr. Angelo Luiz Freddo

Porto Alegre
2021

KARINE BENNEMANN DOS SANTOS

CIRURGIA COM NAVEGAÇÃO NA ÁREA BUCOMAXILOFACIAL: UMA
ALTERNATIVA VIÁVEL NOS DIAS ATUAIS?

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Odontologia da Faculdade
de Odontologia da Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, como requisito parcial para
obtenção do título de Cirurgião-Dentista.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Angelo Luiz Freddo (Orientador)
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof.^a Dr.^a. Adriana Corsetti
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof.^a Dr.^a. Mariana Boessio Vizzotto
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

CIP - Catalogação na Publicação

Bennemann dos Santos, Karine
Cirurgia com navegação na área bucomaxilofacial: uma alternativa viável nos dias atuais? / Karine Bennemann dos Santos. -- 2021.
47 f.
Orientador: Angelo Luiz Freddo.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Odontologia, Curso de Odontologia, Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. Navegação Cirúrgica. 2. Cirurgia Guiada por Imagem. 3. Cirurgia Assistida por Computador. 4. Sistemas de Navegação Cirúrgica. I. Luiz Freddo, Angelo, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Dedico com muito amor e carinho aos meus pais e meu irmão esse momento único de estar concluindo esta etapa em minha vida. Posso dizer que me sinto completamente realizada e feliz com minha escolha e a cada dia mais apaixonada pela odontologia. Minha mãe, uma mulher incrível e que sempre teve uma conexão muito grande comigo e meu irmão, foi quem me sugeriu cursar odontologia na época. Mãe, você estava certa! Não me imagino em nenhuma outra profissão, se não essa. Ao meu pai, que desde pequena me inspirou nos estudos, em ser dedicada e amar o que se faz. Não li teus livros de contabilidade da estante, mas estudei muitos outros da minha área, hehe.

Vocês três sempre me deram apoio incondicional, participaram de todas as minhas fases de crescimento pessoal e profissional. Mãe e pai, vocês dedicaram suas vidas trabalhando para oferecer o melhor a nós. Essa conquista é nossa.

Agradeço a universidade e a todos os professores que contribuíram com o meu aprendizado. Posso dizer que me sinto segura e tenho certeza de que todo o ensinamento passado fez com que hoje eu me sinta uma ótima profissional, responsável e humana.

Ao meu preceptor de estágio, Vítor, que me passou ensinamentos práticos e de abordagem ao paciente que levarei para a vida. Admiro o profissional que és e sinto que com o estágio realizado na US finalizo minha graduação com chave de ouro, muito mais preparada e segura da pessoa e profissional que me tornei.

Ao meu orientador de TCC, Angelo, agradeço a oportunidade em desenvolver uma nova versão minha, visto minha evolução ao longo dos meses construindo algo totalmente novo. Escrever um TCC é uma tarefa trabalhosa e cansativa, mas você esteve sempre presente, disposto e organizado para me ajudar.

Agradeço a todos que participaram direta e indiretamente dessa caminhada!

“Procure a sabedoria e aprenda a escrever os capítulos mais importantes de sua história nos momentos mais difíceis de sua vida.”

Augusto Cury

RESUMO

A navegação cirúrgica é um sistema que possibilita a visualização em tempo real de tudo que está sendo feito no intraoperatório através do exame de imagem do paciente. Este exame é projetado em um monitor e sobreposto com o rastreamento da posição atual do paciente no bloco cirúrgico. O rastreamento e a sobreposição são feitos para se ter a correta união de todas as estruturas anatômicas e com isso consegue-se visualizar os instrumentos cirúrgicos acessando diferentes locais. Tendo em vista essas informações, os objetivos desse estudo estão em apresentar o tema para um melhor entendimento, compreender como tudo surgiu e sua evolução com o decorrer do tempo. Assim como também apontar quais equipamentos estão disponíveis no mercado e o seu funcionamento. Do mesmo modo, relatar suas vantagens, como a possibilidade em fazer um planejamento cirúrgico virtual, o aumento da precisão cirúrgica, diminuição na taxa de complicações pós-operatórias, uma instrumentação mais apurada, o auxílio ao cirurgião na identificação e confirmação de estruturas circundantes e de risco, procedimentos complexos são simplificados e têm-se uma redução no tempo operatório. Como desvantagens, o custo sendo muitas vezes um fator limitante, necessidade de um treinamento extra e a dificuldade de seu uso em cirurgias que envolvam a mandíbula. Seus benefícios e a viabilidade do seu emprego em cirurgias bucomaxilofaciais. Com base no que foi lido e estudado através dos artigos dessa área, a navegação parece ter grande indicação de uso para a remoção de corpos estranhos e para a ressecção de tumores do terço médio da face. Considerado que é possível identificar com precisão a localização no exame de imagem e com os instrumentos ter um acesso mais rápido e menos invasivo ao local de interesse.

Palavras-chave: Navegação Cirúrgica. Cirurgia Guiada por Imagem. Cirurgia Assistida por Computador. Sistemas de Navegação Cirúrgica. Procedimentos Cirúrgicos Assistidos por Computador.

ABSTRACT

Surgical navigation is a system that enables real-time visualization of everything being done intraoperatively through the patient's image exam. This exam is projected onto a monitor and overlaid with the tracking of the patient's current position in the operating room. Tracking and overlapping are done to have the correct union of all anatomical structures and with that is possible to visualize the surgical instruments by accessing different locations. Given this information, the objectives of this study are to present the theme for a better understanding, to understand how it all came about and its evolution over time. Also, pointing out which equipment is available on the market and how it works. Likewise, reporting its advantages, such as the possibility of carrying out a virtual surgical planning, increased surgical precision, decreased rate of postoperative complications, more accurate instrumentation, assistance to the surgeon in identifying and confirming surrounding structures and of risk, complex procedures are simplified and there is a reduction in operative time. As disadvantages, cost is often a limiting factor, the need for extra training and the difficulty of using it in surgeries involving the jaw. Its benefits and the feasibility of its use in maxillofacial surgeries. Based on what has been read and studied through articles in this area, navigation seems to have great indication for use for the removal of foreign bodies and for the resection of tumors in the middle third of the face. Considering that it is possible to accurately identify the location in the imaging exam and, with the instruments, have a faster and less invasive access to the place of interest.

Keywords: Surgical Navigation. Image-Guided Surgical Navigation. Computer-Assisted Image-Guided Surgery. Surgical Navigation Systems. Computer Aided Surgery. Computer Assisted Surgery. Image-Guided Surgeries.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Componentes do sistema de navegação e seu funcionamento.....	15
Figura 2	Opções de equipamentos de navegação.....	18
Figura 3	Gerador de campo eletromagnético	18
Figura 4	Marcadores, registro e instrumentação em tempo real	20
Figura 5	Splint com parafusos.....	20
Figura 6	Registro a laser e confirmação da precisão do rastreamento	21
Figura 7	Navegação intraoperatória	27
Figura 8	Malha de titânio posicionada e sua confirmação	28
Figura 9	Localização de parafusos durante a navegação	30
Figura 10	Registro de mandíbula alternativo	32
Figura 11	Visão intraoperatória com splint nos dentes da mandíbula	33
Figura 12	Rastreamento da mandíbula e molde de oclusão para a mandíbula	34
Figura 13	Navegação intraoperatória	35
Figura 14	Instrumental cirúrgico guiado pela navegação, funções sendo mostradas e planejamento virtual com o instrumento cirúrgico em tempo real.....	36
Figura 15	Sistemática da navegação para implantes na mandíbula	38
Figura 16	Trajetória de perfuração do implante zigomático	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	12
3	METODOLOGIA	13
4	REVISÃO DE LITERATURA	14
4.1	CONCEITO, DEFINIÇÃO, HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DAS CIRURGIAS COM NAVEGAÇÃO	14
4.2	EQUIPAMENTOS EMPREGADOS	17
4.2.1	Funcionamento da cirurgia por navegação	19
4.3	DESVANTAGENS E VANTAGENS	22
4.3.1	Benefícios encontrados com seu uso	23
4.4	CIRURGIAS BUCOMAXILOFACIAIS COM NAVEGAÇÃO	24
4.4.1	Remoção de corpos estranhos	25
4.4.2	Fraturas de terço médio da face	27
4.4.3	Cirurgia ortognática	30
4.4.3.1	<i>Reposicionamento da maxila</i>	30
4.4.3.2	<i>Reposicionamento da mandíbula</i>	31
4.4.4	Cirurgias reconstrutivas da base do crânio e da articulação Temporomandibular	34
4.4.4.1	<i>Maxilectomia</i>	35
4.4.5	Implantes	36
5	DISCUSSÃO	40
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
	REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, a ciência e os métodos inteligentes mais modernos têm crescido e se desenvolvido em grande velocidade. No desenvolvimento de métodos mais modernos de computação na medicina e odontologia, as técnicas digitais representam um papel significativo no aperfeiçoamento de diagnósticos clínicos, terapêuticos e reabilitadores. Desse modo, contamos com a aplicação da tecnologia em procedimentos cirúrgicos como a cirurgia assistida por navegação. Essa modalidade cirúrgica possibilita assessorar e facilitar procedimentos diversos, envolvendo também as áreas da informática, mecânica e engenharia de materiais, sendo considerada uma tecnologia multidisciplinar (KUBICEK et al., 2019).

A navegação intraoperatória possibilita fazer o rastreamento em tempo real de instrumentos cirúrgicos dentro de estruturas anatômicas e sua relação com a anatomia óssea do paciente, exibindo, portanto, suas posições em relação ao exame de imagem feito anteriormente ao procedimento cirúrgico. Essas imagens radiográficas, sejam elas tomografias ou ressonâncias magnéticas, são visualizadas em uma tela de computador e através delas o cirurgião consegue orientar seus movimentos cirúrgicos com base no que é visto e na situação clínica atual (HOFFMANN et al., 2005; SHAMIR; JOSKOWICZ, 2014; WU et al., 2018). Diversos são os passos a serem seguidos para alcançar uma cirurgia bem sucedida com o uso da navegação intraoperatória, como o aparato tecnológico necessário e a experiência da equipe (SAMARAKKODY & ABDULLAH, 2016).

Os sistemas de navegação apresentam diversas vantagens em sua aplicação nas cirurgias bucomaxilofaciais. Antes da cirurgia, além da visualização da anatomia facial pelo arquivo DICOM, há a possibilidade de manipulação da estereolitografia (STL), adição de dados CAD-CAM e espelhamento de estruturas. Portanto, é executável um planejamento cirúrgico virtual de modo a simular o procedimento e sua sobreposição sobre as imagens radiográficas na operação (LUSTMANN, 2004; BOBEK, 2014; AZARMEHR et al., 2017). Durante a cirurgia, sabe-se que há o aumento da precisão cirúrgica, uma instrumentação mais apurada, o auxílio ao cirurgião na identificação e confirmação de estruturas circundantes e de risco, diminuição na taxa de complicações intraoperatórias, procedimentos complexos são simplificados e têm-se uma redução no tempo operatório (SAMARAKKODY; ABDULLAH, 2016; DOU et al., 2016). Segundo Schulz et al, essa tecnologia elucida o conceito moderno da cirurgia como precisa, eficaz, segura, minimamente invasiva e funcional (SCHULZ et al., 2012).

Entretanto, sempre haverá alguma desvantagem em todas as tecnologias empregadas no mercado. Dentre elas, o custo sendo muitas vezes um fator limitante, de modo que poucos

hospitais têm condições de adquirir esse sistema além do alto valor resultante do tratamento dos pacientes. Os cirurgiões precisam receber um treinamento extra e apesar de sua aplicação em diversos procedimentos da cirurgia bucomaxilofacial, ainda não é totalmente adequado seu uso em cirurgias que envolvam a mandíbula, devido sua mobilidade e em tecidos moles pelo fato de que qualquer alteração pode causar futuras imprecisões. Esses sistemas dependem de ferramentas específicas para seu correto funcionamento e qualquer falha, poderá inabilitar a navegação (SAMARAKKODY; ABDULLAH, 2016; DOU et al., 2016; AZARMEHR et al., 2017; SUKEGAWA; KANNO; FURUKI, 2018).

Tendo em vista essas características e por tratar-se de algo novo, seu objetivo é apresentar as principais informações acerca de sua aplicabilidade nas cirurgias bucomaxilofaciais. Sendo assim, sabe-se também que a navegação não substitui o bom senso do cirurgião e sua experiência. Seu propósito está em ajudar em procedimentos complexos, ser vista como um dispositivo de auxílio, de avaliação e de pesquisa (SAMARAKKODY; ABDULLAH, 2016; AZARMEHR et al., 2017).

2 OBJETIVOS

O estudo tem como objetivo fazer uma revisão de literatura sobre as cirurgias bucomaxilofaciais com navegação, de modo a apresentar o tema, visto que é algo novo e tecnológico na área da odontologia e analisar informações como:

- 1) Descrever seu conceito, definição, histórico e evolução das cirurgias com navegação;
- 2) Apresentar os equipamentos empregados e o funcionamento da cirurgia por navegação;
- 3) Apontar as vantagens, desvantagens e os benefícios com o uso da navegação nas cirurgias bucomaxilofaciais;
- 4) Dissertar sobre a aplicabilidade da navegação nas cirurgias bucomaxilofaciais.

3 METODOLOGIA

Esse trabalho buscará nas principais bases de dados como Periódicos Capes, Scielo, Pubmed, Medline, Lilacs, além de livros de referência, materiais que se encaixem com os objetivos da revisão de literatura sobre cirurgias bucomaxilofaciais com navegação desde o ano de 1995 até 2021, para obter um entendimento sólido e crítico através dos diferentes relatos dos autores ao longo dos anos, usando palavras-chaves como surgery navigation, image guided surgery navigation, computer-assisted image-guided surgery, intropertive navigation, computer-assisted surgery em inglês. Elaborando uma revisão sobre as suas principais características como sua história, evolução, quais cirurgias bucomaxilofaciais fazem uso, componentes e seu funcionamento.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 CONCEITO, DEFINIÇÃO, HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DAS CIRURGIAS COM NAVEGAÇÃO

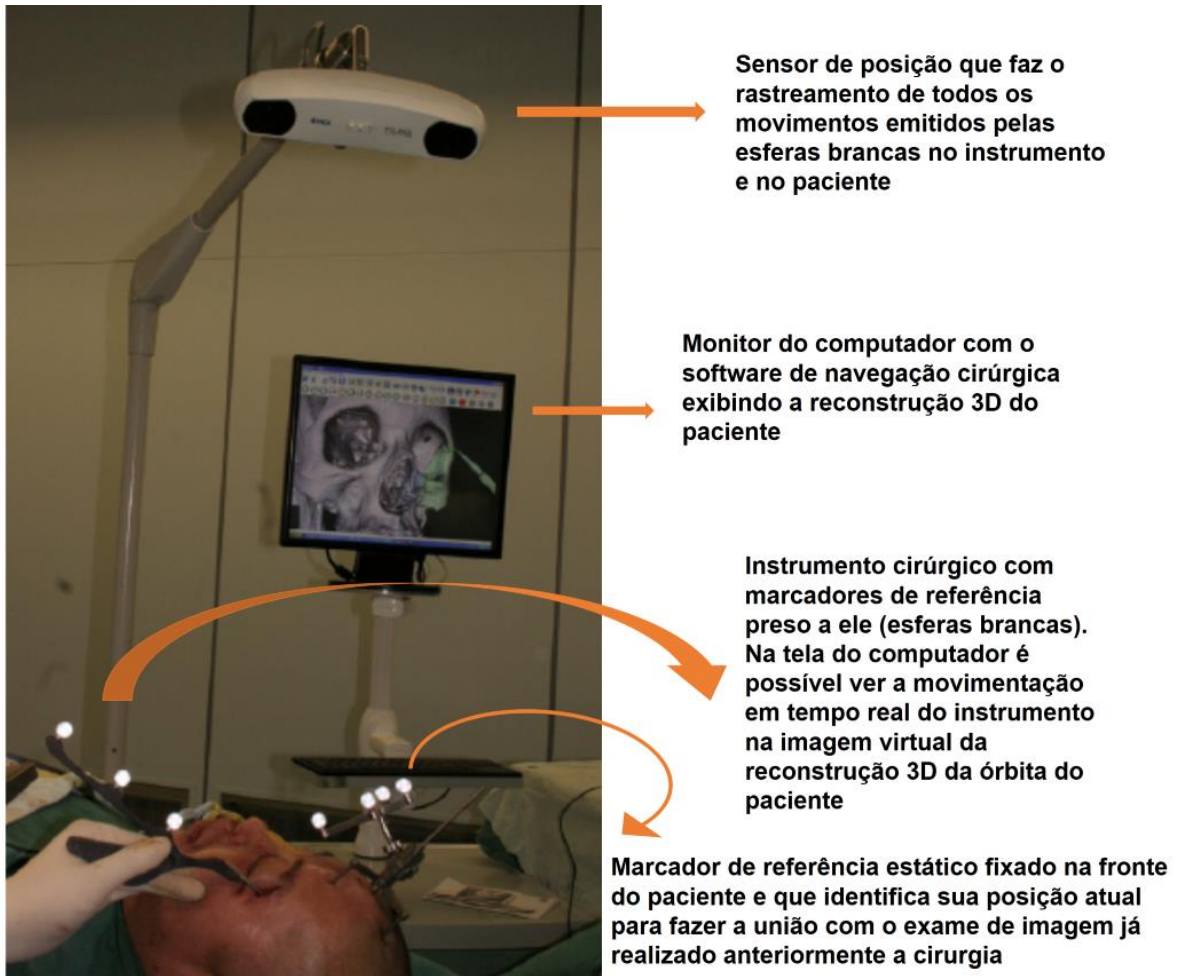
O sistema de navegação juntamente com a união do exame de imagem realizado previamente a cirurgia, rastreia os instrumentais cirúrgicos, sendo estes vistos em tempo real acessando as estruturas anatômicas no exame. É possível determinar o posicionamento 3D de estruturas anatômicas e obter o feedback do que está ocorrendo durante o intraoperatório. As informações são acuradas e com detalhamento referentes a localização, diâmetros, morfologias e direções (DOU et al., 2016; AZARMEHR et al., 2017).

Enfatizando, ocorre a integração da imagem radiográfica com o campo cirúrgico e têm-se a visualização simultânea de diferentes imagens, de modo a conseguir identificar estruturas em áreas que são de anatomia sensível. É importante salientar que a tomografia, a ressonância magnética ou independente de qual for o exame de escolha, não será reproduzido em tempo real, apenas os instrumentos que são usados em campo cirúrgico, de modo que é recomendável que o mesmo tenha sido feito recentemente.

Pode-se exemplificar a navegação a dirigir um carro usando o GPS para se localizar e seus componentes são: sensor de posição, marcador de referência, marcadores estáticos, computador, software de navegação com uma tomografia ou outro exame de imagem escolhido e que podem ser vistos na figura 1 (BELL, 2010; BOBEK, 2014; SUKEGAWA; KANNO; FURUKI, 2018). A tecnologia aplicada difere, portanto, do GPS e podem ser encontradas diferentes opções. Sendo estas, através do uso de campos eletromagnéticos, de câmeras estereoscópicas as quais emitem luz infravermelha (ópticas), de fluoroscopia ou baseadas em ultrassom (KUBICEK et al., 2019) (ZELLER et al., 2021). Sabe-se, em vista disso, que as navegações eletromagnéticas e ópticas são as mais usadas e as que serão abordadas neste trabalho.

A título de exemplo, algumas das cirurgias bucomaxilofaciais que podem se beneficiar com o uso desse sistema são cirurgias de traumas, ortognáticas, tumores, remoções de corpos estranhos. O campo de aplicação é vasto e o mesmo será citado e argumentando ao longo do trabalho (AZARMEHR, STOKBRO, BELL, et al., 2017).

Figura 1- Componentes do sistema de navegação e seu funcionamento.



Fonte: (H YU et al., 2010).

A navegação estereotáxica começou há mais de 100 anos com Victor Horsley e Robert Clark, na Universidade de Londres. Os termos “estereotaxia” e “aparelho estereotáxico” foram introduzidos para anunciar um método de posicionamento preciso de eletrodos nos núcleos cerebelares profundos de macacos de modo a localizar estruturas anatômicas do crânio (COLLYER, 2010; BOBEK, 2014; GRUNERT; KEINER; OERTEL, 2015). O alvo era definido através de 3 distâncias em relação a 3 planos ortogonais, que corresponderiam as coordenadas X, Y e Z (GRUNERT; KEINER; OERTEL, 2015). Logo, com o passar do tempo, eles desenvolveram um atlas estereotáxico para ser usado como um instrumento de coordenadas (LANDAETA-QUINONES et al., 2018).

O termo “estereotaxia”, quando desmembrado, é explicado em duas palavras gregas, “stereon” (στερεόν), cujo significado é de “tridimensional” ou espacial e “táxis” (τάξις) significa “posicionamento”, “colocação”. Com isso, interpreta-se que a estereotaxia seria um método de posicionamento tridimensional preciso de cânulas ou eletrodos no cérebro (GRUNERT; KEINER; OERTEL, 2015).

A estereotaxia, portanto, tinha na prática seu uso em procedimentos neurocirúrgicos os quais demandavam a localização exata e a orientação de estruturas cranianas para o posicionamento de eletrodos, catéteres, agulhas. Assim que a trajetória cirúrgica era definida, fazia-se apenas um orifício de trepanação e uma agulha ou eletrodo eram inseridos contando com um trauma cerebral mínimo, e conseqüentemente, era um procedimento mais vantajoso de ser realizado. Deste modo, eram usados desenhos da anatomia, como se fosse um atlas para o planejamento do alvo craniano. Na cabeça do paciente eram fixadas estruturas mecânicas para mantê-la de forma estática e com o planejamento concluído, o mesmo era transferido para a disposição intraoperatória atual do paciente (MEZGER et al., 2013).

Mais de 30 anos após, através de Spiegel, começaram a ser feitas cirurgias estereotáxicas no cérebro de humanos com um dispositivo anexado a cabeça, “emoldurado” ao paciente e sendo acompanhado por atlas e radiografias para reconhecer e localizar estruturas visadas ao tratamento. Entretanto, esses dados obtidos através de atlas apresentavam limitações pois não consideravam que cada paciente pode apresentar modificações em suas estruturas anatômicas, associadas muitas vezes a patologias, por exemplo, de forma que não se obedecia a um padrão (COLLYER, 2010; BOBEK, 2014).

Outras limitações eram referentes a estrutura anexada a cabeça do paciente, que provocavam um desconforto significativo, assim como acarretava uma visão limitada do campo cirúrgico e conseqüentemente sem o controle intraoperatório ideal e a dificuldade de visualização da passagem da agulha. Não era possível ter o conhecimento de complicações no momento cirúrgico devido à ausência de um método mais tecnológico (MEZGER et al., 2013).

Em 1990, a cirurgia estereotáxica ganhou um avanço por David Roberts, de modo a ser usada sem um dispositivo de coordenadas preso a cabeça, mas sim através do rastreamento em tempo real do instrumental cirúrgico na tomografia ou ressonância magnética do paciente (BOBEK, 2014). Com o surgimento das imagens médicas em conexão com o crescimento exponencial das capacidades de processamento do computador houve a transformação em realidade da segmentação segura e precisa da anatomia. Muito se modificou portanto, mas o desafio principal de dirigir-se a uma estrutura anatômica específica de forma segura e menos invasiva permaneceu a mesma (MEZGER et al., 2013).

Desde então, a navegação cirúrgica estereotáxica tem sido utilizada nas áreas da neurologia, ortopedia, trauma, otorrinolaringologia e cirurgia bucomaxilofacial (BOBEK, 2014). Em síntese, três fatores chave impulsionaram o desenvolvimento da navegação em cirurgia como a conhecemos na atualidade e são eles a neurocirurgia, a estereotaxia e as imagens médicas (MEZGER et al., 2013).

4.2 EQUIPAMENTOS EMPREGADOS

Os principais sistemas de navegação disponíveis e de maior uso no mercado são os ópticos (infravermelhos) e os eletromagnéticos. Ambos executam as mesmas funções e apresentam seus prós e contras (SAMARAKKODY; ABDULLAH, 2016; SHIROTA et al., 2019).

O sistema óptico usa sensores infravermelhos que possui estruturas refletoras ou emissoras de luz, as quais são fixadas na cabeça do paciente e em um instrumento. Nesse sistema, tanto a estrutura fixada no paciente quanto o instrumento precisam ser detectados pela câmera do sistema ou computador para rastrear onde o instrumento se encontra. Diz-se que precisam ser “vistos”, não podendo estar nenhum objeto ou pessoa cortando a linha de visão (SAMARAKKODY; ABDULLAH, 2016). (BOBEK, 2014). O sistema eletromagnético usa pontos de referência em um dispositivo que é conectado a cabeça do paciente (máscara de plástico com partes metálicas ou uma faixa sobre a cabeça) juntamente com um instrumento preso a fio. Em vantagem ao sistema óptico, nesses equipamentos não há problema de ter algo em frente ao dispositivo comprometendo a visão do procedimento. A desvantagem está em casos que se têm muito metal no campo eletromagnético, podendo ocasionar imprecisões (SAMARAKKODY; ABDULLAH, 2016).

No mercado, encontra-se uma variedade de plataformas de navegação as quais possam suprir as necessidades cirúrgicas, desde aparatos fixos, até possibilidades em que se têm plataformas móveis. Nas figuras 2 e 3 é possível visualizar algumas das opções de sistemas disponíveis (MEZGER et al., 2013).

Figura 2 - a) Sistema de navegação fixado no teto da sala de operação permanentemente; b) Display duplo; c) Portátil e com um display menor; d) Versão móvel inteligente.



Fonte: (MEZGER et al., 2013).

Figura 3 - Gerador de campo eletromagnético apontado pelas flechas.



Fonte: (SUKEGAWA et al., 2018).

4.2.1 Funcionamento da cirurgia por navegação

Durante a cirurgia com navegação é possível, portanto, acompanhar o paciente nos cortes sagitais, axiais e coronais em equipamentos especializados juntamente com um planejamento cirúrgico virtual pré-estabelecido, como também, visualizar o posicionamento do instrumental cirúrgico no conjunto de dados 3D em tempo real. Para que esse processo ocorra é necessário fazer o registro do paciente e dos instrumentais. O sistema de navegação têm o marcador de referência que fará a identificação da posição do paciente na sala cirúrgica, trazendo essa informação para o monitor que compõe a aparelhagem de navegação.

No registro do paciente, o objetivo está a fim de se obter a união de posicionamento atual que já foi identificado pelo sistema de navegação com o exame de imagem e seu planejamento, para isso há alguns métodos que facilitam esse correto registro e serão descritos abaixo. Nos instrumentais, o modo de registro será através de marcadores fixados ao instrumento, marcadores esses que refletem luzes e que serão detectadas pelas câmeras do sistema (YU et al., 2010; LANDAETA-QUINONES; HERNANDEZ; ZARROUG, 2018).

De acordo com Eggers (2006, apud LÜBBERS, 2011, p.435) e Luebbers (2008, apud LÜBBERS, 2011, p.435) “O registro correto é o elemento chave para uma navegação cirúrgica precisa porque tem repercussões diretas na precisão de todas as tarefas de navegação subsequentes”

Existem diferentes métodos de registro do paciente e os principais encontrados na literatura são através de parafusos implantados no osso de forma percutânea; uso de splints que tenham metais presos e sejam facilmente identificáveis em tomografia; bordas incisais dos dentes ou a área de contato deles; identificação de pontos de referência anatômicos presentes no paciente e que sejam correspondentes nos exames de imagem, por exemplo, násis, tragus, borda interna e externa das órbitas.

Também pode ser através de laser, onde é feita a digitalização da superfície da pele através dos sistemas de navegação, os quais fazem uma varredura da extensão de interesse do paciente e a correlação desses dados com o exame de imagem, gerando numerosos match points de união e grande precisão (COLLYER, 2010; HE et al., 2013; BOBEK, 2014; DEAN et al., 2015). Essas marcações, seja qual for escolhida, serão vistas no exame de imagem e ocorrerá a sobreposição desses pontos com a atual posição do paciente.

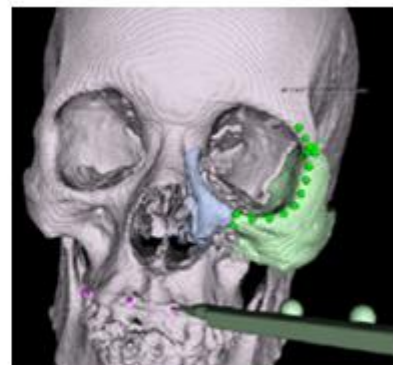
Nas figuras 4, 5 e 6 visualizam-se algumas das opções de marcações citadas anteriormente.

Quando os marcadores são implantados na estrutura óssea, para o registro é essencial

que estes sejam vistos nas imagens pré-operatórias, portanto é preciso adquirir imagens radiográficas após a inserção dos parafusos ou encaixe de splints para que os mesmos sejam identificados com facilidade nessas imagens, como também simples de serem encontrados no paciente durante o procedimento (LUEBBERS et al., 2008; LÜBBERS et al., 2011).

O profissional precisa saber identificar com exatidão os locais anatômicos, de modo a não comprometer a precisão do rastreamento e consequentemente da futura cirurgia (GUIDED & TECHNOLOGIES, 1998). Outra circunstância a ser analisada nesse registro é a possibilidade de distorção dos tecidos moles, quando não ocorre a correspondência entre o paciente e o exame de imagem e pode ser consequência da intubação endotraqueal, por edema na face ou pelo uso de protetor nos olhos do paciente (BOBEK, 2014).

Figura 4 - a) Parafusos inseridos na maxila atuando como marcadores; b) Após a união da posição do paciente com o exame de imagem, é feito o registro. Um instrumento está tocando um dos parafusos do paciente e é possível visualizar na reconstrução 3D a movimentação do instrumento.

**A****B**

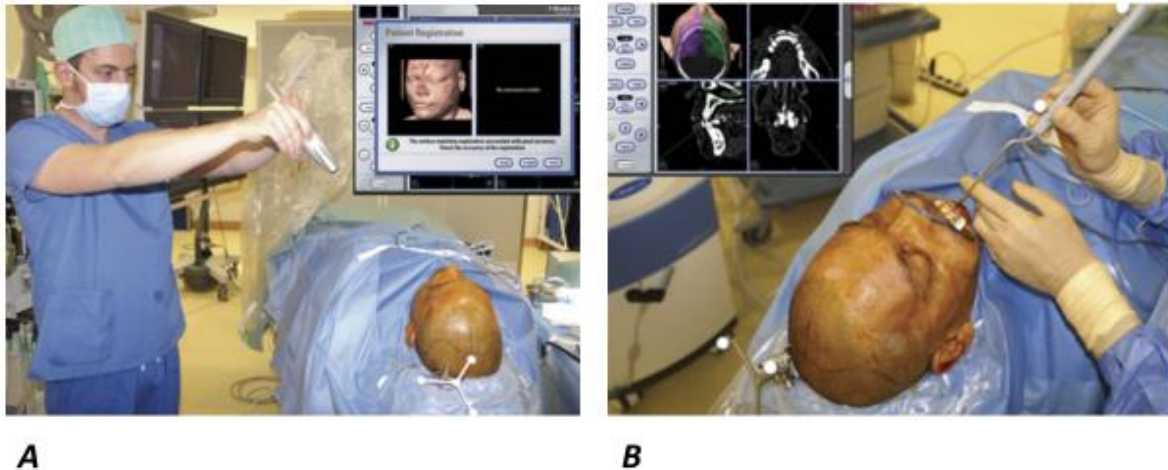
Fonte: (H YU et al., 2010).

Figura 5 - Splint com parafusos inseridos funcionando como marcador para o registro do paciente.



Fonte: (NOVELLI et al., 2014).

Figura 6 - a) Registro a laser; b) Confirmação da precisão do rastreamento com a sonda de navegação através do toque em estruturas anatômicas e sua visualização simultânea na tela de navegação.



Fonte: (SCOLOZZI & TERZIC, 2011).

Através do registro sabe-se que qualquer ponto tridimensional no paciente deve corresponder virtualmente ao mesmo ponto tridimensional (BOBEK, 2014). Essa precisão é alcançada por um procedimento computacional que faz a localização e orientação das imagens pré-operatórias e dos dados do planejamento após o registro do paciente para a posição atual do momento pré-cirúrgico (GUIDED & TECHNOLOGIES, 1998).

Segundo Coolyer (2010, p.81)

O ponto no centro dos pontos de correspondência de registro é o ponto de precisão máxima. A precisão de navegação se deteriora ainda mais à medida que nos afastamos do centro desses pontos e, quando a distância é maior que 10 cm, o nível de precisão diminui consideravelmente.

A faixa de erro aceitável é uma diferença menor que 1mm e esta irá variar com base no cenário clínico e nas necessidades do cirurgião durante o procedimento, ademais, há também outros erros que devem ser levados em consideração. Erros de imagem, podem ser estes de baixa qualidade, interferências em razão de artefatos metálicos, movimentação do paciente, cortes tomográficos muitos largos. Diferenças na anatomia do paciente com relação ao exame pré-operatório e durante o procedimento podem surgir, no caso da mandíbula, por exemplo, que é um osso móvel e pode ser um impasse durante a cirurgia. Para tanto, é essencial a investigação atenta e fazer uso de um protocolo para que as próximas etapas sejam bem sucedidas (BOBEK,

2014).

Sabendo da importância das marcações no paciente para o registro, após serem realizadas, uma tomografia será feita e seus respectivos dados serão convertidos em imagens digitais no formato DICOM. Esse arquivo DICOM é manipulado em um software específico e será elaborado um planejamento virtual (LANDAETA-QUINONES et al., 2018). De modo a exemplificar, no caso de uma cirurgia de reconstrução de órbita, é possível visualizá-la e analisá-la anteriormente pelo planejamento virtual através do espelhamento do lado oposto que está intacto, sem fraturas e/ou sem deformidades congênitas. É executável fazer o manuseio virtual dessas regiões anatômicas, inserir outras estruturas anatômicas em defeitos adquiridos ou de desenvolvimento, inserir placas e malhas em fraturas, fazer a segmentação de estruturas, a redução de fraturas, espelhamento e posicionamento de implantes dentários (BELL, 2010; HE et al., 2013; DEAN; HEREDERO; JESÚS, 2015).

Por meio do planejamento virtual busca-se a diminuição do tempo cirúrgico, evitam-se iatrogenias, minimizam-se riscos, alcança-se uma previsibilidade do futuro procedimento cirúrgico, encontram-se alternativas ao procedimento e em casos que envolvam a estética, é um bom aliado para um resultado pós operatório satisfatório e agradável (HAFLFELD et al., 1995; LANDAETA-QUINONES; HERNANDEZ; ZARROUG, 2018). Deste modo, um planejamento cirúrgico individual/personalizado é definido e é visto como um avanço na sequência "diagnóstico - indicação - planejamento cirúrgico" (HAFLFELD et al., 1995).

4.3 DESVANTAGENS E VANTAGENS

Uma das desvantagens de grande relevância está na dificuldade em aplicar o sistema de navegação em procedimentos que envolvam a mandíbula. Por ser um osso móvel, encontram-se limitações na sincronização com os dados do exame de imagem pré-operatórios durante a cirurgia e por conseguinte, essas dificuldades poderão afetar a precisão cirúrgica (YU et al., 2013; SUKEGAWA; KANNO; FURUKI, 2018). Alguns autores sugeriram alternativas para conseguir operar em mandíbula, e estas são relatadas no tópico abaixo.

Outras desvantagens estão relacionadas ao alto custo dos equipamentos, assim como a curva de aprendizado dos profissionais para o seu correto uso. Os profissionais podem encontrar dificuldades para fazer essa união mental do campo cirúrgico com o exame visto na tela do computador e precisam constantemente olhar ambos os locais.

É necessária uma boa relação espacial, coordenação motora e portanto, a curva de aprendizado se torna mais longa e trabalhosa (SHAMIR; JOSKOWICZ, 2014; BADIALI et al.,

2015). Para os pacientes que necessitam do procedimento, o valor da cirurgia também impacta e gera a preferência pela operação convencional.

Como vantagens do sistema navegado, teremos cirurgias menos invasivas garantindo mais segurança para o procedimento, para o paciente e para a equipe cirúrgica (SHAMIR & JOSKOWICZ, 2014). Principalmente em regiões de difícil acesso e de áreas anatômicas sensíveis, a navegação traz essa segurança ao operador, sendo possível identificar o local com muito mais facilidade e resultando em um pós-operatório melhor (SUKEGAWA et al., 2018).

A precisão é aumentada por justamente visualizar o que está sendo feito no momento e com a possibilidade de alterar a técnica intraoperatória com base no que é visto, caso venha a surgir uma intercorrência. Através dessa abordagem evitam-se problemas durante a cirurgia, no pós-operatório e têm-se uma diminuição na variabilidade do resultado cirúrgico (YU et al., 2010; SHAMIR; JOSKOWICZ, 2014; SUKEGAWA; KANNO; FURUKI, 2018).

Há a redução do número de exames de imagens no procedimento, de modo que não irá expor o paciente diversas vezes a radiação. Visto que é preciso um exame de imagem prévio ao procedimento e um após para comparação de resultados, eliminando a necessidade de imagens radiológicas no intraoperatório (SHAMIR & JOSKOWICZ, 2014).

O tempo total de cirurgia é reduzido por ter uma planejamento virtual sobre a atual anatomia do paciente, deixando mais claro o acesso as estruturas e sem muitas “surpresas” no campo cirúrgico. Isso propicia mais confiabilidade e previsibilidade nos procedimentos (AZARMEHR; STOKBRO; BELL, 2017; SUKEGAWA; KANNO; FURUKI, 2018).

Em contrapartida ao que foi relato em desvantagens sobre o custo do sistema, sabe-se que pode ser usado além da cirurgia bucomaxilofacial em diferentes áreas da medicina, como em cirurgias da neurologia, ortopedia, trauma e entre outras. Portanto, para um hospital adquirir para mais de uma área, pode tornar-se vantajoso.

4.3.1 Benefícios encontrados com seu uso

Esses sistemas de navegação não liberam radiação, a única radiação usada será para fazer os exames de imagem pré cirúrgico e pós cirúrgico. Deste modo, é uma tecnologia que pode ser usada na frequência e pelo tempo desejado sem causar potenciais danos futuros aos pacientes (GUIDED; TECHNOLOGIES, 1998; ZELLER et al., 2021).

Outro benefício é com relação as taxas de morbidade e mortalidade pós-operatórias, as quais são reduzidas pela diminuição de danos durante a cirurgia, justamente pelo acompanhamento e visualização em tempo real (SAMARAKKODY & ABDULLAH, 2016).

É também considerado um ótimo sistema para a faixa etária pediátrica, pelo fato de suas cavidades nasais e paranasais continuarem em crescimento, mudando assim ao longo de seu desenvolvimento até alcançarem a fase adulta. Com o crescimento e conforme ocorre a pneumatização, os pontos de referência vão sendo alterados e a anatomia adequada acaba por ser muitas vezes um trabalho de suposição para o cirurgião, deste modo, a união da navegação à cirurgia ajuda muito (SAMARAKKODY & ABDULLAH, 2016).

Por fim, outro grande benefício relatado em diversos artigos é sobre a margem de erro sendo inferior a 1 mm. A precisão técnica é menor que 1 mm e a precisão intraoperatória está entre 1 a 2 mm, portanto, pode ser considerada útil para todas as indicações de cirurgias (EWERS et al., 2005 ; YU et al., 2010; AZARMEHR et al., 2017).

4.4 CIRURGIAS BUCOMAXILOFACIAIS COM NAVEGAÇÃO

A cirurgia com navegação fez uma revolução tanto no conceito como na abordagem de reconstruções de fraturas médio-faciais complexas e cominutivas. Tornou-se um componente fiável do arsenal cirúrgico e é descrita em uma grande variedade de procedimentos orais e maxilofaciais (TERZIC et al., 2011). Entre eles, podem ser citadas as cirurgias ortognáticas, a localização e remoção de corpos estranhos, a redução de fraturas faciais, as cirurgias de base de crânio, as reconstruções maxilomandibulares, cirurgias dos seios paranasais, as biópsias de patologias, as fraturas de assoalho ou mediais de órbita, as cirurgia da articulação temporomandibular (ATM) e a instalação de implantes (COLLYER, 2010; BOBEK, 2014; DEAN; HEREDERO; JESÚS, 2015; LANDAETA-QUINONES; HERNANDEZ; ZARROUG, 2018).

Através do software de navegação, propicia-se a execução de diversas ações nas estruturas anatômicas previamente ao procedimento cirúrgico. Com isso, trouxe-se uma grande mudança nas estratégias cirúrgicas reconstrutivas (TERZIC et al., 2011). A navegação, deste modo, pode também ser muito útil em casos de pacientes que possuem síndromes craniofaciais ou deformidades pós-traumáticas e extensas anquiloses ósseas. Sabe-se também, que é possível serem executadas osteotomias personalizadas, evitar a lesão do nervo alveolar inferior, artérias, glândulas, músculos e entre outras estruturas de grande importância e gravidade (BOBEK, 2014).

Abaixo, alguns relatos de casos clínicos na área da cirurgia bucomaxilofacial que fizeram associação do sistema navegado.

4.4.1 Remoção de corpos estranhos

O trauma bucomaxilofacial resulta em diversas lesões penetrantes e alguns desses corpos estranhos podem ocasionar dores, infecções, desconfortos ao paciente e alterações funcionais. É imprescindível remover corpos estranhos que estão próximos ou em contato com áreas críticas, entretanto, localizar e elaborar uma abordagem cirúrgica segura é uma tarefa difícil e trabalhosa. Com isso, a navegação cirúrgica têm sido bem sucedida em procedimentos como esses, no qual é feito o planejamento pré-operatório e a visualização intraoperatória para capturar objetos (GUI et al., 2013).

Essa técnica traz benefícios de aperfeiçoamento da precisão cirúrgica, diminuição no tempo do procedimento e o acesso minimamente invasivo. Os autores indicam a remoção de corpos estranhos em situações que esses fragmentos possam causar lesões a áreas vitais, na possibilidade de futuras complicações, quando tem-se diversos fragmentos, quando são procedimentos minimamente invasivos e por último quando não houve sucesso na retirada em cirurgias convencionais (GUI et al., 2013).

Em ferimentos por projéteis, as características como: velocidade, calibre, massa, composição e seu ângulo de trajetória irão influenciar na extensão do ferimento. Os projéteis também irão modificar a anatomia e deixar a região muito danificada, com dificuldades muitas vezes em se localizar no campo cirúrgico. A face é uma região repleta de estruturas muito importantes confinadas em um pequeno espaço anatômico e a gravidade do ferimento a bala pode variar atingindo apenas tecidos moles, como também diversas outras estruturas anatômicas. Mesmo com a reprodução da imagem de um projétil, sua retirada pode ser difícil se não estiver próxima de algum marco anatômico. Com isso, através dos sistemas de navegação obtêm-se o registro do espaço da imagem e do espaço físico do paciente fornecendo orientação em tempo real para o cirurgião e sua equipe (GRÖBE, 2009).

No estudo de Gröbe et al, 2009 participaram 50 pacientes, nos quais em 32 deles foram feitas cirurgias navegadas e em 18 cirurgias sem navegação. Todos os procedimentos transcorreram bem, sem problemas. A taxa geral de complicações foi de 34%. Foi encontrada uma correlação significativa ($p = 0,0136$) entre a cirurgia navegada versus uma cirurgia não navegada. A taxa de complicações, abrangendo sangramento importante (N amostra total= 4 vs. Navegado = 1, 8% vs. Não navegado = 2%), dano nervoso (N amostra total = 2 vs. Navegado = 0, 4% vs. Não navegado = 0%;) e infecções de tecidos moles (N amostra total= 7 vs. Navegado = 2, 14% vs. Não navegado = 4%). Foi também encontrada uma correlação significativa ($p = 0,038$) entre o tempo de operação e complicações pós-operatórias, incluindo

em especial sangramento importante e infecções de feridas.

Outro fato é ao usar o sistema de navegação no qual é possível reduzir o tempo cirúrgico. A média de tempo em um procedimento cirúrgico não navegado foi 164 ± 73 min versus 120 ± 76 min para um procedimento cirúrgico navegado, incluindo o processo de registro.

Gui et al., 2013 operaram 5 pacientes que apresentavam corpos estranhos retidos na região maxilofacial. Esses corpos estranhos eram na grande maioria de metal ou vidro e se encontravam nos espaços massetérico, infratemporal, parafaríngeo e ápice periorbital. Todos os pacientes foram submetidos a cirurgia navegada e quatro dos cinco casos tinham o objeto próximo a artéria carótida. Além de tomografia, também foi feita angiografia e a localização dos objetos foi identificada no software.

Em relação ao rastreamento, o marcador de referência estático foi fixado a testa do paciente para identificar a posição da cabeça e na sonda de navegação. Com esse marcador foi possível rastrear e calibrar qualquer instrumental cirúrgico (por exemplo pinças, fórceps), possibilitando a visualização contínua dos instrumentos na tela do computador. Como marcadores de registro, foram fixados parafusos no osso alveolar da maxila anteriormente a tomografia e no registro foi alcançada uma correlação precisa entre os espaços virtuais e os espaços físicos. A localização espacial precisa do corpo estranho foi visualizada na tela do computador e com isso a precisão do sistema foi verificada localizando repetidamente alguns marcos anatômicos (GUI et al., 2013).

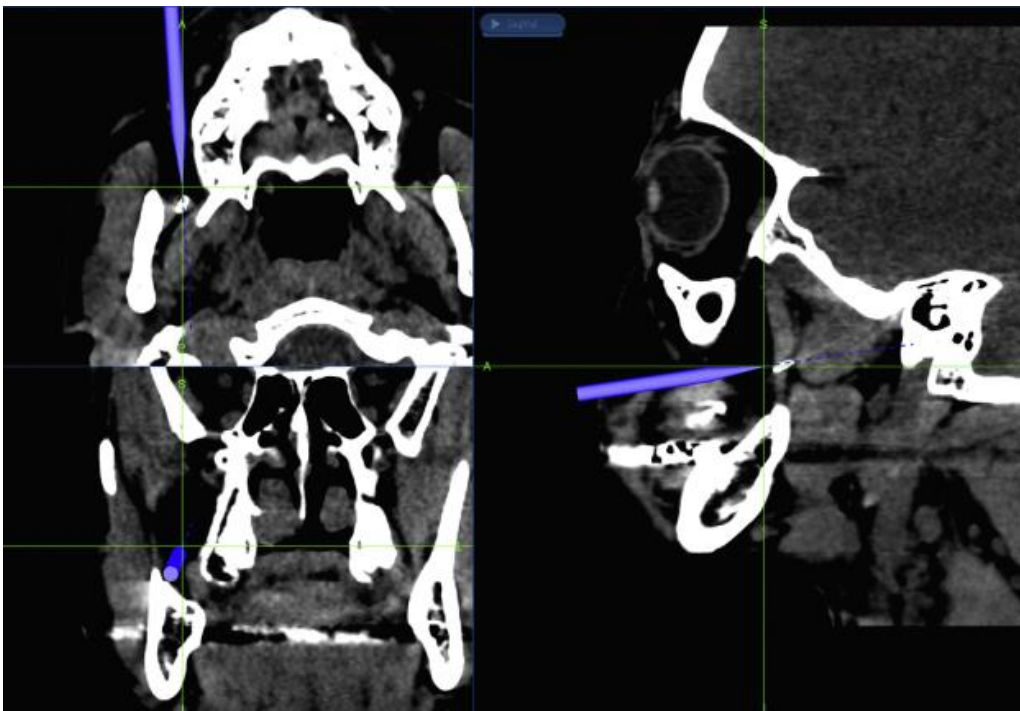
Com o auxílio da navegação na cirurgia, os procedimentos puderam ser minimamente invasivos com a ajuda da sonda para detectar o local anatômico e não causaram danos a estruturas próximas e de grande importância. Todas as cirurgias alcançaram uma precisão do sistema inferior a 0,8 mm e os corpos estranhos foram removidos com segurança e sucesso. O tempo de procedimento, após concluídas as etapas de instalação do sistema foi em média de 15 minutos (GUI et al., 2013).

Outro relato muito importante é em relação as anestésias locais de bloqueio do nervo alveolar inferior, nas quais pode ocorrer fratura da agulha e esse fragmento pode se alojar no espaço pterigomandibular, estando próximo de estruturas vitais de grande importância. A remoção dessa agulha torna-se um grande desafio em meio a estruturas com risco de serem lesionadas e por um campo cirúrgico sem uma boa visualização. A exploração sem um sistema navegado pode ser mais prejudicial. Na figura 7 é possível ver a navegação cirúrgica (Yen et al., 2015).

Relato dos autores sobre o acesso cirúrgico em um paciente (YEN et al., 2015):

Para obter acesso, uma incisão vertical de 4 cm ao longo do ramo foi feita. A dissecação subperiosteal foi realizada medialmente ao longo do ramo. A língua e o nervo alveolar inferior foram identificados. A agulha quebrada não pôde ser visualizada ou palpada porque estava presa dentro da musculatura pterigóidea medial. Em seguida, posicionou-se a sonda de navegação até a ponta do instrumento que estava no ponto mais anterior do fragmento de agulha na TC pré-operatória. Com a sonda de navegação ainda em posição, a dissecação roma foi realizada adjacente ao instrumento da sonda. A ponta do fragmento de agulha foi identificado, e a agulha quebrada foi removida com pinça hemostática.

Figura 7 - Navegação intraoperatória em tempo real, a ponta da sonda está posicionada ao lado do fragmento da agulha.



Fonte:(YEN et al., 2015).

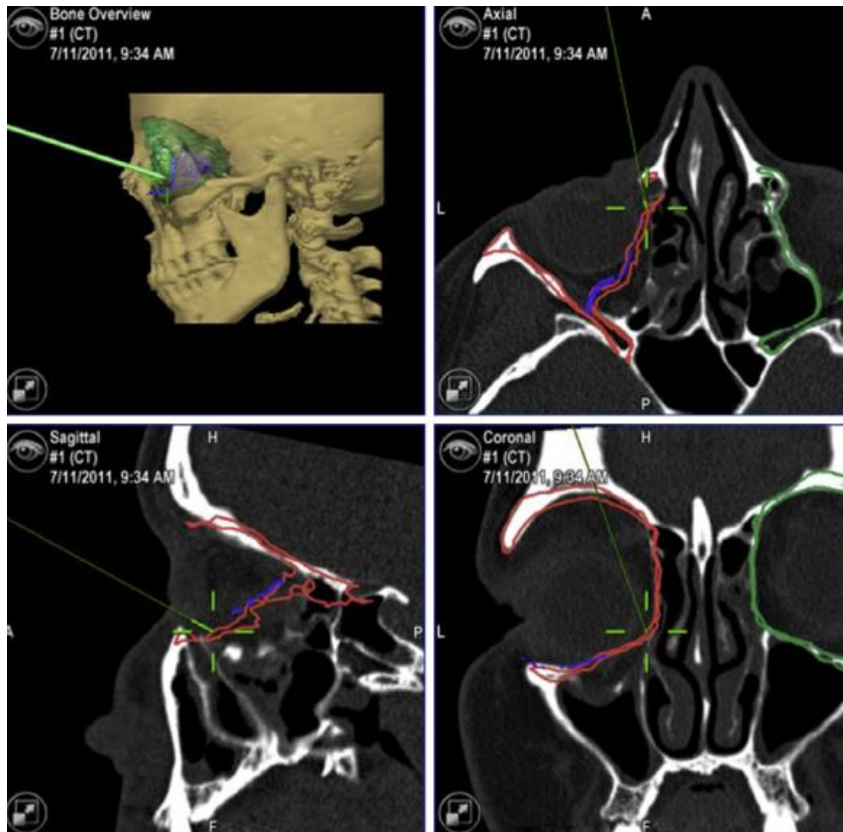
4.4.2 Fraturas de terço médio da face

Reconstruções inadequadas de fraturas nas estruturas orbitárias podem causar sequelas nos pacientes, como a enftalmia e a diplopia. Desse modo, o planejamento virtual e a navegação intraoperatória podem ser empregados no tratamento e desempenhar seu papel garantindo um melhor resultado no pós operatório (DEAN et al., 2015).

No planejamento virtual, a correção da órbita fraturada é executada com o espelhamento da outra órbita que está íntegra, sobreposta ao lado fraturado e no caso que é mostrado na figura 8 abaixo, é adaptada uma malha de titânio na região de fratura. Após a fixação, com a sonda de

navegação na região identifica-se se o posicionamento está correto confirmando com a posição que a sonda se encontra na tela de computador (DEAN et al., 2015).

Figura 8 - Malha de titânio posicionada e confirmação com a sonda de navegação.



Fonte: (DEAN et al., 2015).

No estudo de Yu et al, 2010, seis pacientes com deficiências funcionais e deformidades estéticas devido a fraturas no complexo zigomático-orbital maxilar fizeram procedimentos para correção através de cirurgia navegada. Como método de registro, foram implantados cinco parafusos no osso alveolar da maxila e após realizada a tomografia. No software em que é feito o planejamento cirúrgico virtual, o lado intacto foi espelhado sobre o lado fraturado e comparado na janela de reconstrução 3D com cores distintas para perceber as diferenças na sobreposição.

Após finalização do planejamento, a imagem virtual no computador de trabalho foi combinada com a posição do paciente na sala cirúrgica por registro individual com os 5 parafusos que haviam sido posicionados na maxila no pré-operatório. A precisão do registro era repetida e verificada visualmente em cada paciente através da localização frequente de estruturas anatômicas, como por exemplo, cúspide de um dente, incisivo central, entre outros).

Após as estruturas ósseas serem reposicionadas como previsto no planejamento cirúrgico virtual, a sonda de navegação foi posicionada em diferentes regiões reduzidas e imobilizadas para confirmar o correto posicionamento (H YU et al., 2010).

De 3 a 5 dias após o procedimento, foi feita uma tomografia em cada paciente para avaliar o resultado da cirurgia. As cirurgias foram todas bem sucedidas, a discrepância de registro encontrada foi menor que 1 mm, o desvio máximo entre desenho pré operatório e os resultados cirúrgicos foi menor que 2 mm, as reduções de fraturas tiveram boa compatibilidade com o que foi planejada no pré cirúrgico (H YU et al., 2010).

No trabalho de He et al, 2013, foram tratados com cirurgia navegada seis pacientes com fratura zigomática unilateral tardia e documentados os passos realizados nos procedimentos. Os pacientes fizeram tomografia computadorizada e seus dados foram transferidos para o software de planejamento. O osso zigomático e o arco zigomático estavam fraturados em três segmentos e, com isso, conduziram-se dois planejamentos virtuais. No planejamento virtual 1 foram colocados objetos cilíndricos no formato STL nos fragmentos, atuando como marcadores de superfície. Foi feito o planejamento virtual 2 com esses objetos cilíndricos e a redução das fraturas para a posição final ideal (HE et al., 2013).

Durante a cirurgia, através do planejamento virtual 1, os marcadores de superfície foram feitos no paciente pois houve a mescla do posicionamento atual do paciente com o planejamento. Após feitas as marcações, a cirurgia seguiu com o uso do planejamento virtual 2 mesclando cada segmento com seu marcador e com realização da redução das fraturas como planejado anteriormente (HE et al., 2013).

O erro de registro nesses seis pacientes foi inferior a 0,7 mm. Os procedimentos foram feitos com cuidado evitando excesso de pressão sobre as fraturas e após a exposição desses ossos, as sondas do sistema de navegação foram testadas sobre esses fragmentos, de modo a verificar a precisão do registro (HE et al., 2013).

Na publicação de Novelli et al, relata-se um estudo com 11 pacientes que possuíam diferentes patologias orbitárias e alguns deles já apresentavam sequelas, como, diplopia e enoftalmia. As cirurgias seguiram alguns passos para a correta concretização. Um splint com cinco parafusos colados foi adaptado na maxila e foram instalados dois parafusos orbitais bilaterais nas órbitas superiores de forma a melhorar a precisão do registro. Após a instalação das marcações para o registro (splint na maxila e parafusos orbitais) foram realizadas tomografias e as mesmas foram processadas em um software específico para fazer o planejamento cirúrgico virtual.

A próxima etapa foi o registro do paciente e dos instrumentos e assim que concluída

pôde ser verificada a sua precisão. Nas etapas seguintes, sucederam-se os procedimentos cirúrgicos totalmente guiados pela navegação e assim que se adquiriram as posições virtuais das malhas de titânio sobre as fraturas, as mesmas puderam ser fixadas (NOVELLI et al., 2014). Após as cirurgias, tomografias foram feitas para avaliar a adequação da reconstrução. Em todos os casos, a média de erro foi inferior a 1,3 mm e as sequelas foram corrigidas. Na imagem 9 é visto o intraoperatório (NOVELLI et al., 2014).

Figura 9 - Localização dos parafusos para a estabilização da malha com auxílio de navegação.



Fonte: (NOVELLI et al., 2014).

4.4.3 Cirurgia ortognática

4.4.3.1 Reposicionamento da maxila

Um estudo com 15 pacientes, que apresentavam deformações dentofaciais de classes II e III, foi executado com a aplicação da cirurgia navegada para o reposicionamento de suas maxilas. As tomografias foram feitas um mês antes das cirurgias e seis meses após o procedimento foram repetidas. Esse período de 6 meses foi considerado para adquirir resultados estáveis e de modo a analisá-los com relação ao planejamento cirúrgico e o sucesso da cirurgia com navegação (BADIALI et al., 2015).

Quando foi realizado o registro pré-operatório da tomografia com a atual anatomia do paciente, o erro médio de registro do alvo encontrado foi de 0,30 mm e os valores finais variaram de 0,30 a 0,50 mm. O registro foi baseado em referências dentais da maxila, como os brackets nos incisivos centrais, caninos e primeiros molares e em referências de estruturas

ósseas, como espinha nasal anterior e os forames infraorbitários (chamado de registro baseado em pontos). Foi feito também o refinamento da superfície óssea na área exposta da maxila, conhecido por registro baseado em superfície. Se a sobreposição correta fosse observada entre os pontos de referência do paciente real e os virtuais, o procedimento era confirmado e a cirurgia poderia então ser procedida (BADIALI et al., 2015).

Essa cirurgia não foi diferente da cirurgia ortognática em que é feita no modo tradicional. O único aspecto que a “modificou”, foi a inclusão do sistema de navegação, de modo que permitiu cada deslocamento de segmento ósseo ser controlado por apontar com o instrumento a posição imobilizada e verificar a sobreposição entre a posição planejada (mostrada na tela LCD) e a posição alcançada. O cirurgião movimentou as estruturas ósseas dos pacientes até alcançar a posição planejada. Após a imobilização das estruturas, a ponta do ponteiro foi usada para tocar os pontos de referência definidos anteriormente (brackets, espinha nasal anterior...) nessas partes ósseas que estavam imobilizadas, visualizando no monitor do sistema de navegação se o ponteiro virtual correspondente tocava o ponto de referência virtual análogo (BADIALI et al., 2015).

Os resultados clínicos foram todos satisfatórios e sem grandes complicações. Os tempos cirúrgicos variaram de 180 a 240 minutos (incluindo o procedimento de genioplastia). A configuração do sistema de navegação e a parte de registro do paciente variaram de 10 a 20 minutos, o reposicionamento da maxila auxiliado pela navegação levou de 5 a 10 minutos (BADIALI et al., 2015).

4.4.3.2 Reposicionamento da mandíbula

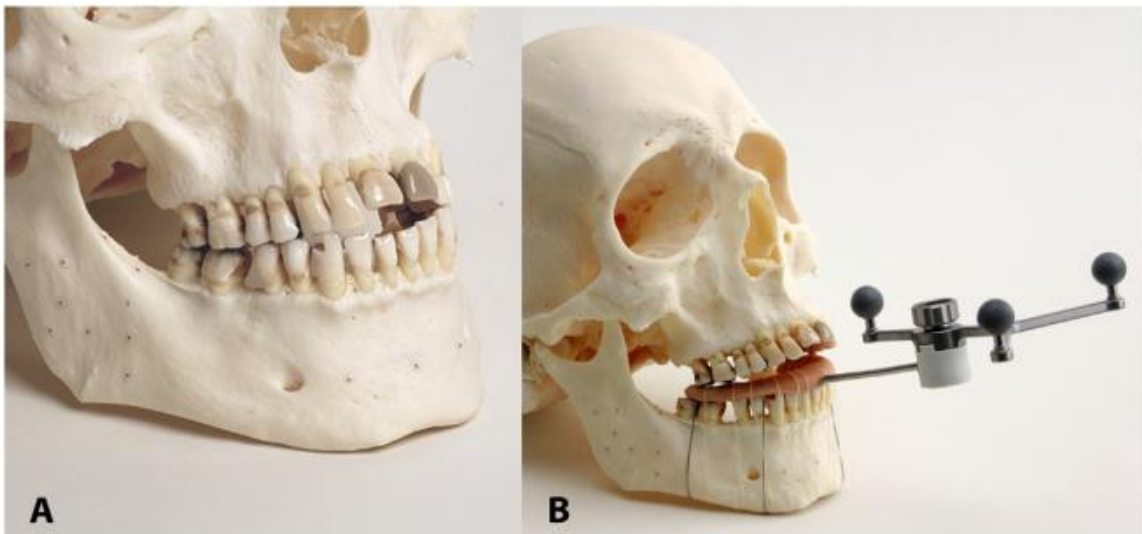
Usualmente, é feita a instalação do dispositivo de referência (dispositivo que faz a identificação da posição atual do paciente) na testa do paciente e o registro é executado com pontos de referência no tecido duro ou por registro de superfície a laser. Entretanto, pelo fato da mandíbula ser um osso móvel, a navegação cirúrgica fica limitada se o dispositivo de referência do paciente for instalado na testa pois ainda não está claro se a distância da mandíbula à testa do paciente poderá afetar ou não a precisão do aparelho de navegação.

Portanto, fazer o registro no meio da face e instalar o dispositivo de referência do paciente em sua frente não é adequado para procedimentos mandibulares. Nesses casos, o mais apropriado é que o dispositivo de referência seja instalado na mandíbula, assim como o registro realizado no mesmo local (NAUJOKAT et al., 2017).

No estudo de Naujokat et al, foi elaborada uma técnica de registro de mandíbula, em

que foram feitas diferentes marcações em crânios e após a aprovação puderam ser realizados em pacientes. O registro consistia em pontas de metal fixadas em seis diferentes áreas da mandíbula, o dispositivo de referência era fixado em um splint oclusal, e este splint era fixado as mandíbulas através de fios e elásticos ortodônticos, conforme é visto na imagem 10.

Figura 10 – a) Pontas de metal fixadas em seis diferentes áreas da mandíbula; b) O dispositivo de registro foi fixado a tala oclusal, e esta foi fixada a mandíbulas através de fios e elásticos ortodônticos.

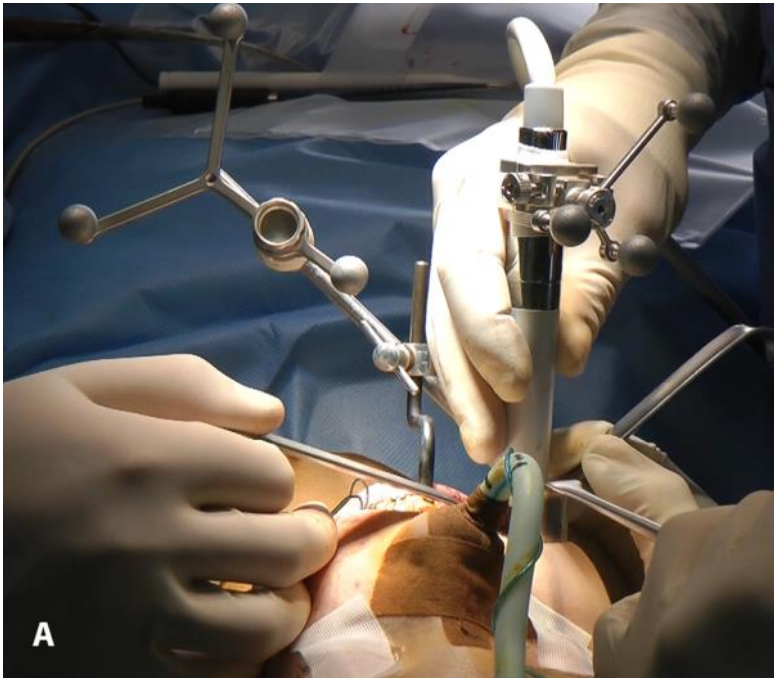


Fonte: (NAUJOKAT et al., 2017).

Nesse estudo participaram seis pacientes com a indicação de osteotomia de maxila e mandíbula para as más oclusões de classe II e III de Angle e o método foi adaptado aos pacientes. Em cada paciente foi posicionado um splint mandibular individual e preso a ele fora da cavidade oral estava o dispositivo de referência. O splint foi preso a mandíbula através de fios fixados no aparelho ortodôntico, conforme é visto na imagem 11 (NAUJOKAT et al., 2017).

Nos resultados das cirurgias ortognáticas realizadas, uma diferença de 1,5 mm foi encontrada e considerada um padrão clinicamente aceitável, assim como descrita por ser uma discrepância clinicamente imperceptível. Apesar disso, os méritos da cirurgia ortognática com navegação são controversos e permanecem como um assunto de discussão (NAUJOKAT et al., 2017).

Figura 11 - Visão intraoperatória de osteotomia sagital bilateral em paciente usando um splint nos dentes da mandíbula e externamente presa a ela estão esferas refletoras (dispositivo que faz a referência do paciente). Ao lado está o instrumento sendo usado no momento e com as mesmas esferas.



Fonte: (NAUJOKAT et al., 2017).

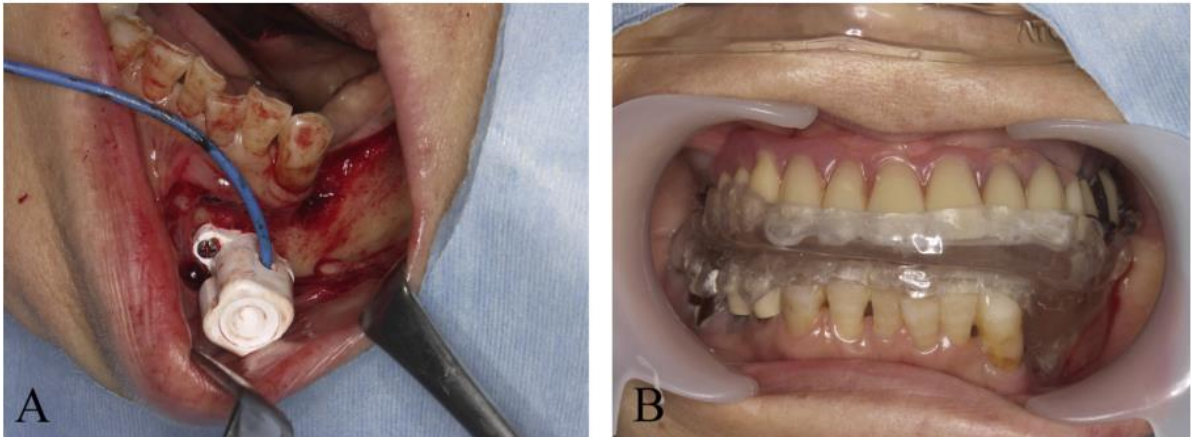
Em outro estudo realizado por Sukegawa et al., 2018, relata-se também que a navegação se torna difícil na mandíbula devido a sua mobilidade, de modo a complicar a sincronização com os dados da imagem pré-operatória no momento cirúrgico. Contudo, se a mandíbula fosse mantida na mesma posição tanto na aquisição das imagens quanto durante a cirurgia, todas as estruturas dentro da imagem poderiam ser firmadas em uma posição idêntica de forma a garantir a precisão do sistema de navegação.

Nesse artigo são relatadas três possíveis soluções para a aplicação da navegação na mandíbula, a primeira é relatada com a montagem de um quadro de referência dinâmico que permite o rastreamento contínuo do movimento mandibular durante a cirurgia. O rastreamento é feito através de um sensor e marcadores fiduciais dos dentes, conforme é visto na figura 12A.

A vantagem desse rastreio é de que a mandíbula ficará solta, livre para ser feito qualquer movimento, entretanto, é necessário um procedimento especial para a fixação dos pontos de referência, aumentando o tempo e gerando um procedimento mais complexo. A segunda estratégia seria manter a posição intercuspidal imóvel de forma que a sincronização mandibular seja garantida no intraoperatório. A desvantagem é de que a maioria das cirurgias mandibulares necessitam que a mandíbula possa ser aberta durante as cirurgias transorais. A terceira estratégia é manter a mandíbula em uma postura reproduzível ou em uma posição contra a maxila fazendo uso de um molde de oclusão, conforme é mostrado na figura 12B. Essa estratégia, no entanto,

é sensível ao movimento relativo da mandíbula, reduzindo dessa forma a precisão da navegação cirúrgica.

Figura 12 - a) Rastreamento da mandíbula através de sensor e marcadores fiduciais nos dentes; b) Molde de oclusão mantendo a mandíbula em posição estável e definida.



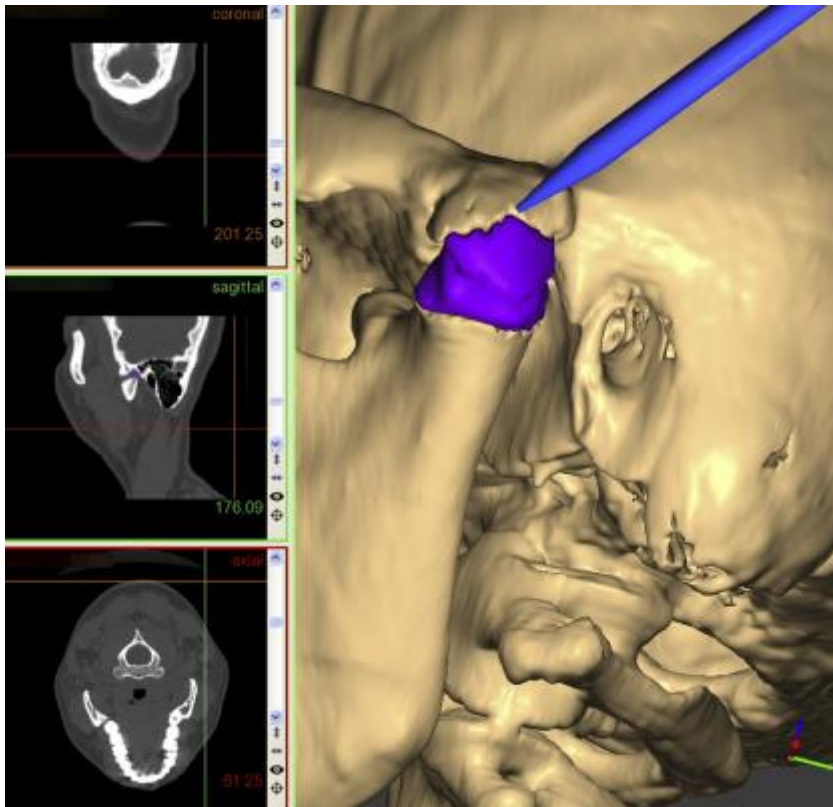
Fonte: (SUKEGAWA et al., 2018).

4.4.4 Cirurgias reconstrutivas da base do crânio e da articulação temporomandibular

No tratamento de doenças da ATM, a cirurgia navegada desempenha um papel importante em procedimentos como ressecção de tumores e artroplastia. Na presença de um osso anquilosado, cujo tecido ósseo é irregular e com margens pouco definidas, o planejamento virtual assistido por computador e a navegação intraoperatória podem aumentar muito a segurança na cirurgia da base do crânio e diminuir consideravelmente as complicações. Em pacientes com anquilose temporomandibular unilateral, o plano pré-operatório pode ser feito com a ferramenta de espelhamento do software, sobrepondo o lado não afetado sobre o lado afetado (GUI et al., 2014).

O registro e a navegação cirúrgica firmados em instrumentos e indicadores foram realizados com sucesso e com discrepâncias menores que 0,8 mm. A tomografia pós-operatória sobreposta ao plano cirúrgico virtual mostrou grande congruência, com discrepâncias menores que 0,8 mm. Na figura 13 é mostrada a navegação (GUI et al., 2014).

Figura 13 - Navegação intraoperatória.



Fonte: (GUI et al., 2014)

4.4.4.1 Maxilectomia

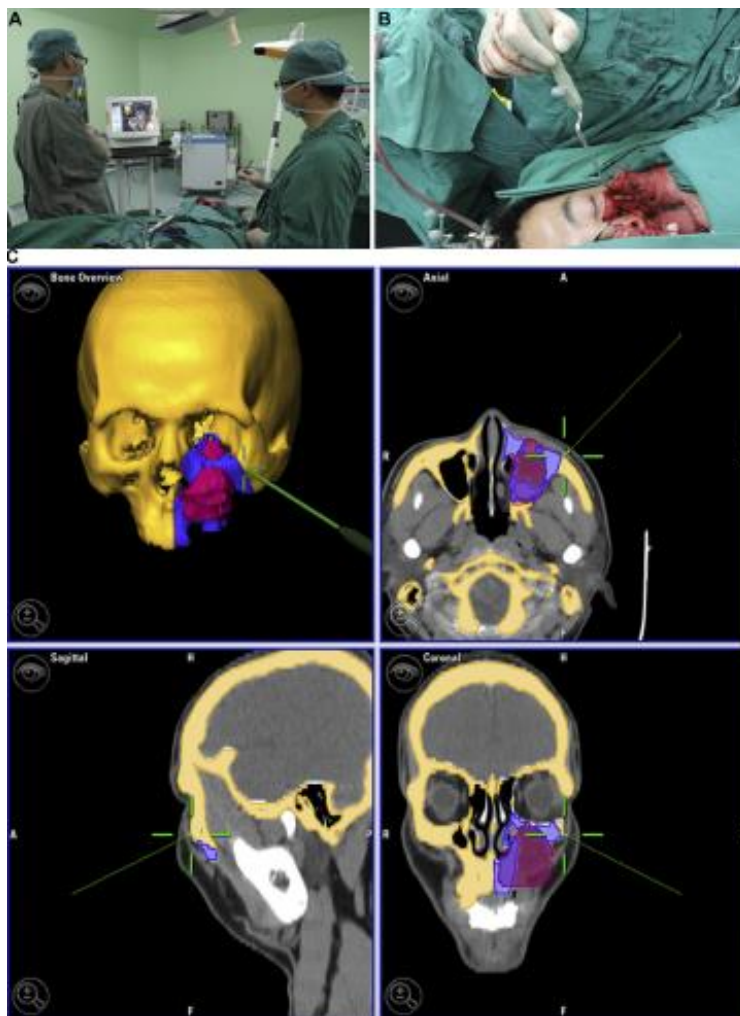
Estudo em que foi realizado o procedimento de maxilectomia extensa em quatro pacientes diagnosticados com tumores benignos. Os pacientes foram submetidos a tomografia, planejamentos cirúrgicos com espelhamento de estruturas em software específico e após concluídos foram enviados para o sistema de navegação (ZHANG et al., 2015).

As cirurgias ocorreram totalmente por navegação, instruídas pelo planejamento cirúrgico virtual. Malhas cirúrgicas de titânio foram adaptadas nos defeitos dos assoalhos orbitais e a reconstrução dos defeitos feita com retalhos. A posição e profundidade das malhas, assim como sua adaptação eram vistas no computador e após confirmação da correta posição, foram fixadas. Na figura 14 é mostrado o procedimento intraoperatório de navegação (ZHANG et al., 2015).

Por ser uma região com presença de estruturas nobres, através da navegação têm-se uma precisão cirúrgica maior e conseqüentemente evitam-se lesões nessas regiões de grande relevância. Em tumores de maxila, devido a riqueza de estruturas nobres no local, é possível ocorrer danos a diferentes estruturas anatômicas, como por exemplo, a artéria maxilar interna,

a estrutura nasal, a lâmina crivosa, a parede posterior do seio frontal, a fossa temporal, as quais apresentam contato íntimo com a articulação e entre outras estruturas.

Figura 14 - Imagens A e B mostram o cirurgião com o instrumental cirúrgico guiado pela navegação e suas funções sendo mostradas no monitor do computador; nas imagens da reconstrução 3D do crânio e dos três cortes da tomografia, é visualizado o tumor mesclado com o planejamento virtual mostrando as regiões selecionadas e em verde mostra-se uma seta, indicando onde está o instrumento cirúrgico em tempo real.



Fonte: (ZHANG et al., 2015).

4.4.5 Implantes

Na cirurgia de instalação de implantes, duas abordagens de implantodontia assistida por computador podem ser empregadas. Entre as opções estão as com o uso de guias cirúrgicas (estático) ou através do sistema de navegação (dinâmico). Os modelos estáticos são restritos a

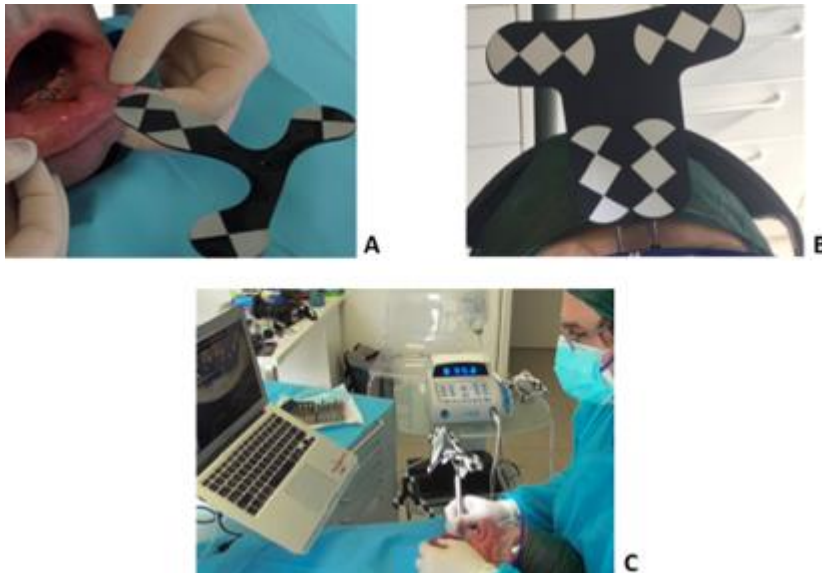
protocolos não ajustáveis e apresentam uma possível dificuldade na visualização de campo, mas podem sim evitar um posicionamento não esperado do implante através do uso da guia cirúrgica. Entretanto, nos modelos dinâmicos, há a visualização em tempo real da relação entre a broca de perfuração e as estruturas anatômicas circundantes durante a instalação do implante. Dessa forma, evitam-se possíveis danos a estruturas nobres ou uma instalação incorreta do implante (GARGALLO-ALBIOL et al., 2019; STEFANELLI et al., 2020; PELLEGRINO et al., 2020; WEI ET AL., 2021).

No estudo de Stefanelli et al, 2020, treze pacientes parcialmente edêntulos passaram pelas etapas de tomografias, escaneamento intraoral e enceramento virtual (STL) para simular a substituição dos dentes remanescentes por implantes. Após estes procedimentos, esses dados foram inseridos no software e todas as informações foram sobrepostas aos dentes residuais dos pacientes, fazendo a união.

O planejamento virtual dos implantes foi realizado sobre esses documentos sobrepostos e cuidando a futura saída protética. Nesse mesmo planejamento, o dentista selecionou três marcos de tecido duro para posteriormente estabelecer-se a união da tomografia com a posição atual do paciente e estes marcos geralmente são dentes. Para a rastreamento da mandíbula, foi posicionada uma etiqueta de rastreamento óptico presa a um fio de metal dobrado para a fixação a um ou dois dentes com resina composta. Contudo, na maxila, o dispositivo de rastreamento pode ser fixado diretamente na cabeça do paciente. Na figura 15 é possível visualizar as fixações para maxila e mandíbula, assim como o rastreamento em tempo real. (STEFANELLI et al., 2020).

A precisão dos rastreamentos foi avaliada ao tocar no dente do paciente com o instrumental que têm esferas refletoras e comparar a localização do mesmo instrumento no display do sistema de navegação. O eixo da peça de mão e a ponta da broca foram também calibrados e uma segunda verificação da precisão foi realizada da mesma maneira que a anterior. Quando o eixo de perfuração e a precisão da ponta de perfuração foram verificados, a instalação navegada do implante foi prosseguida seguindo a visão disponível no display. O clínico conseguiu verificar em tempo real o local de entrada, a profundidade e a angulação da osteotomia planejada em relação ao plano selecionado. Dos 77 implantes instalados, 73 foram osseointegrados após quatro meses e apenas 4 implantes foram perdidos durante o período de cicatrização. Essa foi a única falha relatada nos 13 pacientes do estudo (Stefanelli et al., 2020).

Figura 15 – a) Etiqueta óptica de rastreamento de mandíbula fixada ao fio de metal, e este último colado em parafusos presos na estrutura óssea do paciente; b) Etiqueta óptica fixada a cabeça do paciente para rastrear a região de maxila; c) Tela do computador mostrando o rastreamento sendo feito.



Fonte: (STEFANELLI et al., 2020)

Em outra publicação, também foi encontrado o relato de instalação de implantes na mandíbula, ainda que a par da dificuldade de registro nessa estrutura óssea, a navegação foi a melhor escolha para o caso descrito. O paciente apresentava uma grande atrofia óssea mandibular e conseqüentemente grande proximidade ao nervo alveolar inferior. O que foi muito benéfico aplicar a navegação de modo a evitar danos a estruturas de grande importância (HERKLOTZ et al., 2017).

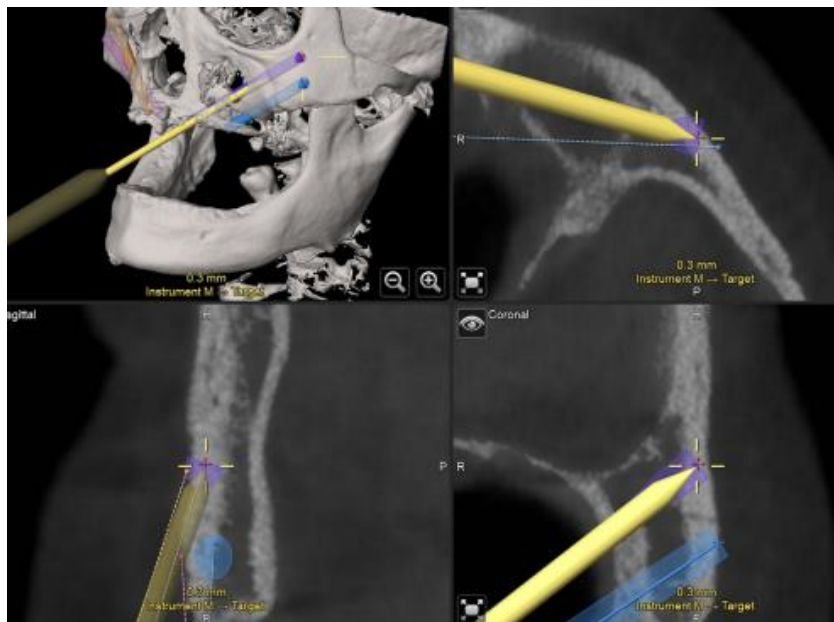
No estudo longitudinal retrospectivo de Feng Wang et al, 2018, executaram-se cirurgias navegadas de implantes zigomáticos em pacientes que apresentavam severa atrofia maxilar. Através de exames tomográficos, foram avaliados os graus de reabsorção óssea, assim como analisado um planejamento dos implantes considerando seus comprimentos e posições nos processos zigomáticos e com relação as estruturas circundantes.

Como método de registro, parafusos de titânio foram inseridos na arcada superior sob anestesia local atuando como marcadores fiduciais. Pelo menos 6 parafusos foram instalados para serem usados de registro ponto a ponto em cada paciente. A distribuição dos mini parafusos foi em regiões como a sutura palatina, espinha nasal anterior, tuberosidade maxilar bilateral e outros locais que poderiam fornecer ancoragem óssea e os quais não iriam interferir na inserção dos implantes zigomáticos. Para consideração geométrica, a área medida pelos parafusos era a

maior possível para atingir um campo amplo para a máxima precisão. Após a inserção dos parafusos, novas tomografias foram adquiridas e os dados foram importados para um software de planejamento pré-operatório. Nesse software foram fornecidas trajetórias cilíndricas que simulavam o caminho de perfuração dos implantes zigomáticos e os mini parafusos foram marcados como pontos de registro para registro de imagem intraoperatória (posição atual do paciente na sala cirúrgica) (WANG et al., 2018).

Posteriormente, em sala cirúrgica e com anestesia geral, o marcador de referência estático foi fixado rigidamente ao crânio e fixado junto a ele 3 esferas refletivas. O sistema de navegação foi calibrado para o paciente através de uma sonda de posicionamento para entrar em contato com os mini parafusos. Após o registro, as imagens de reconstrução sagital, coronal, axial e 3D foram exibidas. Marcadores de referência foram fixados na peça de mão para se obter a visualização em tempo real da trajetória de perfuração do osso zigomático na tela do computador, conforme é visto na figura 16. Todas as perfurações de alvo foram bem identificadas na reconstrução 3D e todos os procedimentos de perfuração seguiram as trajetórias do ponto de entrada ao ponto de saída conforme planejadas (WANG et al., 2018).

Figura 16 – Trajetória de perfuração do implante zigomático no cilindro virtual.



Fonte: (WANG et al., 2018).

5 DISCUSSÃO

Com base na revisão de literatura apresentada e nos estudos para obter um correto entendimento sobre a definição da cirurgia navegada, seu funcionamento, seu papel na área da cirurgia bucomaxilofacial, entre outros aspectos, algumas interpretações podem ser feitas. A começar pelo entendimento da sistemática da navegação, considerada complexa e por apresentar uma curva de aprendizado laboriosa, pelo fato de não termos uma vivência e pouco conhecimento dessa tecnologia em nossa prática atual. Está, de certo modo, distante da realidade em que vivemos, justamente por ser um equipamento de alto custo tanto para o hospital, quanto para o paciente que fará o procedimento.

A grande maioria dos artigos são originários da Ásia, assim como também grande parte das cirurgias são realizadas lá e nota-se que as amostras de pacientes que participaram dos estudos são geralmente pequenas. No Brasil têm-se dificuldade para encontrar publicações nessa área, no entanto, em especialidades médicas como ortopedia, neurocirurgia e otorrinolaringologia o seu uso é mais habitual. Percebe-se também, que as publicações mais atuais estão evoluindo com maior intensidade para o campo das cirurgias de navegação com realidade aumentada ou então de cirurgias por vídeo com realidade aumentada.

Uma comparação que pode ser feita é do uso da cirurgia vídeo assistida com relação a cirurgia navegada. Na região da articulação temporomandibular (ATM), por exemplo, é mais usada a cirurgia vídeo assistida e esta apresenta a grande vantagem de não necessitar um preparo a mais no pré-cirúrgico quando comparada a navegação. Esses fatos fazem com que pensemos que o sistema navegado não prosperou tanto como o imaginado e os artigos mais recentes têm abordado mais temas como precisão, alternativas de registro ao invés de relatos de casos na área bucomaxilofacial.

É um sistema que prosperou e com maior viabilidade na área médica, onde o campo de trabalho é menos restrito e geralmente fixo. Um exemplo disso está no relato de alguns artigos encontrados que fazem segmentação do enxerto ósseo na perna do paciente com a navegação, mas ao adaptá-lo e fixá-lo na face do paciente é realizado de modo tradicional.

Outro ponto a ser abordado é sobre a quantidade e o tamanho dos instrumentais adicionados com a navegação, visto que a face possui um campo de acesso limitado quando comparado a cirurgias na região do abdômen, por exemplo. Os instrumentos podem dificultar o acesso a região cirúrgica, além da necessidade de um preparo extra antes do procedimento. O uso de marcadores inseridos na estrutura óssea do paciente deixa a navegação menos atrativa, ademais, é necessário um procedimento só para a instalação dos parafusos. Em contrapartida,

como mencionado na revisão de literatura, há outras opções de marcadores. O escaneamento a laser é uma alternativa que aparenta facilitar e simplificar o procedimento.

Constata-se que o sistema de navegação pode ser usado para qualquer cirurgia bucomaxilofacial, contudo, é importante salientar sua dificuldade de uso na região de mandíbula. Em razão da sua mobilidade, por fazer movimentos de lateralidade, torna-se difícil a aplicação desse sistema. As chances de causar imprecisões no resultado pós cirúrgico são grandes. Além disto, uma cirurgia em mandíbula acaba por exigir um preparação pré-cirúrgica também muito grande, o que ocasionará no aumento do tempo do procedimento e torna-se menos atrativo para a equipe responsável. Entretanto, em cirurgias para remoção de corpos estranhos, seu uso parece ser mais vantajoso e apresentar melhor aplicabilidade, principalmente por evitar o risco de causar lesões em regiões nobres as quais as vezes não são possíveis de serem visualizadas no intraoperatório. Essa lesões causadas em estruturas sensíveis, podem levar a parestesias, hemorragias e disfunções severas. Deste modo, com a navegação têm-se precisão e previsibilidade no acesso ao campo cirúrgico, a probabilidade de não encontrar ou deslocar mais ainda o corpo estranho é menor, assim como será um procedimento menos invasivo por não ser necessário explorar tanto o local em busca do objeto.

Acredito que atualmente, com a tecnologia disponível, a cirurgia por navegação ainda tem alto custo, uma dificuldade no preparo de todo sistema e apresenta forte indicação principalmente na remoção de corpos estranhos da área da cirurgia e traumatologia bucomaxilofacial ou de ressecção de grandes tumores envolvendo terço médio da face.

Ademais, nos ossos da face e suas superfícies, poucas são as estruturas vitais que podem causar uma sequela grave no paciente, e nesse sentido, mesmo as técnicas mais invasivas, como as cirurgias ortognáticas, são corriqueiramente bem realizadas com as técnicas cirúrgicas atuais, e entende-se que esta não se beneficiaria tanto assim com o uso do sistema de navegação.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A navegação cirúrgica permite a visualização em tempo real de instrumentos cirúrgicos ao acessarem estruturas anatômicas do paciente, os quais podem ser vistos pelo exame de imagem feito previamente a cirurgia e reproduzido no monitor do computador. Ao longo dos anos, com a chegada dos exames de imagem e do computador possibilitou-se a execução de cirurgias fiéis a anatomia do paciente.

Os equipamentos usados podem ser da categoria óptica ou eletromagnética e apresentam como componentes o sensor de posição, marcador de referência, marcadores estáticos, computador e software de navegação com um exame de imagem. Além dos equipamentos, para o correto e preciso funcionamento da navegação, antes é necessário fazer o registro do paciente e dos instrumentos.

Como vantagens, a literatura aponta cirurgias menos invasivas, mais seguras, mais precisas, melhor previsibilidade, diminuição da quantidade de exames de imagem, um pós-operatório melhor, diminuição na variabilidade cirúrgica, mais facilidade em identificar diferentes regiões anatômicas, tempo de cirurgia reduzido e vasto campo de aplicabilidade. Em desvantagens, há dificuldade de aplicação da navegação em mandíbula, alto custo, curva de aprendizado longa e alto valor para os pacientes. Seus benefícios estão em não utilizar radiação, possuir redução das taxas de morbidade e mortalidade pós-operatórias, em sua boa aplicação na faixa etária pediátrica e em sua margem de erro inferior a 1 mm.

O campo de aplicação da navegação na área da Cirurgia Bucomaxilofacial inclui a remoção de corpos estranhos, cirurgias de fraturas de terço médio da face, cirurgias ortognáticas, cirurgias reconstrutivas da base do crânio e da articulação temporomandibular e de instalação de implantes. Essas cirurgias são consideradas viáveis de ocorrer na atualidade, visto o exposto da grande quantidade de estudos encontrados para a construção e composição da revisão de literatura. Contudo, parece ter melhor aplicabilidade na remoção de corpos estranhos e na ressecção de grandes tumores envolvendo o terço médio da face.

REFERÊNCIAS

- Azarmehr, I., Stokbro, K., & Bell, R. B. (2017). Surgical Navigation : A Systematic Review of Indications , Treatments , and Outcomes in Oral and Maxillofacial Surgery. *Journal of Oral Maxillofacial Surgery*, 75(9), 1987–2005.
<https://doi.org/10.1016/j.joms.2017.01.004>
- Azarmehr, I., Stokbro, K., Bell, R. B., & Thygesen, T. (2017). Surgical Navigation: A Systematic Review of Indications, Treatments, and Outcomes in Oral and Maxillofacial Surgery. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 75(9), 1987–2005.
<https://doi.org/10.1016/j.joms.2017.01.004>
- Badiali, G., Roncari, A., Marchetti, C., Schileo, E., Bianchi, A., & Taddei, F. (2015). *Navigation in Orthognathic Surgery : 3D Accuracy. 1(212)*.
- Bell, R. B. (2010). Computer Planning and Intraoperative Navigation in Cranio-Maxillofacial Surgery. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of NA*, 22(1), 135–156.
<https://doi.org/10.1016/j.joms.2009.10.010>
- Bobek, S. L. (2014). Applications of Navigation for Orthognathic Surgery. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of NA*, 26(4), 587–598.
<https://doi.org/10.1016/j.joms.2014.08.003>
- Collyer, J. (2010). Stereotactic navigation in oral and maxillofacial surgery. *British Journal of Oral & Maxillofacial Surgery*, 48(2), 79–83.
<https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2009.04.037>
- Dean, A., Heredero, S., & Jesús, F. (2015). *Cirugía Oral y Maxilofacial Aplicación clínica de la planificación virtual y la navegación en el tratamiento de las fracturas del suelo de la órbita. 7(4), 220–228.*
- Ewers, R., Schicho, K., Undt, G., Wanschitz, F., Truppe, M., & Seemann, R. (2005). *Basic research and 12 years of clinical experience in computer- assisted navigation technology : a review. 1–8.* <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2004.03.018>
- Gargallo-Albiol, J., Barootchi, S., Salomó-Coll, O., & Wang, H. (2019). Advantages and disadvantages of implant navigation surgery. A systematic review. *Annals of Anatomy*, 225, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2019.04.005>
- Gröbe, A. (2009). *ARTIGO ORIGINAL O uso da navegação (BrainLAB Vector vision 2) e sistema de imagem 3D intraoperatório (Siemens Arcadis Orbic 3D) no tratamento de ferimentos por arma de fogo na região maxilofacial. 153–158.*
- Grunert, P., Keiner, D., & Oertel, J. (2015). Remarks upon the term stereotaxy: A linguistic and historical note. *Stereotactic and Functional Neurosurgery*, 93(1), 42–49.
<https://doi.org/10.1159/000366490>
- Gui, H., Wu, J., Shen, S. G. F., Bautista, J. S., Voss, P. J., & Zhang, S. (2014). Navigation-Guided Lateral Gap Arthroplasty as the Treatment of Temporomandibular Joint Ankylosis. *Journal of Oral Maxillofacial Surgery*, 72(1), 128–138.
<https://doi.org/10.1016/j.joms.2013.07.039>

- Gui, H., Yang, H., Shen, S. G. F., Xu, B., Zhang, S., & Bautista, J. S. (2013). Image-Guided Surgical Navigation for Removal of Foreign Bodies in the Deep Maxillofacial Region. *Journal of Oral Maxillofacial Surgery*, *71*(9), 1563–1571. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2013.04.001>
- Guided, I., & Technologies, R. A. (1998). *Orthopaedic Surgery*. *354*, 8–16.
- Hafelfeld, S., Mfihling, J., Zo, J., Hal, S., Mlihling, J., & Zer, J. (1995). *Intraoperative navigation in oral and maxillofacial surgery*.
- He, Y., Zhang, Y., An, J. G., Gong, X., Feng, Z. Q., & Guo, C. Bin. (2013). Zygomatic surface marker-assisted surgical navigation: A new computer-assisted navigation method for accurate treatment of delayed zygomatic fractures. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, *71*(12), 2101–2114. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2013.07.003>
- Herklotz, I., Beuer, F., Kunz, A., Hildebrand, D., & Happe, A. (2017). *SCIENCE Navigation in implantology*. *20*(1), 9–19.
- Hoffmann, J., Westendorff, C., Leitner, C., Bartz, D., & Reinert, S. (2005). Validation of 3D-laser surface registration for image-guided cranio-maxillofacial surgery. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, *33*(1), 13–18. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2004.10.001>
- Kubicek, J., Tomanec, F., Cerny, M., Vilimek, D., & Kalova, M. (2019). *Recent Trends , Technical Concepts and Components A Comprehensive Review*.
- Landaeta-Quinones, C. G., Hernandez, N., & Zarroug, N. K. (2018). Computer-Assisted Surgery: Applications in Dentistry and Oral and Maxillofacial Surgery. *Dental Clinics of North America*, *62*(3), 403–420. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2018.03.009>
- Lübbers, H., Matthews, F., Zemann, W., Grätz, K. W., Obwegeser, J. A., & Bredell, M. (2011). Registration for computer-navigated surgery in edentulous patients : A problem-based decision concept. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, *39*(6), 453–458. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2010.10.021>
- Luebbers, H., Messmer, P., Obwegeser, J. A., Zwahlen, R. A., Kikinis, R., Graetz, K. W., & Matthews, F. (2008). *Comparison of different registration methods for surgical navigation in cranio-maxillofacial surgery*. 109–116. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2007.09.002>
- Lustmann, J. (2004). *Navigation Surgery for Dental Implants : Assessment of Accuracy of the Image Guided Implantology System. Fig 1*, 116–119. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2004.06.028>
- Mezger, U., Jendrewski, C., & Bartels, M. (2013). *Navigation in surgery*. 501–514. <https://doi.org/10.1007/s00423-013-1059-4>
- Naujokat, H., Rohnen, M., Lichtenstein, J., Birkenfeld, F., Gerle, M., & Flo, C. (2017). *Computer-assisted orthognathic surgery : evaluation of mandible registration accuracy and report of the first clinical cases of navigated sagittal split ramus osteotomy*. *May*, 1291–1297. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2017.05.003>
- Novelli, G., Tonellini, G., Mazzoleni, F., Bozzetti, A., & Sozzi, D. (2014). Virtual surgery

- simulation in orbital wall reconstruction : Integration of surgical navigation and stereolithographic models. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 42(8), 2025–2034. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2014.09.009>
- Pellegrino, G., Bellini, P., Cavallini, P. F., Ferri, A., Zacchino, A., Taraschi, V., Marchetti, C., & Consolo, U. (2020). Dynamic navigation in dental implantology: The influence of surgical experience on implant placement accuracy and operating time. An in vitro study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph17062153>
- Samarakkody, Z. M., & Abdullah, B. (2016). The use of image guided navigational tracking systems for endoscopic sinus surgery and skull base surgery: A review. *Egyptian Journal of Ear, Nose, Throat and Allied Sciences*, 17(3), 133–137. <https://doi.org/10.1016/j.ejenta.2016.07.005>
- Schulz, C., Waldeck, S., & Mauer, U. M. (2012). Intraoperative Image Guidance in Neurosurgery: Development, Current Indications, and Future Trends. *Radiology Research and Practice*, 2012, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2012/197364>
- Scolozzi, P., & Terzic, A. (2011). “ Mirroring ” Computational Planning , Navigation Guidance System , and Intraoperative Mobile C-Arm Cone-Beam Computed Tomography With Flat-Panel Detector : A New Rationale in Primary and Secondary Treatment of Midfacial Fractures ? *YJOMS*, 69(6), 1697–1707. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2010.07.049>
- Shamir, R., & Joskowicz, L. (2014). *An augmented reality guidance probe and method for image-guided surgical navigation*. May.
- Shirota, T., Shiogama, S., Asama, Y., Tanaka, M., Kurihara, Y., Ogura, H., & Kamatani, T. (2019). CAD/CAM splint and surgical navigation allows accurate maxillary segment positioning in Le Fort I osteotomy. *Heliyon*, 5(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02123>
- Stefanelli, L. V., Mandelaris, G. A., Franchina, A., Pranno, N., Pagliarulo, M., Cera, F., Maltese, F., De Angelis, F., & Di Carlo, S. (2020). Accuracy of dynamic navigation system workflow for implant supported full arch prosthesis: A case series. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(14), 1–15. <https://doi.org/10.3390/ijerph17145038>
- Sukegawa, S., Kanno, T., & Furuki, Y. (2018). Application of computer-assisted navigation systems in oral and maxillofacial surgery. *Japanese Dental Science Review*, 54(3), 139–149. <https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2018.03.005>
- Terzic, A., Scolozzi, P., Terzic, A., & Scolozzi, P. (2011). *Image guided surgical navigation integrating “ mirroring ” computational planning based on intra-operative cone-beam CT imaging : A promising new approach for management of primary bilateral midfacial fractures*. 9088. <https://doi.org/10.3109/10929088.2011.581901>
- Wang, F., Bornstein, M. M., Hung, K., Fan, S., Chen, X., Huang, W., & Wu, Y. (2018). Application of Real-Time Surgical Navigation for Zygomatic Implant Insertion in Patients With Severely Atrophic Maxilla. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*,

- 76(1), 80–87. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2017.08.021>
- Wei, S. M., Zhu, Y., Wei, J. X., Zhang, C. N., Shi, J. Y., & Lai, H. C. (2021). Accuracy of dynamic navigation in implant surgery: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Oral Implants Research*, 32(4), 383–393. <https://doi.org/10.1111/clr.13719>
- Wu, X., Liu, R., Yu, J., Xu, S., Yang, C., Shao, Z., Yang, S., & Ye, Z. (2018). *Mixed Reality Technology – Assisted Orthopedics Surgery Navigation*. <https://doi.org/10.1177/1553350618771413>
- Yen, T., Lee, T., & Zaid, W. S. (2015). Broken dental needle retrieval using a surgical navigation system : a case report and literature review. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology*, 119(2), e55–e59. <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2014.08.019>
- Yu, H, Shen, G., Wang, X., & Zhang, S. (2010). Navigation-Guided Reduction and Orbital Floor Reconstruction in the Treatment of Zygomatic-Orbital-Maxillary. *YJOMS*, 68(1), 28–34. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2009.07.058>
- Yu, Hongbo, Shen, S. G., Wang, X., Zhang, L., & Zhang, S. (2013). The indication and application of computer-assisted navigation in oral and maxillofacial surgery d Shanghai ' s experience based on 104 cases. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 41(8), 770–774. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2013.01.016>
- Zeller, A. N., Zimmerer, R. M., Springhetti, S., Tavassol, F., Rahlf, B., Neuhaus, M. T., & Gellrich, N. C. (2021). CAD/CAM-based referencing aids to reduce preoperative radiation exposure for intraoperative navigation. *International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, November 2020, 1–4. <https://doi.org/10.1002/rcs.2241>
- Zhang, W., Mao, C., Liu, X., & Guo, C. (2015). Outcomes of Orbital Floor Reconstruction After Extensive Maxillectomy Using the Computer-Assisted Fabricated Individual Titanium Mesh Technique. *Journal of Oral Maxillofacial Surgery*, 73(10), 2065.e1-2065.e15. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2015.06.171>