

FACSETTE - Faculdade de Sete Lagoas

ABO – Associação Brasileira de Odontologia - Santos

Especialização em Implantodontia

Aldo Eusebio Milla Peñaranda

**CIRURGIA GUIADA DE IMPLANTES DENTÁRIOS: SUCESSO E
FRACASSO DE SUA APLICAÇÃO CLÍNICA NA ODONTOLOGIA
ATUAL.**

Santos - SP

2024

Aldo Eusebio Milla Peñaranda

**CIRURGIA GUIADA DE IMPLANTES DENTÁRIOS: SUCESSO E
FRACASSO DE SUA APLICAÇÃO CLÍNICA NA ODONTOLOGIA
ATUAL.**

Monografia apresentada à Facsete –
Faculdade Sete Lagoas, como requisito
para obtenção do Título de Especialista
em Implantodontia, sob orientação do
Prof. Dr. Eduardo Guimarães Moreira
Mangolin

Santos – SP

2024

Milla, Aldo

CIRURGIA GUIADA DE IMPLANTES DENTÁRIOS: SUCESSO E FRACASSO DE SUA APLICAÇÃO CLÍNICA NA ODONTOLOGIA ATUAL.

Aldo Eusebio Milla Peñaranda, 2024.

68 f.

Referências Bibliográficas p. 54

Monografia apresentada para conclusão de curso de
Especialização em Implantodontia FACSETE – FACULDADE
SETE LAGOAS, 2024

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Guimarães Moreira Mangolin

Palavras-chave: acurácia; sistemas de navegação cirúrgica;
cirurgia assistida por computador; implantes dentários; Revisão

RESUMO

Os implantes dentários têm se afirmado como um tratamento muito procurado nas últimas décadas, graças à sua aceitação entre os pacientes e ao sólido suporte científico. No entanto, sua colocação pode ser desafiadora em casos de baixa altura óssea e limitações anatômicas, o que impulsiona pesquisas focadas em melhorar a precisão do procedimento. A cirurgia guiada ou CAIS (cirurgia assistida por computador) surge como a alternativa de tratamento que garante um correto posicionamento dos implantes dentários com a ajuda dos novos avanços tecnológicos.

Esta revisão teve como objetivo avaliar a aplicação clínica da cirurgia guiada de implantes dentários e seu desempenho clínico na odontologia atual. Avaliamos revisões sistemáticas e metanálises de estudos clínicos nos últimos 5 anos.

Este trabalho conclui que a cirurgia guiada com implantes dentários tem uma precisão significativamente maior do que a técnica convencional à mão livre, o que favorece a sobrevida do implante e a remodelação do osso marginal; A técnica s-CAIS (estática) tem mais estudos clínicos de suporte e menor custo, mas depende de fatores externos e anatômicos favoráveis. A técnica d-CAIS (dinâmica) oferece maior precisão e flexibilidade, mas envolve maior custo e treinamento. A técnica r-CAIS (cirurgia robótica assistida por computador) tem maior precisão do que as anteriores, mas requer maior logística e altos custos, além de exigir mais estudos clínicos para apoiá-la. Portanto, as várias técnicas CAIS representam uma opção segura que garante uma maior taxa de sucesso clínico.

Palavras-chave: acurácia; sistemas de navegação cirúrgica; cirurgia assistida por computador; implantes dentários; revisão sistemática.

ABSTRAIR

Dental implants have established themselves as a highly demanded treatment in recent decades, thanks to their acceptance among patients and solid scientific support. However, its placement can be challenging in cases of low bone height and anatomical limitations, which drives research focused on improving the precision of the procedure. Guided surgery or CAIS (computer-assisted surgery) emerges as the treatment alternative that guarantees a correct positioning of dental implants with the help of new technological advances.

This review aimed to assess the clinical application of guided dental implant surgery and its clinical performance in current dentistry. We evaluated systematic reviews and meta-analyses of clinical studies over the past 5 years.

This work concludes that guided dental implant surgery has a significantly higher precision than the conventional freehand technique, which favors implant survival and marginal bone remodeling; The s-CAIS (static) technique has more supporting clinical studies and lower cost, but it depends on favorable external and anatomical factors. The d-CAIS (dynamic) technique offers greater accuracy and flexibility, but involves higher cost and training. The r-CAIS technique (robotic computer-assisted surgery) has greater accuracy than the previous ones, but it requires greater logistics and high costs, and also requires more clinical studies to support it. Therefore, the various CAIS techniques represent a safe option that guarantees a higher clinical success rate.

Keywords: accuracy; surgical navigation systems; computer-assisted surgery; dental implants; systematic review.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES e TABELAS

Figura 1: Processo de planejamento de colocação de implante anterior usando cirurgia guiada estática	21
Figura 2: Representação esquemática do desvio entre o implante planejado por guia cirúrgico e o implante à mão livre	23
Figura 3: Avaliação pós-operatória da posição do implante.	24
Figura 4: Protocolo clínico de s-CAIS	28
Figura 5: Procedimento S-CAIS para aplicação imediata	30
Figura 6: Colcação à mão livre, usando guia cirúrgico, s-CAIS e d-CAIS	32
Figura 7: Fluxo de trabalho d-CAIS	34
Figura 8: Dispositivos utilizados na técnica d-CAIS	35
Figura 9: Protocolo Cirúrgico do Sistema d-CAIS	37
Figura 10: Fluxo de trabalho do sistema r-CAIS e componentes do sistema robótico	39
Figura 11: Procedimento r-CAIS para implementação imediata.....	44
Figura 12: Protocolo cirúrgico para o sistema r-CAIS para próteses implantossuportadas em edentulismo total.....	44
Figura 13: Colocação de implantes assistida por R-CAIS e informações cirúrgicas em tempo real	46
Tabela 1: Diferenças entre os três tipos de sistema r-CAIS.....	39

ABREVIATURAS E SIGLAS

Ti- Liga de titânio

mm-mm

3D- tridimensional

DICOM- Imagem Digital e Comunicações em Medicina

s-CAIS- Cirurgia de Implante Assistida por Computador Estático

d-CAIS- Cirurgia Dinâmica de Implantes Assistida por Computador

r-CAIS- Cirurgia robótica de implantes assistida por computador

CBCT- Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico

FDA - Administração de Alimentos e Medicamentos

µm- micrómetro

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. PROPOSIÇÃO.....	¡Error! Marcador no definido.
3. REVISÃO DA LITERATURA	14
3.1 Implantes dentários e sua influência na odontologia moderna	14
3.2 Implantes de titânio: biocompatibilidade e precisão como fator chave de sucesso	15
3.3 Colocação de implantes à mão livre	17
3.4 Cirurgia Guiada em Implantodontia.....	18
3.5 Importância da cirurgia guiada em implantodontia	19
3.6 O papel da tomografia de feixe cônico (TCFC) na cirurgia guiada de implantes dentários.....	20
3.7 Precisão como fator chave para o sucesso no tratamento com implantes	21
3.8 Fatores que influenciam a precisão do CAIS	24
3.9 Vantagens e desvantagens da cirurgia guiada.....	24
3.10 Técnicas de colocação de implantes por cirurgia guiada	25
3.10.1 Cirurgia de Implante Assistida por Computador Estático (s- CAIS).....	25
3.10.1.1 Sequência clínica do s-CAIS:	29
3.10.1.2 Precisão da técnica s-CAIS	30
3.10.1.3 Vantagens e desvantagens	31

3.10.2 Cirurgia Dinâmica de Implantes Assistida por Computador (d-CAIS)	32
3.10.2.1 Sequência clínica do sistema d-CAIS.....	33
3.10.2.2 Precisão da técnica d-CAIS.....	35
3.10.2.3 Vantagens e desvantagens	36
3.10.3 Uso combinado de cirurgia guiada por s-CAIS e d-CAIS	37
3.10.4 Cirurgia robótica de implantes auxiliada por computador (r-CAIS)	38
3.10.4.1 Procedimento clínico	42
3.10.4.2 Fatores que influenciam a fase cirúrgica	44
3.10.4.3 Características clínicas dos implantes colocados pelo r-CAIS	45
3.10.4.4 Vantagens e desvantagens	¡Error! Marcador no definido.
4. DISCUSSÃO.....	49
5. CONCLUSÕES.....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

1. INTRODUÇÃO

A perda dentária geralmente ocorre em pacientes que sofrem de doenças bucais e traumas bucais, isso afeta a função da mastigação e também pode causar reabsorção óssea no osso alveolar.

As próteses removíveis eram convencionalmente utilizadas, mas hoje em dia o tratamento de colocação e reabilitação com implantes dentários apresenta diversas vantagens em relação às próteses removíveis e fixas (pontes dentárias), como a preservação dos dentes adjacentes e o sucesso a longo prazo, com comprovação científica de suporte, além de proporcionar maior conforto ao paciente.

Nos últimos 50 anos, os implantes dentários têm sido amplamente utilizados em tratamentos odontológicos para substituir dentes perdidos, alcançando alta previsibilidade e servindo como suporte para o tratamento protético (1).

Os implantes de titânio são os mais utilizados atualmente, pois de acordo com estudos longitudinais, esses implantes são considerados o padrão implantológico internacional para substituição de dentes perdidos. Estudos mostraram que eles são biocompatíveis e têm altas taxas de sobrevivência e sucesso (2).

O uso crescente da tecnologia digital para auxiliar em cirurgias desencadeou uma revolução na medicina. A tecnologia digital está contribuindo para a área médica e odontológica, entrando na área cirúrgica com maior força. Com o desenvolvimento do design auxiliado por computador, os sistemas de navegação odontológica ofereceram aos dentistas a oportunidade de transferir o plano pré-operatório para o procedimento cirúrgico antes da colocação do implante, melhorando a

precisão do implante e evitando danos às estruturas anatômicas circundantes (3).

No campo da implantologia dentária, alcançar alta precisão na colocação de implantes é um objetivo latente, pois desvios na posição dos implantes podem levar a uma variedade de complicações biológicas e funcionais. A colocação precisa dos implantes é essencial para uma alta taxa de sobrevivência (4).

A cirurgia guiada (assistida por computador) para colocação de implantes foi introduzida pela primeira vez no final da década de 1990 e, devido aos recentes avanços nas tecnologias digitais, tem sido cada vez mais usada para alcançar uma posição de implante ideal biológica e protética (5).

Dois tipos de cirurgia de implante assistida por computador (CAIS), que melhoraram a precisão da cirurgia de implante, têm sido amplamente utilizados na prática clínica nas últimas duas décadas: CAIS estático (s-CAIS) e CAIS dinâmico (d-CAIS)

Embora ambos os sistemas compartilhem uma fase de planejamento pré-cirúrgico semelhante, na qual o processo de posicionamento do implante dentário é simulado com base na tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) e imagens de varredura intraoral de pacientes usando programas de software de planejamento de implantes dentários dedicados, eles diferem na fase cirúrgica (6).

Os CAIS citados acima são executados manualmente por um dentista, e o resultado da cirurgia depende da habilidade do profissional, o que deixa margem para erro humano no processo de colocação cirúrgica do implante.

Nos últimos anos, foram realizados estudos clínicos onde a robótica foi incluída como um mecanismo que permite orientar uma melhor colocação de implantes dentários, o que busca maior precisão em relação às técnicas convencionais e aos demais tipos de cirurgia guiada mencionados acima (7).

Os estudos clínicos atualmente buscam apoiar o uso dessas novas técnicas com maior taxa de sucesso clínico, É por isso que os estudos de revisão atuais buscam a maior quantidade de pesquisas e estudos clínicos que permitam mostrar as principais vantagens e desvantagens da cirurgia guiada na colocação de implantes dentários através das diferentes técnicas que podem ser conhecidas hoje. e entre eles, saber qual deles tem maior precisão e as melhores vantagens clínicas que podem melhorar o desempenho do profissional de odontologia.

Este estudo busca, portanto, investigar em profundidade e com dados atuais qual é o desempenho e o desempenho clínico da cirurgia de implante dentário guiado, além de poder avaliar as principais vantagens e desvantagens que eles podem ter após sua aplicação clínica.

2. PROPOSIÇÃO

Este estudo tem como objetivo avaliar a aplicação e o desempenho clínico da cirurgia guiada de implantes dentários versus a técnica de colocação de implantes à mão livre.

Outro objetivo é avaliar as principais vantagens e desvantagens de cada uma das técnicas de colocação de implantes dentários, de acordo com as pesquisas apresentadas nos últimos anos.

Avaliando também as diferentes técnicas de cirurgia guiada de implantes dentários existentes até o momento, estabelecendo a taxa de sucesso e precisão de cada uma delas com base em pesquisas.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Implantes dentários e sua influência na odontologia moderna

A substituição de dentes perdidos por implantes dentários é um procedimento odontológico cientificamente aceito, pois oferece uma opção terapêutica indispensável da odontologia atual, com resultados estáveis a longo prazo e com respaldo científico.

A primeira evidência histórica relatada de implantes dentários é atribuída à cultura maia por volta de 600 d.C., onde eles se destacaram no uso de peças de concha como implantes para substituir os dentes da mandíbula. Raios-X feitos na década de 1970 em mandíbulas maias mostram formação óssea compacta ao redor dos implantes. Além disso, por volta de 800 dC, um implante de pedra foi preparado e colocado no maxilar no início da cultura hondurenha (8).

Por volta de 1930, os Drs. Alvin e Moses Strock experimentaram parafusos ortopédicos feitos de Vitallium (liga de cromo-cobalto) e os implantaram em humanos e cães para restaurar dentes individuais. Eles desenvolveram isso depois de observar cuidadosamente como os médicos colocaram implantes com sucesso no osso do quadril. O parafuso Vitallium forneceu ancoragem e suporte para a substituição do dente perdido. Esses irmãos foram reconhecidos por seu trabalho na seleção de um metal biocompatível para ser usado na dentição humana (9).

Em 1978, o Dr. P. Branemark introduziu um implante em forma de raiz de titânio rosqueado em dois estágios, que foi colocado pela primeira vez em seus pacientes em 1965 e foram os primeiros implantes dentários bem documentados e mais bem conservados até hoje. Ele colocou

implantes mandibulares que foram integrados durante um período de seis meses e permaneceram no lugar pelos próximos 40 anos. Com o implante veio o conceito de "osseointegração" e a confiança de que a educação sobre implantes dentários poderia ser introduzida no currículo das escolas de odontologia (10).

A partir de meados da década de 1980, o implante usual usado por muitos dentistas era o implante endósseo em forma de raiz. Os principais fatores que determinaram qual sistema de implante endósseo usar incluíram design, rugosidade da superfície, considerações protéticas, facilidade de inserção no osso, custos e o sucesso que tiveram durante um período de tempo estudado.

O sistema de implante ITI introduzido em 1985 pela Straumann Company possui cilindros e parafusos exclusivos pulverizados por plasma que são projetados para serem colocados em uma operação de estágio único. As inovações mais recentes em implantes dentários envolvem o uso de flúor, antibióticos, fatores de crescimento, etc. Ao mesmo tempo, os estudos também se concentram em melhorar os procedimentos clínicos na colocação desses implantes e, assim, melhorar a taxa de sucesso clínico (11).

3.2 Implantes de titânio: biocompatibilidade e precisão como fator chave de sucesso

Bengt Kasemo (12) investigou a biocompatibilidade do titânio e conectou suas propriedades superiores como material de implante com a camada de óxido de 2 a 10 nm de espessura, que se formou instantaneamente em cima do titânio na presença de oxigênio. Devido a essa camada de óxido, o titânio apresenta alta resistência à polarização,

o que protege o metal contra a corrosão e dificulta a liberação de íons metálicos no corpo humano. Como resultado da alta constante dielétrica do óxido de titânio, a superfície do filme de óxido foi um local atraente para estabelecer ligações químicas e unir um amplo espectro de biomoléculas.

Por muitas décadas, o titânio tem sido utilizado na fabricação de implantes e pilares dentários, sendo considerado o padrão ouro em implantes intraósseos devido à sua alta taxa de sobrevivência (97,2% em 5 anos e 95,2% em 10 anos), juntamente com sua biocompatibilidade, baixa corrosão e alta resistência, citadas por Pjetursson et al. (13), e por isso já houve muitas pesquisas que demonstraram a eficácia a longo prazo dos implantes dentários feitos de titânio (14,15).

A pesquisa ao longo dos anos tem se concentrado constantemente no desenvolvimento de técnicas avançadas de liga de titânio para otimizar a biocompatibilidade e as propriedades mecânicas, bem como melhorar as técnicas de colocação desses implantes, com o objetivo de reduzir as taxas de falha após a cirurgia e reabilitação protética.

A odontologia em todo o mundo passou por grandes mudanças nos últimos anos, que andaram de mãos dadas e relacionadas aos novos avanços tecnológicos. Assim, o uso de novos mecanismos e instrumentos modernos nas diferentes etapas clínicas tem permitido um melhor desempenho e com isso uma maior taxa de sucesso nos tratamentos realizados. No campo da implantodontia, o uso de um programa de software digital interativo em conjunto com a tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) revolucionou o processo de planejamento virtual de implantes.

No caminho para melhorar a precisão da colocação de implantes dentários e devido à ascensão e evolução do mundo tecnológico, pesquisas recentes documentaram a importância do design pré-protético para alcançar a saúde sustentável do tecido peri-implantar, enquanto o fluxo de trabalho digital no plano de tratamento melhorou o imediatismo previsível e reduziu ainda mais a invasividade.

Portanto, um elemento crítico do planejamento digital abrangente do tratamento está emergindo como uma nova norma na implantodontia, onde o design da prótese e de todos os componentes, bem como a posição do implante e sua relação com o tecido circundante são determinados com precisão antes de qualquer intervenção ser realizada (16).

Portanto, no fluxo de trabalho da implantodontia contemporânea orientada para o design, a capacidade de colocar o implante na posição exata planejada torna-se um pré-requisito essencial para alcançar os resultados desejados do tratamento e esse é o papel que a cirurgia de implante assistida por computador ou cirurgia guiada (CAIS) visa cumprir.

3.3 Colocação de implantes à mão livre

Os procedimentos convencionais de colocação de implantes são realizados exclusivamente com base na experiência do operador, o que pode diminuir a precisão, previsibilidade e repetibilidade da colocação do implante.

Embora a precisão da colocação do implante à mão livre possa ser suficiente para a maioria das situações clínicas, ela pode representar um desafio para um operador inexperiente (17).

Varga et. al. (18) relataram que a técnica à mão livre tem um desvio de entrada de 1,82 mm, um desvio apical médio 3D de 2,43 mm e um desvio angular médio de 7,03°.

A colocação de implantes à mão livre pode levar a resultados clinicamente aceitáveis quando o planejamento pré-cirúrgico adequado, a imagem 3D e a seleção de casos são exercidas (19). Afrashtehfar et al. demonstraram pouca ou nenhuma diferença nos resultados relatados pelo paciente com base na técnica de colocação (20).

3.4 Cirurgia Guiada em Implantodontia

Também conhecida como cirurgia de implante assistida por computador (CAIS), surgiu como uma técnica inovadora oferece uma abordagem personalizada, precisa, eficiente, minimamente invasiva e previsível para a implantação e tem ganhado cada vez mais atenção.

O CAIS foi introduzido pela primeira vez no final da década de 1990 e, devido aos recentes avanços nas tecnologias digitais, tem sido cada vez mais usado para alcançar uma posição ideal do implante do ponto de vista biológico e protético (5).

O CAIS segue um princípio "orientado por prótese" para a colocação de implantes, criando condições ideais para o implante anterior imediato e alcançando a restauração estética e funcional (21).

Os avanços tecnológicos orientam virtualmente as posições dos implantes dentários de acordo com a posição pré-planejada do implante dentário (22).

3.5 Importância da cirurgia guiada em implantodontia

Um dos aspectos mais importantes no campo da implantodontia é a precisão na colocação de um implante dentário.

A precisão da posição do implante é essencial para a eficácia a longo prazo. Implantes mal posicionados podem causar danos a estruturas anatômicas adjacentes vitais, como a membrana schneideriana, o nervo alveolar inferior e os vasos sanguíneos (23). Além disso, o posicionamento inadequado ou o alinhamento axial inadequado do implante podem levar a complicações estéticas, mecânicas ou biológicas, exigindo a remoção do implante em casos graves. Wang et al. (24) Eles também mencionaram que implantes mal posicionados podem causar complicações como deiscência tecidual e dificuldade em manter a higiene bucal.

A importância de uma colocação mais precisa nos implantes tem impacto na sua futura reabilitação. Um desvio maior do que os padrões estabelecido na pesquisa resulta em uma restauração protética mais complicada. Isso, por sua vez, pode levar a uma distribuição desigual de força sobre o implante e a prótese, o que pode causar complicações, falhas ou danos aos tecidos moles e duros circundantes (25).

Yang et al. (4) menciona que um implante colocado por cirurgia guiada requer 2 mm de osso ao redor de um implante para suporte. Além disso, o desvio no ápice dos implantes deve ser inferior a 2 mm para evitar danos a estruturas anatômicas críticas.

3.6 O papel da tomografia de feixe cônico (TCFC) na cirurgia guiada de implantes dentários

A incorporação da tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) no planejamento de implantes permitiu aos médicos avaliar a condição do osso alveolar, que está diretamente relacionada à taxa de sucesso dos implantes, a fim de prever a estabilidade primária (26). Além disso, permite que o implantologista escolha o implante dentário correto e as técnicas cirúrgicas antes da colocação cuidadosa. A TCFC combinada com imagens de varredura digital pode ser transferida para um software específico e usada para antecipar coroas virtuais antes do procedimento intraoperatório.

Para a avaliação da acurácia da colocação do implante por cirurgia guiada, o método que utiliza TCFC é o mais utilizado e confiável para a avaliação pós-cirúrgica da acurácia da cirurgia guiada com implante (4,27). Embora Zhao et al. (28) observaram que a precisão do método CBCT pode ser afetada por artefatos metálicos, movimento do paciente e parâmetros de varredura.

A precisão dos procedimentos pré-operatórios, particularmente com TCFC, é crítica (29). A precisão da CBCT é afetada principalmente por hardware, software e fatores humanos. Fatores de hardware, incluindo espessura da camada e tamanho do voxel, têm o maior impacto na precisão da CBCT. Especificamente, o uso de camadas espessas produz artefatos trapezoidais; A maioria dos estudos indicou que a espessura ideal da camada é de aproximadamente 200 μm e que uma espessura de camada de $>1000 \mu\text{m}$ pode causar imprecisões substanciais (30). Além disso, quanto maior o tamanho do voxel, menor a resolução da imagem

3D. Embora a redução do tamanho do voxel possa melhorar a qualidade da imagem, também leva a um aumento na dose de varredura.

Os movimentos da mandíbula dos pacientes e as restaurações metálicas, como coroas metálicas de porcelana ou aparelhos metálicos ortodônticos, podem introduzir mais artefatos nas imagens, afetando a imprecisão dos dados (24).

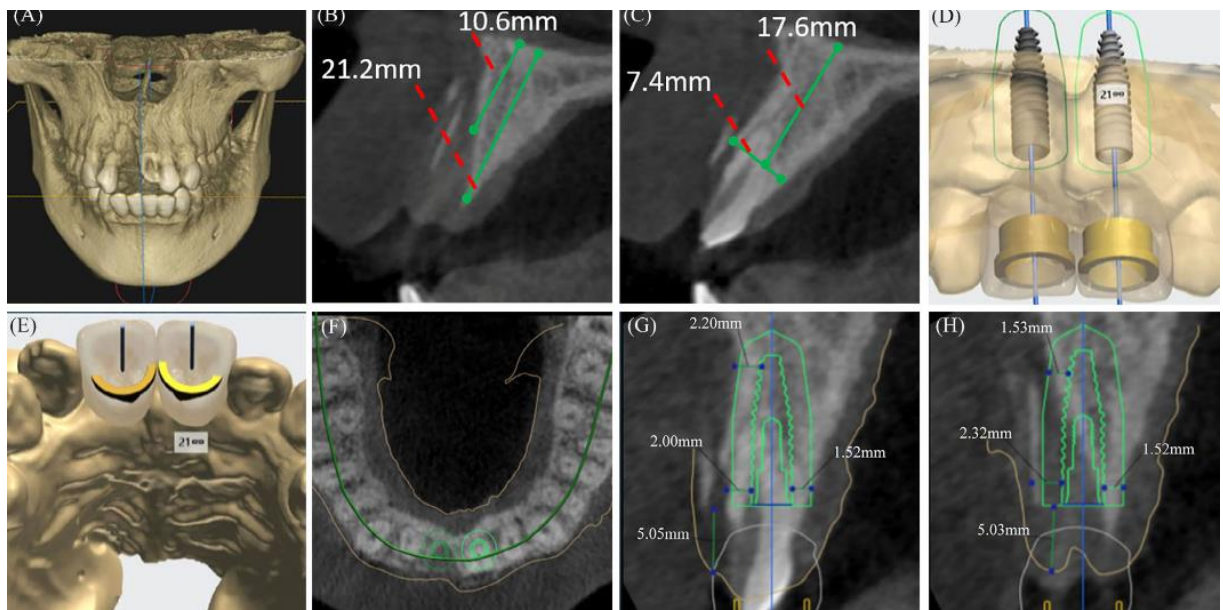


Figura 1: Processo de planejamento para a colocação de implantes anteriores usando cirurgia guiada estática. Uma varredura oral e a importância da TCFC no planejamento são realizadas. Com as informações coletadas, o planejamento é realizado e o guia cirúrgico é realizado com o auxílio do fluxo digital (31).

3.7 Precisão como fator chave para o sucesso no tratamento com implantes

A avaliação da precisão da cirurgia guiada por 3D pode ser realizada comparando o planejamento pré-operatório virtual com a colocação pós-operatória de implantes no osso maxilar. Isso é feito

combinando o planejamento virtual com a posição real visível nas imagens 3D usando um software específico (32).

A precisão da posição é geralmente relatada em investigações clínicas como desvios verticais, horizontais e angulares em milímetros ou graus.

Após a cirurgia de colocação de implantes dentários, um exame de TCFC é realizado imediatamente e as imagens foram exportadas em formato DICOM. Posteriormente, as imagens do implante virtual pré-operatório e do implante CBCT pós-operatório foram carregadas no software de validação cirúrgica. De acordo com as instruções do fabricante e pesquisas anteriores, ferramentas automatizadas são usadas para combinar os arquivos DICOM pré-operatórios e pós-operatórios. O alinhamento manual é então realizado sobrepondo cinco pontos anatômicos, como a cúspide vestibular dos molares, a cúspide do dente canino, o rebordo alveolar zigomático, a espinha nasal anterior ou o forame mentoniano, para avaliar o desvio entre as posições planejadas e reais dos implantes com o objetivo de avaliar a precisão de ambos os tipos de cirurgias assistidas por implantes (33).

Mai et al. (6) Em sua revisão e metanálise, toma como referência na avaliação da acurácia da colocação de implantes dentários os desvios médios dentro da faixa clinicamente aceitável, com valores máximos de 2 mm para o desvio global e 5° para o desvio angular (ver Figuras 2 e 3).

Esse parâmetro é considerado por outras pesquisas ao avaliar a precisão e exatidão dos sistemas de colocação de implantes dentários nos quais os vários tipos de cirurgia guiada existentes atualmente conseguem estar dentro da faixa clinicamente permitida. A pesquisa atual

busca comparar entre esses sistemas e poder estabelecer qual deles está longe do alcance máximo já visto e mencionado acima.

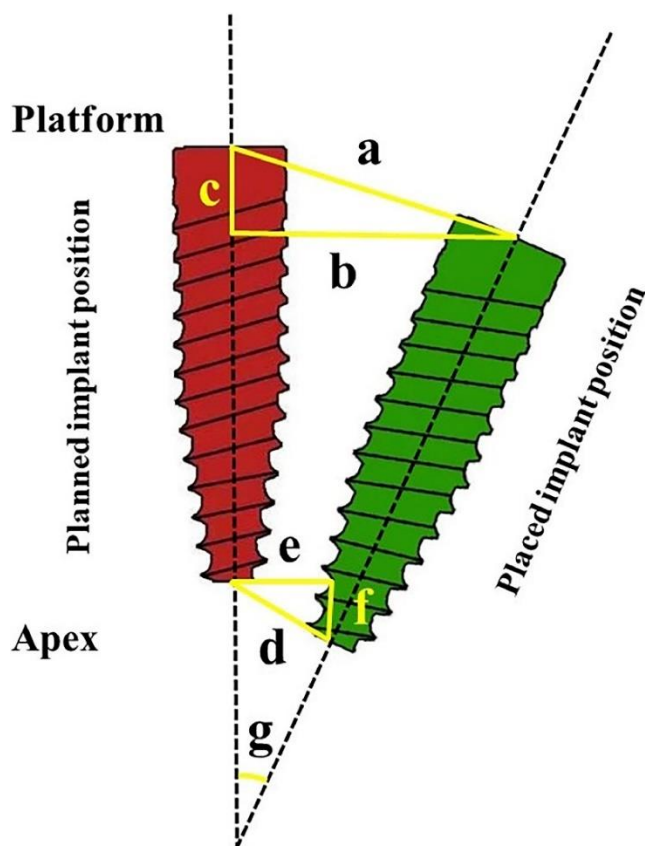


Figura 2: Representação esquemática do desvio entre o implante planejado pelo guia cirúrgico e o implante à mão livre. (A: desvio global da plataforma; b: desvio lateral da plataforma; c: desvio vertical da plataforma; d: desvio global do ápice; e: desvio lateral do ápice; f: desvio vertical do ápice; e g: desvio angular) (28).

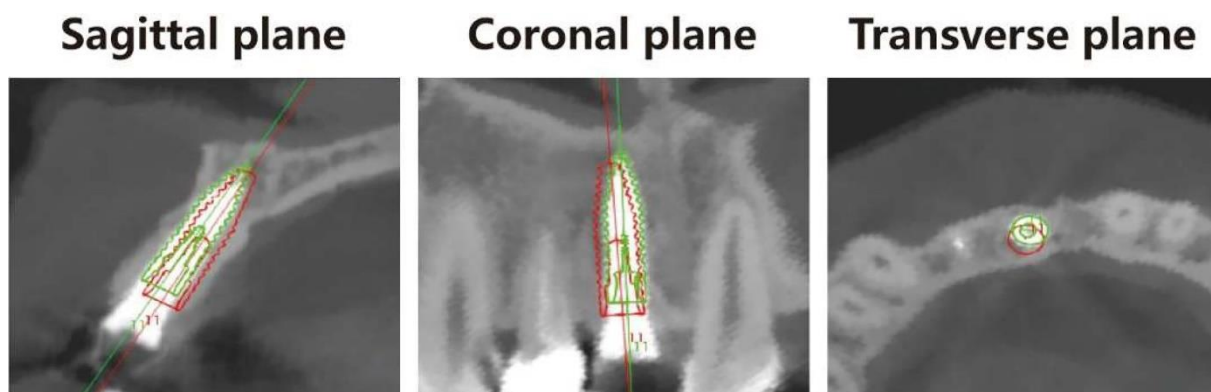


Figura 3: Avaliação pós-operatória da posição do implante. A demarcação vermelha indica o implante planejado e a verde indica a posição do implante após a colocação (34).

3.8 Fatores que influenciam a precisão do CAIS

Embora a cirurgia guiada de acordo com a literatura tenha melhores margens de precisão em comparação com a técnica convencional, existem fatores como a qualidade das tomografias computadorizadas, a precisão da impressão 3D e o ajuste do guia cirúrgico que podem afetar a precisão da colocação do implante. O movimento do paciente, as variações na espessura dos tecidos moles e a estabilidade das restaurações também podem afetar a precisão das técnicas CAIS (35).

3.9 Vantagens e desvantagens da cirurgia guiada

Vantagens:

- Melhora a precisão posicional da colocação do implante.
- Facilita a cirurgia minimamente invasiva.
- Pode melhorar os resultados estéticos.
- Menos inflamação, portanto cicatrização mais rápida dos tecidos peri-implantares (27).
- Menos acesso à invasão bacteriana.
- Possibilidade de menor perda óssea por ser menos traumática.

Desvantagens:

-A cirurgia guiada para uma ou algumas peças acaba sendo um processo longo e caro

-A ocorrência de erros nos sistemas de orientação pode ser influenciada por vários fatores, incluindo a qualidade da imagem adquirida e a experiência e compreensão do operador do sistema (36).

3.10 Técnicas de colocação de implantes por cirurgia guiada

Atualmente, a literatura relata três (03) técnicas para colocação guiada de implantes: cirurgia estática de implantes assistida por computador (s-CAIS), cirurgia dinâmica de implantes assistida por computador (d-CAIS) e cirurgia robótica de implantes assistida por computador (r-CAIS), que é uma técnica com poucos anos de execução (27,30).

3.10.1 Cirurgia de Implante Assistida por Computador Estático (s-CAIS)

A técnica s-CAIS, que surgiu no início da década de 1990, faz uso de modelos cirúrgicos para colocação de implantes dentários, que são desenvolvidos com programas virtuais de software de planejamento de implantes baseados em dados de tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC). A posição planejada do implante torna-se um molde cirúrgico, que pode ser usado durante a cirurgia com um método tradicional de retalho ou por meio de um procedimento sem retalho (22).

Os vários estudos, que servem de base para sua aplicação, indicam que os implantes dentários colocados por meio dessas guias oferecem maior precisão e controle em comparação com os implantes colocados à mão livre (19).

O S-CAIS, como primeira geração da tecnologia CAIS, com o rápido desenvolvimento da concepção/fabrico assistido por computador (CAD/CAM) e da tecnologia de impressão 3D, progrediu significativamente em termos de software e hardware (37).

O CAIS estático baseia-se no uso de software de planejamento, um guia cirúrgico pré-fabricado e brocas especiais para guiar a osteotomia e conseguir a colocação do implante na posição planejada. Numerosos estudos clínicos demonstraram a eficácia do s-CAIS em aumentar a precisão da colocação do implante, tanto em comparação com a cirurgia à mão livre quanto com outras tecnologias CAIS (38).

Dependendo se o guia cirúrgico orienta completamente a colocação do implante, a técnica s-CAIS pode ser classificada em procedimentos totalmente guiados e semiguiados (31), ambos com precisão contestada.

O protocolo parcialmente (ou semi) guiado usa o molde para todas as osteotomias, e apenas a colocação do implante é realizada sem o molde. A orientação parcial é um tipo de solução universal, fornecendo a máxima orientação possível com qualquer sistema de implante que não tenha um kit totalmente guiado. Em vez disso, o protocolo totalmente guiado usa o modelo desde a primeira perfuração até a colocação do implante. Independentemente do protocolo, todas as rebarbas são usadas em todo o seu comprimento (controladas com um batente). A sequência de osteotomias determina apenas o diâmetro final do alvéolo resultante (18).

A abordagem estática totalmente guiada para a colocação de implantes demonstrou a maior acurácia entre o plano pré-cirúrgico e a colocação final do implante, seguida pela abordagem semiguiada (perfuração guiada) e, conseqüentemente, o uso de talas cirúrgicas para inserção de implantes dentários está se tornando mais difundido (39).

Lou et al. (31) utilizaram palmilhas cirúrgicas totalmente guiadas e semiguiadas para implante anterior em seu estudo clínico e relataram maior acurácia com o S-CAIS totalmente guiado do que com o S-CAIS semiguiado. Isso difere do estudo de 2021 de Chen et al. (40) sobre implantação anterior imediata, que não revelou nenhuma diferença significativa no desvio coronal ou apical entre s-CAIS totalmente guiado e semiguiado após eliminar os efeitos do desvio de profundidade. Para Li et al. (34) O s-CAIS semiguiado é mais econômico, requer uma abertura bucal menor e é mais simples de aplicar.

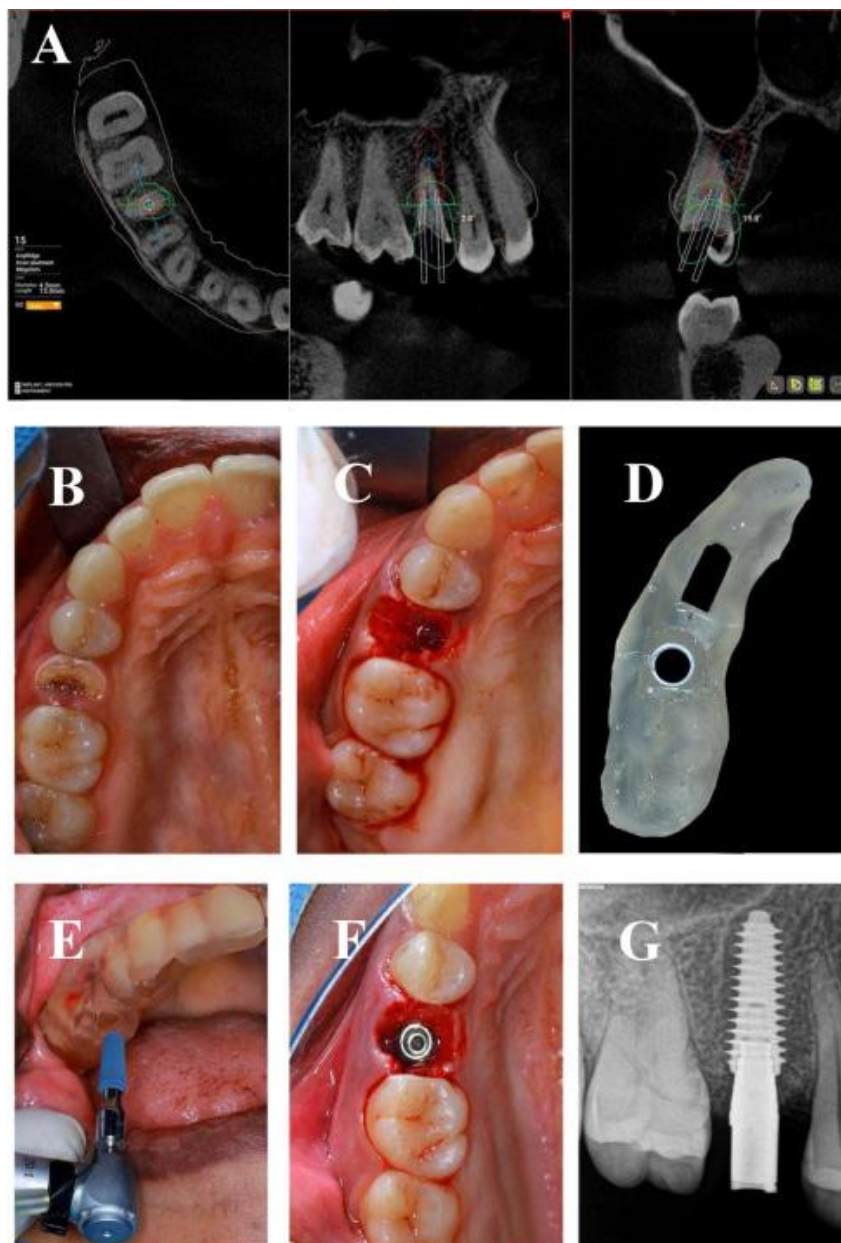


Figura 4: (A) Planejamento da posição do implante com o software R2Gate® com CBCT (B) Imagem pré-operatória (C) Soquete pós-extração (D) Guia cirúrgico; (E) Colocação do implante realizada com s-CAIS (F) Implante colocado no soquete de extração (G) Radiovisiografia do corpo de varredura colocada após a colocação do implante **(41)**.

3.10.1.1 Sequência clínica do s-CAIS:

Todos os procedimentos de s-CAIS são realizados com palmilhas cirúrgicas semiguiadas apoiadas em dentes, conforme mostrado nas Figuras 4 e 5. Os pacientes são submetidos a TCFC pré-operatória para obter informações sobre osso dentário e tecidos duros. Os dados da TCFC são exportados no formato Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM).

As varreduras intraorais são então obtidas usando um scanner de impressão para adquirir informações sobre os dentes e tecidos moles. Os dados da TCFC foram importados para o software digital e alinhados com os dados da varredura intraoral usando a compatibilidade dentária.

Após o alinhamento, um desenho virtual da prótese deve ser criado e o planejamento virtual da posição do implante será realizado de acordo com as diretrizes de tratamento. Os dados do guia são calculados com base na posição virtual do implante e, em seguida, importados para um dispositivo de impressão 3D para fabricar as palmilhas cirúrgicas projetadas, imprimindo camadas sucessivas de resina.

Após a desinfecção da área cirúrgica, o cirurgião aplicará anestesia local. No caso de implantes imediatos, deve-se realizar a extração minimamente invasiva do dente irrecuperável, juntamente com o desbridamento do tecido de granulação do alvéolo.

A colocação das palmilhas cirúrgicas é verificada antes da implantação para evitar erros de colocação. O local do implante foi preparado usando o kit de broca sob a orientação dos modelos cirúrgicos projetados, e o implante será eventualmente inserido manualmente (34).

Esses guias cirúrgicos utilizados têm espessura uniforme de 2 mm e são equipados com mangas fechadas (42).

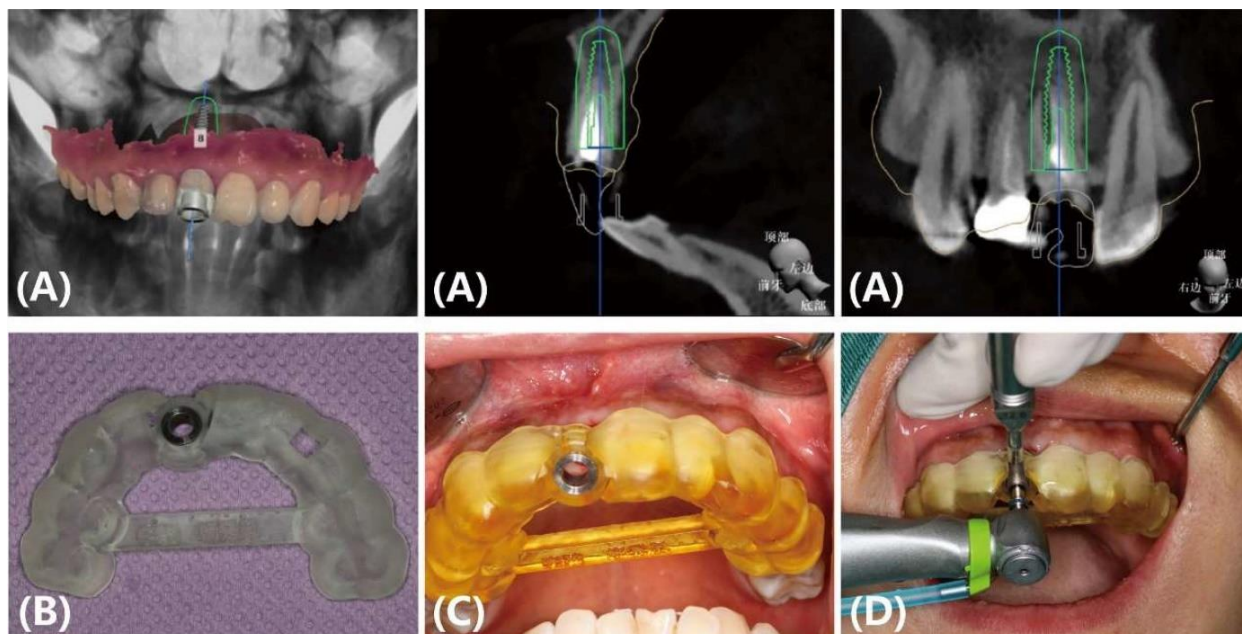


Figura 5: Procedimento S-CAIS para implementação imediata. (A) Planejamento de tratamento virtual e colocação de implantes. (B) Molde cirúrgico semiguiado com suporte odontológico. (C) Colocação intraoral do molde cirúrgico. (D) Osteotomia do implante guiada por um molde cirúrgico (34).

3.10.1.2 Precisão da técnica s-CAIS

A precisão do s-CAIS de arcada completa foi medida em função dos desvios coronal e apical geral de 1,4 mm e 1,5 mm, respectivamente, juntamente com um desvio angular de 3,3°. Esses critérios foram derivados de uma meta-análise abrangente conduzida por Tahmaseb et al. (43) em 2018.

Li et al. (34) recomenda que os profissionais procurem evitar imprecisões na aquisição e reconstrução de dados, erros na fabricação de guias cirúrgicas, assentamento incompleto de guias na operação, movimentação do paciente e folgas excessivas entre brocas e fios-guia.

3.10.1.3 Vantagens e desvantagens:

Vantagens

- É um procedimento cirúrgico minimamente invasivo.
- Reduz o tempo cirúrgico e a morbidade pós-operatória.
- Ajuda o clínico a evitar as raízes dos dentes adjacentes, vasos sanguíneos principais, nervos, cavidade nasal e seios maxilares durante o procedimento (21).
- Em comparação com os outros tipos de cirurgia guiada, é o de menor custo.

Desvantagens

- Elaborar esses guias cirúrgicos com alta precisão é um processo complicado que requer uma etapa extra, atrasando a cirurgia. Além disso, a precisão desses fios-guia, juntamente com seu posicionamento exato dentro da cavidade oral, é difícil de padronizar (44). Uma vez colocados, esses fios também podem impedir a visualização, irrigação e acesso ao local da cirurgia.
- Incapacidade de modificar a posição do implante durante o procedimento cirúrgico e uma curva de aprendizado relativamente longa (22).
- Zhao et al. (28) Eles também mencionaram que essa técnica é caracterizada por métodos de resfriamento insatisfatórios, pouca visualização e protocolos não ajustáveis.
- A precisão é influenciada pelo comprimento da chave de perfuração, pela distância de perfuração e pela altura do manguito, com maior precisão observada quando a distância entre a manga e o osso é minimizada e o comprimento da chave é aumentado (45).
- Um requisito importante é uma abertura bucal adequada, caso contrário, limite o uso dessa técnica.

3.10.2 Cirurgia Dinâmica de Implantes Assistida por Computador (d-CAIS)

Esta técnica é baseada no desenvolvimento de software de visualização de implantes 3D da década de 1990, o d-CAIS é aplicado desde o início dos anos 2000. Os dados de tomografia de feixe cônico (CBCT) são usados para determinar o local ideal do implante, e a tecnologia de rastreamento óptico é usada para localizar a broca do implante e o local da cirurgia em tempo real para navegação cirúrgica (ver Figura 6) (46).

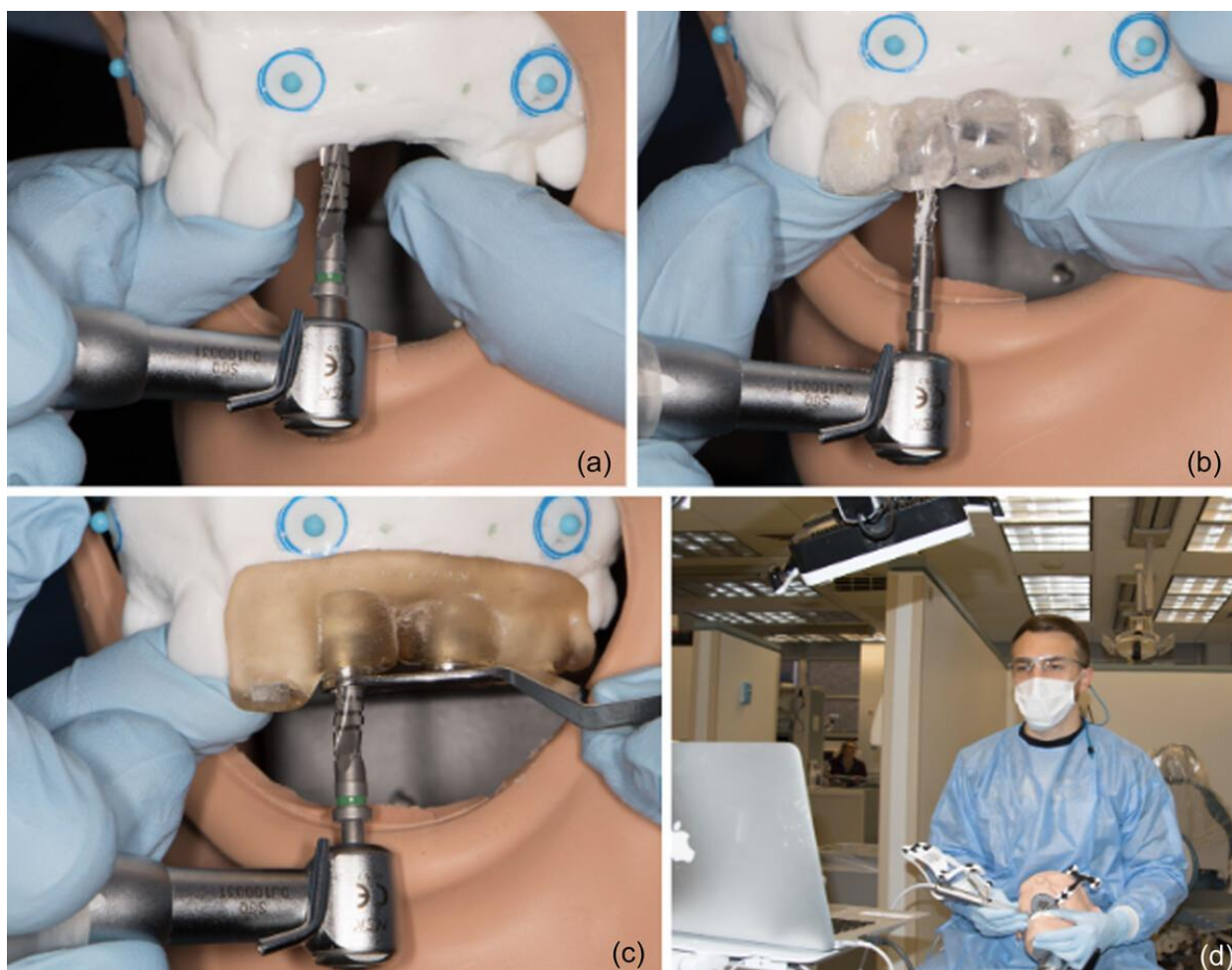


Figura 6: (a) Colocação de implantes à mão livre; (b) colocação de implantes com guia cirúrgico de acrílico, depilação prévia e retirada de gutapercha; c) Colocação de implantes com guia estático; d) Colocação de implantes utilizando navegação dinâmica (17).

Este procedimento usa tecnologia de rastreamento óptico ou mecânico sem um guia de modelo cooperado por meio de um monitor próximo (29).

O sistema d-CAIS compreende um computador com software de navegação, um dispositivo de rastreamento óptico ou uma fonte de luz e ferramentas de rastreamento conectadas à peça de mão e à boca do paciente (47).

Este sistema guiado permite a realização de cirurgias no mesmo dia, sem impedir o acesso aos instrumentos e à irrigação, ao mesmo tempo que permite alguma flexibilidade durante a colocação do implante (36).

3.10.2.1 Sequência clínica do sistema d-CAIS

O sistema de navegação dinâmica utiliza luz infravermelha emitida por dispositivos acoplados à peça de mão e dentro da boca do paciente. Essa luz é rastreada por câmeras para fornecer feedback e orientação em tempo real sobre a posição e angulação da peça de mão. Para registrar com precisão o paciente no software de navegação, um dispositivo de registro com marcadores fiduciais é anexado à maxila/mandíbula do paciente. Uma tomografia computadorizada de feixe cônico é obtida com este dispositivo colocado no mesmo quadrante do local planejado do implante (47).

Os dados DICOM são então transferidos para o software, permitindo o projeto de implantes virtuais de acordo com a posição, angulação e dimensões desejadas do implante (ver Figura 7).

Após a colocação dos dispositivos de posicionamento, é realizada a calibração da peça de mão cirúrgica e das posições da mandíbula/mandíbula. Um dispositivo de posicionamento oral é fixado

com segurança ao lado oposto do local do implante usando um material de resina.

O dispositivo de registro de marcador fiducial é então usado para coordenar e vincular a boca do paciente com os dados da TCFC em três dimensões. A preparação do local foi realizada sob a orientação em tempo real do sistema de navegação dinâmica. Finalmente, foi realizada uma tomografia computadorizada de feixe cônico de controle pós-operatória (ver Figuras 7 e 8) (48).

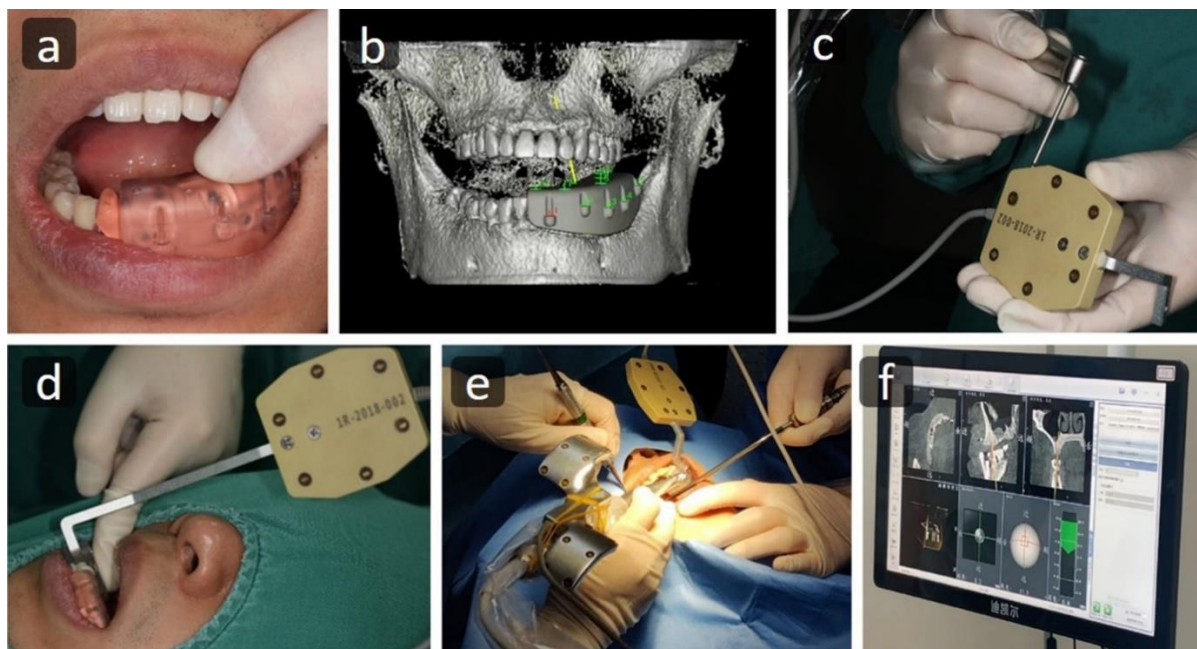


Figura 7: Fluxo de trabalho d-CAIS: (a) dispositivo de gravação adaptado intraoralmente antes de fazer uma CBCT, (b) a varredura CBCT é carregada no software e calibrada para a situação da vida real, detectando marcadores fiduciais e, em seguida, planejando o tratamento. c) Calibração da peça de mão e das brocas com o dispositivo de posicionamento d) O dispositivo de posicionamento está ligado ao dispositivo de registro e) Cirurgia realizada sob orientação de navegação dinâmica F) Visualização em tempo real do procedimento e apresentada no ecrã (47).



Figura 8: (a) Dispositivos de rastreamento óptico colocados na frente ou na parte superior do implantologista, (b) Marcadores fiduciais fixados em uma tala que o paciente deve usar durante a cirurgia, para registrar a posição da mandíbula em tempo real; (c) Marcadores fiduciais fixados na peça de mão para registrar a posição da peça de mão em tempo real; (d) Dispositivo de calibração a ser usado para alinhar a peça de mão e o dispositivo de rastreamento antes da cirurgia (49).

3.10.2.2 Precisão da técnica d-CAIS

As descobertas científicas sugerem que o sistema de navegação dinâmica permite a colocação precisa do implante com valores de desvio inferiores aos permitidos. Em uma revisão sistemática e meta-análise conduzida por Schnutenhaus et al. (19) Na navegação dinâmica, os desvios coronais, apicais e angulares globais médios relatados foram de 1,00 mm, 1,33 mm e 4,1°, respectivamente. Outra revisão sistemática de Yu et al. (46) relatara recentemente os mesmos valores de 1,07 mm, 1,27 mm e 3,43°, respectivamente.

3.10.2.3 Vantagens e desvantagens

Vantagens:

- O D-CAIS fornece irrigação adequada e feedback intraoperatório em tempo real, o que torna os ajustes intraoperatórios disponíveis (28).
- O planejamento do tratamento pode ser feito no mesmo dia e pode ser ajustado durante o procedimento.
- Pode ser usado com qualquer sistema de implante sem a necessidade de kits especiais.
- Não é contraindicado em pacientes com aberturas bucais restritas e em espaços estreitos, o que garante um campo de visão desobstruído (19)

Desvantagens

- Os sistemas de navegação guiada dinâmica alertam os operadores quando eles se desviam do plano cirúrgico original, mas o alerta exige que o operador mude o foco para a tela de imagem, dividindo a atenção do operador.
- Além disso, a técnica d-CAIS requer que a posição da cabeça do paciente seja mantida dentro da linha de visão da câmera, o que pode ser um desafio tanto para o paciente quanto para a equipe cirúrgica (50).
- Curva de aprendizado estendida.
- A precisão apresenta uma heterogeneidade notável dependendo da experiência e conhecimento individual (29).
- Possibilidade de causar tremores nas mãos (3).
- O hardware é bastante caro e ocupa espaço, tornando-o desconfortável de usar em clínicas comuns e relativamente pequenas.

- Configurar e calibrar o equipamento antes da cirurgia é demorado e prolonga o tempo da cirurgia.
- Nos casos de colocação de implantes do lado esquerdo, a colocação do dispositivo de posicionamento do lado direito pode limitar o campo de visão e a liberdade de movimento do cirurgião.

3.10.3 Uso combinado de cirurgia guiada por s-CAIS e d-CAIS

O uso combinado dessas técnicas tem sido estudado nos últimos anos com o objetivo de melhorar a precisão da colocação do implante, de acordo com Yotpibulwong et al. (51) Essas técnicas juntas atingem a precisão do implante dentro de 1 mm (ver Figura 9).

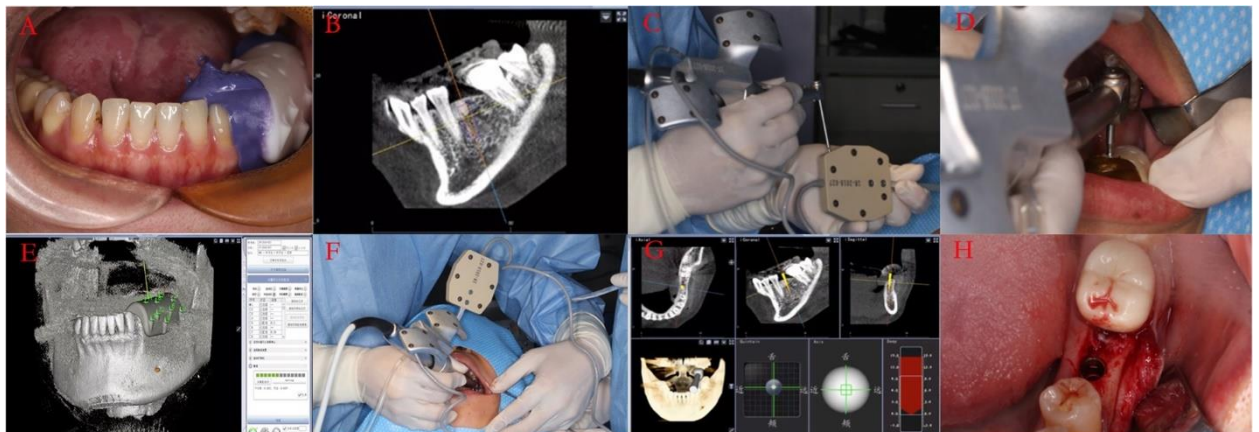


Figura 9: (a) O dispositivo de registro foi fixado ao arco operatório com um elastômero de silicone durante a realização da TCFC. (b) A posição ideal do implante 3D foi planejada no software do sistema de navegação de implantes dentários. (c) Correspondência do dispositivo de referência. d) Correspondência da chapa de matrícula com a peça de mão. (e) Correspondência de placas de matrícula no software. f) Processo d-CAIS. (g) A visualização de rastreamento em tempo real sob navegação no software. h) Imagem oral da colocação do implante **(52)**.

3.10.4 Cirurgia robótica de implantes auxiliada por computador (r-CAIS)

Os robôs de implantes dentários têm uma história de mais de 20 anos e passaram por inúmeras iterações e atualizações tecnológicas. Boesecke et al. na Alemanha relataram o primeiro uso de um sistema robótico (Medical Intelligence Medizintechnik, Schwabmünchen, Alemanha) para realizar cirurgia de implante oral em 2001. Posteriormente, seu uso In Vitro foi desenvolvido e melhor calibrado.

O CAIS robótico (r-CAIS) combina os benefícios de evitar as restrições físicas do s-CAIS, o feedback instantâneo do d-CAIS e o controle preciso alcançado pelos braços robóticos (36).

Este sistema emprega controle de movimento computadorizado para obter uma implantação precisa do implante por meio do posicionamento preciso da broca (7).

Os robôs de implantes dentários compreendem três componentes principais: um braço robótico, um sistema visual e um sistema de controle central, que funcionam de forma semelhante às mãos, olhos e cérebro de um dentista, respectivamente (ver figura 10) (24).

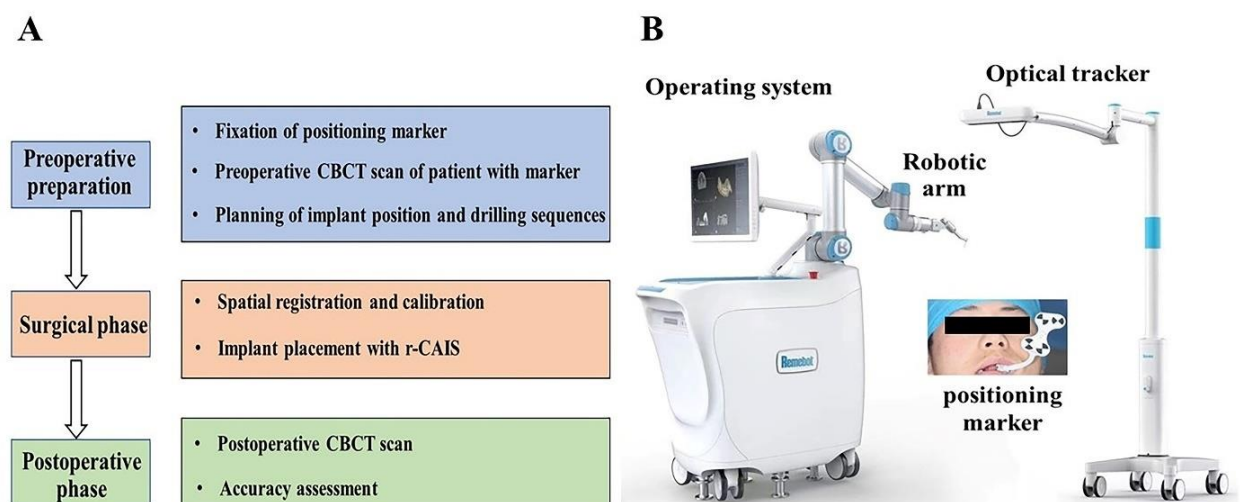


Figura 10: A: Fluxo de trabalho do sistema r-CAIS e B: Componentes do sistema robótico (28).

O r-CAIS atual é categorizado como cirurgia de controle cooperativo (4). De acordo com os seis níveis de autonomia dos robôs médicos, os robôs de colocação de implantes dentários são o nível 1 (assistência do robô) e o nível 2 (autonomia da tarefa) (22). Esses robôs são classificados como robôs passivos, semiativos, ativos ou teleoperados de acordo com o consenso no domínio de robôs de implantes dentários realizado na China no ano de 2023 (53). Os três primeiros têm sido amplamente utilizados na prática clínica. Os robôs passivos são de nível 1, enquanto os robôs semi-ativos e ativos são de nível 2.

Os autores observaram que os robôs ativos e semi-ativos demonstraram alta precisão na colocação do implante e que os robôs passivos exibiram altos desvios na colocação do implante. Além disso, os robôs ativos foram associados aos tempos de configuração e operação mais longos (24).

Zhou et al. (7) indica que a maioria dos estudos clínicos que conseguiu encontrar sobre este sistema são da China, onde na maioria dos estudos clínicos e in vitro que analisam a precisão da colocação dos implantes indicam um desvio coronal, apical e angular inferior a 1mm. O desempenho clínico do r-CAIS em pacientes parcialmente edêntulos foi documentado em vários estudos, com estes valores relatados: um desvio coronal geral de 0,29 a 0,74 mm, um desvio apical geral de 0,36 a 0,73 mm e um desvio angular de 1,11 a 2,81° (3).

A empresa Neocis, por meio de seu robô "Yomi", foi o primeiro sistema cirúrgico de implante robótico aprovado pela Food and Drug Administration (FDA) em 2017. É conhecido como sistema de assistência

robótica semi-ativo, pois o cirurgião pode realizar manualmente a osteotomia do implante através de um braço robótico (54). Este sistema de assistência robótica limita o movimento da broca de implante ao local planejado, restringindo a colocação do implante se o cirurgião se desviar da posição planejada (22).

Posteriormente, a China realizou mais pesquisas para comparar com outras técnicas em termos de precisão cirúrgica e tempo (34).

Em 2021, a Administração Nacional de Produtos Médicos da China autorizou o Remebot, um sistema autônomo de cirurgia assistida por robótica. Além de ser um dispositivo semi-ativo, como o mencionado acima, também é um sistema robótico autônomo. A osteotomia e a colocação de implantes são realizadas automaticamente usando tecnologias guiadas por imagem e assistidas por robótica. Enquanto isso, os cirurgiões podem monitorar o desempenho dos robôs durante a cirurgia (33).

Khan et al. (22) Descreva os sistemas r-CAIS com mais estudos e apoio científico até à data no quadro seguinte:

Tabela 1: Diferenças fundamentais entre os três tipos de sistema r-CAIS

Diferenças	Tipos de sistema r-CAIS		
	Robô ativo (Yakebot)	Robô Semi-Ativo (Remebot)	Robô passivo (Yomi, Dent Robot)
Gravação de rota	Sim	Não	Não
Procedimentos de entrada e saída.	Entrada e saída automáticas.	Arraste e solte para entrar e sair.	Arraste e solte para entrar e sair.
Método de perfuração.	O braço robótico perfura automaticamente.	O braço robótico perfura automaticamente.	As brocas de braço robótico são seguradas pelo cirurgião.

Tomado de Khan et al. Acessórios (22)

Uma das vantagens deste novo sistema de cirurgia guiada é que ele melhora a precisão e a exatidão, reduz o erro humano e elimina o uso de guias estáticos (38). Yang et al. (4) Em sua revisão, ele relatou desvios coronais e apicais médios de 0,7 mm e 0,8 mm para estudos in vitro e 0,6 mm e 0,7 mm para estudos clínicos. Em termos de desvio angular, os estudos clínicos revisados mostraram um desvio de 1,6 graus.

A Sociedade Chinesa de Implantodontia, após um consenso de especialistas clínicos (53), afirma:

-A colocação de implantes orais com este sistema é mais precisa na preparação do encaixe do implante é superior à navegação, orientação cirúrgica e técnicas à mão livre, mas ainda requer pesquisa clínica multicêntrica e evidências médicas mais baseadas em evidências.

-Os equipamentos robóticos na colocação de implantes orais devem ter alguma experiência clínica e ser utilizados por profissionais treinados.

- O uso de robôs de implante oral deve atender aos requisitos do hospital clínico, como requisitos de controle de infecção.

- A cirurgia robótica de implantes orais também requer muita verificação e resumo de casos clínicos.

- Diferentes sistemas robóticos de implantes orais e procedimentos operacionais correspondentes ainda precisam ser desenvolvidos para padronizar o uso clínico.

Em geral, os robôs de implantes dentários estão evoluindo para se tornarem mais inteligentes, autônomos e menos restritivos.

3.10.4.1 Procedimento clínico

O procedimento r-CAIS é realizado usando o sistema de cirurgia odontológica robótica autônoma guiada por imagem (por exemplo, o da Remebot, Beijing Baihui Weikang Technology Co., Ltd., Pequim, China), conforme mostrado na Figura 6. Este sistema robótico compreende marcadores de localização, rastreadores ópticos, braços mecânicos e um sistema operacional. No pré-operatório, marcadores de localização genéricos são fixados em 2-3 dentes naturais na boca do paciente usando resina acrílica auto-regenerativa. O paciente portador do traçador é então submetido a TCFC com tamanho de voxel de 0,1 mm, e as imagens são exportadas em formato DICOM.

Os dados da TCFC são então transmitidos para o sistema cirúrgico robótico (Remebot, Pequim), onde os marcadores de localização são

identificados e registrados no software do sistema. O planejamento virtual do implante é feito de acordo com as diretrizes de tratamento. No pré-operatório, o registro e a calibração são realizados usando rastreadores ópticos para alinhar a mandíbula e o braço robótico do paciente, durante os quais o rastreador e o paciente devem permanecer parados.

Após a desinfecção do local cirúrgico, o cirurgião aplica um anestésico local. O braço robótico é então manobrado mais perto da cavidade oral do paciente e a calibração automática é iniciada. De acordo com o plano cirúrgico, o braço robótico prepara de forma autônoma o local do implante, resultando na colocação automatizada do implante com base no torque de inserção. Ao longo desse processo, o cirurgião monitora os dados de feedback das sequências de piercing (como profundidade, orientação e força), posições de piercing em tempo real em diferentes planos e o local de colocação do implante (ver Figura 11 e 12) (34).



Figura 11: Procedimento r-CAIS para implementação imediata. (A) Um marcador de localização universal. (B) Colocação intraoral do marcador de localização. (C) Osteotomia do implante realizada automaticamente pelo sistema robótico. (D) Sistema operacional cirúrgico para rastreamento e monitoramento em tempo real (34).

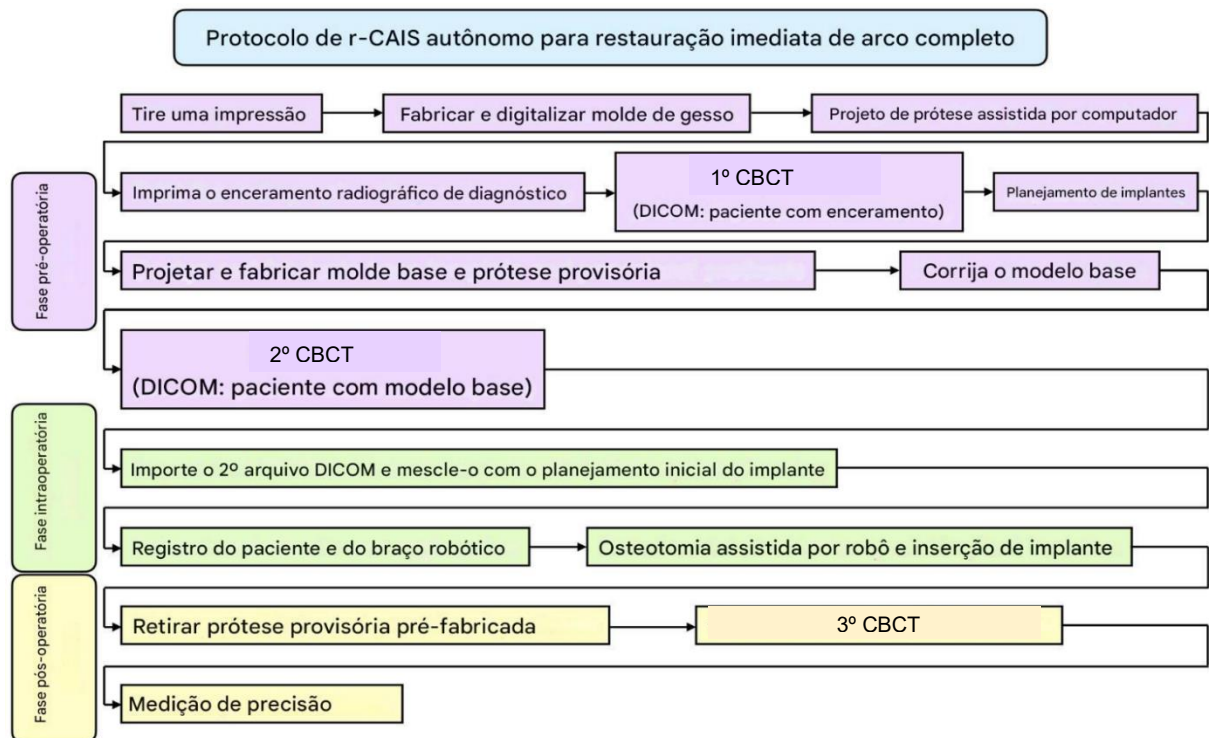


Figura 12: Protocolo cirúrgico para o sistema r-CAIS para próteses implantossuportadas em edentulismo total (3).

3.10.4.2 Fatores que influenciam a fase cirúrgica

O fluxo de trabalho clínico dos robôs de implantes dentários em cirurgia padrão pode ser dividido em três fases: pré-operatória, intraoperatória e pós-operatória.

A precisão final da cirurgia de implante será influenciada por vários fatores em cada etapa do processo.

-Coleta de dados: Desvios ao escanear uma tomografia computadorizada de feixe cônico são causados por fatores como tamanho do voxel, campo de visão, tempo de exposição e artefatos metálicos (33).

-Planejamento pré-operatório: Diferenças no planejamento pré-operatório e no comprimento do implante selecionado.

-Registro de Rota de Registro: Procedimentos complexos de registro, calibração e verificação. Desvio intrínseco da precisão de posicionamento do sistema robótico do implante. Os marcadores de posicionamento serão afetados pelo tipo de marcador, fabricação, método de fixação e posição (53).

-Preparação do local e colocação do implante: O micromovimento da cabeça do paciente, diferenças na densidade óssea, morfologia óssea específica, risco de deslizamento lateral da broca, abertura limitada da boca, tremores da mão do dentista, o braço robótico não tão flexível, a interação entre o rastreador óptico e o marcador de posicionamento em tempo real, a frequência e a capacidade de resposta do feedback, movimento e erro de posicionamento do braço robótico (55).

-Avaliação de precisão: A possibilidade de dispersão devido à radiopacidade do implante.

3.10.4.3 Características clínicas dos implantes colocados pelo r-CAIS

Xie et al. (55) Em seu estudo, ele acompanhou pacientes após a colocação do implante por r-CAIS aos 3 meses e um ano, onde examinou

a saúde do tecido mole peri-implantar. Eles relatam que as coroas sobre implantes não registraram locais com sangramento à sondagem e a profundidade da bolsa periodontal foi de $2,26 \pm 0,36$ mm após 3 meses e $2,31 \pm 0,34$ após 1 ano, indicando um estado peri-implantar saudável.

Em relação à dor pós-cirúrgica, Zhou et al. (7) menciona que o r-CAIS não causou mais desconforto do que a cirurgia à mão livre, isso após a avaliação de estudos clínicos em sua revisão que compararam e avaliaram a dor e o desconforto relatados pelos pacientes durante a cirurgia e aos 7 dias após a cirurgia.

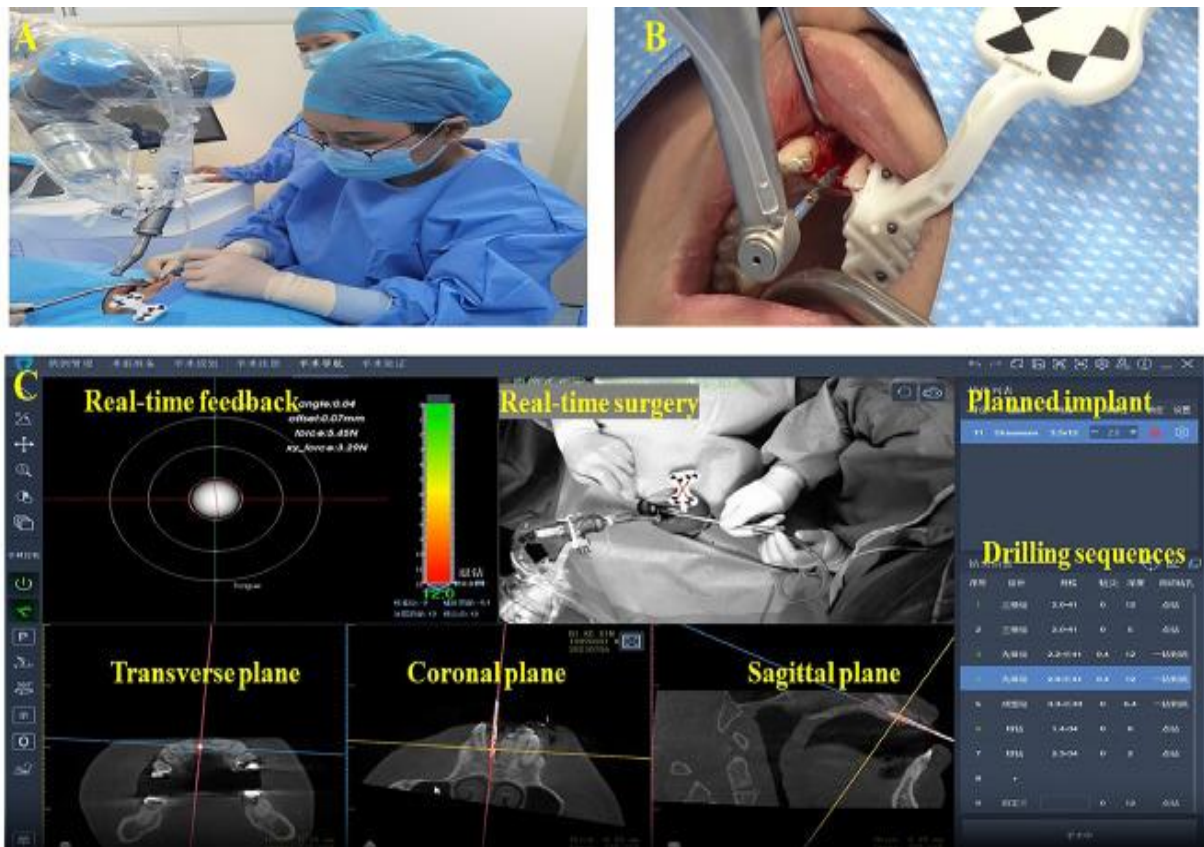


Figura 13: Colocação de implantes assistida por R-CAIS e informações cirúrgicas em tempo real. A e B: Colocação de implantes assistida por robótica. C: Informações de perfuração e feedback em tempo real na tela do sistema robótico (28).

Vantagens:

- Os sistemas robóticos de implantes orais demonstram muitos recursos avançados, como inteligência robótica, visão de máquina, fusão de informações de vários sensores e visualização gráfica 3D (24).
- O método r-CAIS mostra maior estabilidade e precisão, evitando erros humanos resultantes de fadiga, visão restrita ou limitada do campo cirúrgico e má postura.
- A cirurgia robótica de implantes produz resultados estáveis e reproduzíveis, reduzindo a dependência da experiência clínica do cirurgião e estendendo a aplicação da cirurgia de implante oral (7).

Desvantagens:

- O uso da robótica na implantodontia pode ser atraente a longo prazo, mas requer materiais de alta tecnologia, alto custo e treinamento adicional (54).
- Em alguns sistemas robóticos para cirurgia, o rastreador óptico não pode se mover livremente ou precisa ser registrado novamente.
- Diferentes algoritmos de sistemas robóticos também afetam a precisão cirúrgica de diferentes maneiras, seja na calibração, registro, rastreamento do movimento do braço robótico e do paciente e na posição da broca ou implante dos sistemas (44).
- A construção, o método de fixação, a posição e a estabilidade do marcador de posicionamento também afetam os erros de registro e calibração (28).
- Maior tempo cirúrgico devido ao preparo pré-operatório complexo (33). No entanto, faltam mais estudos clínicos comparando o

tempo cirúrgico ou o tempo pré-operatório entre r-CAIS e d-CAIS ou s-CAIS.

- O braço robótico, que não é tão flexível quanto a mão humana em nenhum dos sistemas atualmente disponíveis, também não pode acessar facilmente a região posterior da mandíbula e com abertura limitada (23).

- Este sistema ainda está nos estágios iniciais de aplicação e avaliação e ainda não foi aplicado em ambientes clínicos de larga escala.

- Eles ainda exigem mais pesquisas em um grande número de estudos clínicos de longo prazo bem desenhados para verificar sua confiabilidade e obter dados científicos sólidos ao mesmo tempo.

4. DISCUSSÃO

Os implantes têm amplo respaldo científico que apóia seu uso em muitos casos de edentulismo, portanto, a revisão mais atualizada se concentra em melhorar seus protocolos clínicos para uma maior taxa de sucesso clínico a longo prazo.

A aplicação de novas tecnologias CAIS introduziu novos métodos para a colocação precisa de implantes. Vários softwares de planejamento digital, ao integrarem informações anatômicas tridimensionais obtidas por TCFC e exames ópticos, permitem um desenho pré-operatório abrangente (56). No entanto, a aquisição de dados e o planejamento virtual constituem apenas a fase pré-operatória da cirurgia guiada, enquanto encontrar métodos confiáveis para executar a transição do espaço virtual para a realidade é o ponto em que novas pesquisas em odontologia digital e, para ser mais preciso, em implantodontia moderna são focadas.

A maioria dos estudos clínicos e revisões sistemáticas que foram analisados neste trabalho de pesquisa mostrou que o implante à mão livre tem maiores desvios em comparação com o CAIS.

Schnutenhaus et al. (19) investigaram a acurácia e os fatores de influência da colocação de implantes à mão livre em 52 pacientes, relatando maiores desvios mesiodistais na mandíbula inferior, bem como maiores desvios mesiodistais angulares e apicais na colocação precoce do implante.

O S-CAIS é um dos primeiros a ser usado ao longo da história desde a introdução da cirurgia guiada e aquele com os estudos mais cientificamente apoiados. Para Li et al. (34) O modelo de sistema semiguiado s-CAIS para implante anterior imediato é mais custo-efetivo,

requer uma abertura bucal menor e é mais simples; além de obter maior precisão do que a técnica à mão livre e estar dentro dos valores permitidos em termos de desvio apical, coronal e angular ($1,01 \pm 0,41$ mm, $1,24 \pm 0,52$ mm e $2,94 \pm 1,71^\circ$, respectivamente). Os autores deste estudo mencionam a importância clínica para os casos de deficiência óssea apical horizontal.

Naeini et al. (32) Em sua revisão sistemática, eles concluíram que a cirurgia guiada sem retalho é comparável à cirurgia à mão livre em termos de sobrevida do implante, remodelação óssea marginal e variáveis peri-implantares. Além disso, ao avaliar o sistema s-CAIS, eles determinam que há uma associação entre o suporte do guia cirúrgico, o protocolo utilizado e a acurácia clínica da cirurgia guiada por computador, em que os guias suportados por dentes apresentam mais acurácia do que os fios-guia suportados por osso ou mucosa, e a cirurgia totalmente guiada produz maior acurácia em comparação com a cirurgia parcialmente guiada.

Chandran et al. (41) Em seu estudo clínico em 61 pacientes e um total de 80 implantes, eles concluíram de maneira semelhante ao que foi mencionado acima, mas na colocação imediata de implantes em alvéolos pós-extração, onde a cirurgia guiada de implantes (S-CAIS) é significativamente mais precisa do que a cirurgia à mão livre.

Varga Jr. et al. (18) Em seu ensaio clínico randomizado em 101 pacientes, eles concluíram que qualquer grau ou técnica de S-CAIS ou orientação estática melhora a precisão da cirurgia de implante dentário em comparação com a cirurgia à mão livre em geral, e tem o efeito mais pronunciado e significativo no desvio angular em particular. Além disso, eles mencionam que a cirurgia guiada deve ser a abordagem padrão, em

vez da cirurgia à mão livre, quando é necessário um posicionamento mais próximo do perfeito nos implantes.

Jorba-García et al. (50) encontraram valores de desvio significativamente mais altos quando a focagem à mão livre foi usada em comparação com a navegação dinâmica ou d-CAIS. O sistema d-CAIS obteve alta acurácia com ângulo médio inferior a 4° de desvio angular, embora também tenham relatado desvios globais superiores a 1 mm em alguns estudos avaliados.

Younis et al. (47) observaram maiores desvios de profundidade nos implantes posteriores e maiores desvios angulares nos implantes maxilares. Essas variações na precisão, combinadas com os altos desvios ao usar a abordagem à mão livre, ressaltam a vulnerabilidade da colocação do implante à mão livre na qualidade do tratamento que é comprometida e dá resultados desfavoráveis. Além disso, concluem que o sistema d-CAIS oferece maior precisão e flexibilidade do que a técnica s-CAIS. No entanto, ele vem com considerações de custo e conveniência.

Yu et al. (46), em sua revisão, também conclui que o d-CAIS demonstrou acurácia superior em comparação com o s-CAIS e a técnica à mão livre, mas também relata que existem vários fatores que podem aumentar a colocação imprecisa dessa técnica. Esses fatores potenciais incluem, mas não estão limitados a instabilidade dos marcadores fiduciais radiológicos suportados pelos dentes, movimento do paciente durante o exame radiológico e a cirurgia, calibração inadequada de peças de mão ou brocas. Embora poucos casos tenham sido relatados, eles mostram a importância de conhecer esses erros que diminuem a precisão do procedimento.

Khan et al. (22) Em sua revisão sistemática, onde buscou comparar a acurácia dos três sistemas de cirurgia guiada atualmente, encontrou uma diferença significativa entre o sistema que utiliza robótica e os demais de cirurgia guiada, uma vez que proporcionou melhor acurácia posicional em relação ao D-CAIS após considerar os desvios coronal, apical e angular.

Apesar de concluir isso, também sugere que as evidências ainda são limitadas. Além disso, a maioria dos estudos encontrados e avaliados foram in vitro em comparação com estudos clínicos.

Khan et al., também mencionam a possibilidade de haver dados tendenciosos, como a calibração do tomógrafo ou com o programa de software de planejamento de colocação de implantes. Fatores como tamanho do voxel, campo de visão, presença de artefatos e tempos de varredura podem ter influenciado a precisão das varreduras de TCFC. Outros fatores que eles mencionam podem dar um viés relativo, como variações no tipo de sistema de navegação, os diferentes comprimentos dos implantes e os diferentes programas de software de planejamento, o que pode ter contribuído para a heterogeneidade observada.

Ele também menciona que os sistemas d-CAIS e s-CAIS tiveram precisão posicional semelhante, mas tanto o d-CAIS quanto o s-CAIS mostraram uma precisão posicional significativamente melhor em comparação com a colocação à mão livre (22).

Zhao et al. (28) Em seu estudo, eles demonstraram que a precisão da colocação imediata do implante na mandíbula anterior usando r-CAIS foi alta e superior à obtida com a abordagem à mão livre e outras técnicas de cirurgia guiada. Além disso, eles observaram que isso poderia

efetivamente melhorar a precisão da colocação do implante, mesmo em cenários clínicos imediatos tecnicamente desafiadores. Em seu estudo clínico com quinze pacientes, eles mostraram que o desvio global do ápice foi ligeiramente menor que o desvio global da plataforma (0,7 vs. 0,75 mm de desvio), devido à resistência do osso palatino durante a colocação. Da mesma forma, os autores destacam a importância de realizar esses estudos em um número maior de pacientes e não em uma amostra limitada.

Yang et al. (4) também avaliaram o sistema r-CAIS que concluíram, como Zhao, que é um método clinicamente confiável para a colocação de implantes, com desvios coronais, apicais e angulares gerais significativamente menores na cirurgia de implantes assistida por robótica em comparação com a cirurgia de implante assistida por computador em pacientes. Para eles, o tipo de edentulismo não afetou a precisão da posição do implante inserido nos estudos clínicos avaliados em sua revisão.

Em relação ao método r-CAIS, Wang et al. (24) concluem em sua revisão que os estudos conhecidos até o momento ainda apresentam limitações, como tamanho amostral pequeno, controles de longo prazo, custo-efetividade e segurança do paciente. O sistema r-CAIS foi aplicável apenas à osteotomia e colocação de implantes; portanto, eles têm funcionalidade limitada. Além disso, pode não haver estruturas regulatórias, éticas e legais adequadas disponíveis para cada avanço de sua tecnologia. Embora tenha resultados encorajadores, ainda está em estágios iniciais.

Autores que estudaram o sistema r-CAIS (33,34,36,55) mencionaram as dificuldades ainda presentes neste sistema, onde os

operadores devem fixar rigidamente os marcadores de posicionamento intraoralmente e com precisão para adquirir dados de TCFC. Em caso de deslocamento não intencional dos marcadores de posicionamento ou rastreadores ópticos, a operação do braço robótico deve ser interrompida imediatamente e o processo de recolocação dos marcadores de posicionamento, aquisição de dados CBCT e registro dos rastreadores ópticos com os marcadores de posicionamento deve ser repetido. Além disso, a área de operação do paciente deve ser mantida o mais imóvel possível durante a cirurgia. Portanto, seu uso e estudos clínicos com um número maior de pacientes ainda estão em estágios iniciais onde são necessárias avaliações de custo-benefício.

Chackartchi et al. (57) Em sua revisão sistemática, eles mencionam como principal ponto positivo que a cirurgia guiada por implantes permite maximizar a precisão, levando em consideração a anatomia dos tecidos duros, o volume dos tecidos moles e a localização de futuras próteses, embora tenham mencionado que ainda existem desvios e erros inerentes ao uso de sistemas de implantes guiados por computador que podem causar lesão de estruturas anatômicas essenciais ou descasamento protético. Por esse motivo, recomendam um treinamento adicional de especialistas no uso de sistemas guiados, bem como a compreensão de possíveis erros nas várias etapas do tratamento, para tornar esse método cirúrgico um padrão de atendimento. Isso aumentará a confiança em tais sistemas e seu uso se tornará uma prática comum na implantodontia moderna.

Como parte desta revisão, recomenda-se uma revisão mais aprofundada em termos de acurácia em estudos longitudinais e pontos favoráveis para sua aplicação nos diferentes contextos em que sua aplicação será realizada. A formação de especialistas e o conhecimento

desses sistemas também são pouco estudados, pois influenciam o sucesso clínico dessas técnicas.

5. CONCLUSÕES

- A cirurgia guiada assistida por computador tem uma precisão significativamente maior em comparação com a cirurgia à mão livre, o que favorece a sobrevida do implante, a remodelação óssea marginal e as variáveis peri-implantares
- A precisão da cirurgia de implante estático auxiliada por computador (s-CAIS) está dentro da faixa clinicamente aceitável na maioria das situações clínicas, com maior precisão em pacientes parcialmente edêntulos do que em pacientes totalmente edêntulos. É a técnica com maior número de estudos de apoio e menor custo, mas dependente de fatores externos e anatômicos favoráveis.
- A técnica de navegação dinâmica ou d-CAIS é um método clinicamente confiável para a colocação de implantes, pois apresentou um desvio angular, coronal e apical significativamente menor em comparação com o s-CAIS e a técnica à mão livre. Oferece precisão e flexibilidade. No entanto, envolve considerações de custo e maior treinamento para o profissional.
- Dentre os três (03) sistemas que compõem a cirurgia guiada, o que possui maior precisão é o r-CAIS, mas requer alta logística, maior cuidado e não é muito rentável devido ao seu alto custo. Atualmente, está em estágios iniciais e precisa de mais estudos clínicos com amostras maiores para avaliar sua relação custo-benefício, segurança e resultados a longo prazo.

Este estudo tem como objetivo avaliar a aplicação e o desempenho clínico da cirurgia guiada de implantes dentários versus a técnica de colocação de implantes à mão livre.

Outro objetivo é avaliar as principais vantagens e desvantagens de cada uma das técnicas de colocação de implantes dentários, de acordo com as pesquisas apresentadas nos últimos anos.

Avaliando também as diferentes técnicas de cirurgia guiada de implantes dentários existentes até o momento, estabelecendo a taxa de sucesso e precisão de cada uma delas com base em pesquisas. Este estudo tem como objetivo avaliar a aplicação e o desempenho clínico da cirurgia guiada de implantes dentários versus a técnica de colocação de implantes à mão livre.

Outro objetivo é avaliar as principais vantagens e desvantagens de cada uma das técnicas de colocação de implantes dentários, de acordo com as pesquisas apresentadas nos últimos anos.

Avaliando também as diferentes técnicas de cirurgia guiada de implantes dentários existentes até o momento, estabelecendo a taxa de sucesso e precisão de cada uma delas com base em pesquisas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ebenezer S, Kumar VV, Thor A. Basics of Dental Implantology for the Oral Surgeon. En: Bonanthaya K, Panneerselvam E, Manuel S, Kumar VV, Rai A, editors. Oral and Maxillofacial Surgery for the Clinician [Internet]. Singapore: Springer Nature; 2021 [citado 17 de octubre de 2024]. p. 385-405. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-981-15-1346-6_18
2. Kittur N, Oak R, Dekate D, Jadhav S, Dhatrak P. Dental implant stability and its measurements to improve osseointegration at the bone-implant interface: A review. Materials Today: Proceedings [Internet]. 1 de enero de 2021 [citado 17 de octubre de 2024];

43:1064-70. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320361137>

3. Shu Q, Chen D, Wang X, Liu Q, Ge Y, Su Y. Accuracy of flapless surgery using an autonomous robotic system in full-arch immediate implant restoration: A case series. *Journal of Dentistry* [Internet]. 1 de junio de 2024 [citado 20 de octubre de 2024]; 145:105017. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300571224001878>

4. Yang J, Li H. Accuracy assessment of robot-assisted implant surgery in dentistry: A systematic review and meta-analysis. *The Journal of Prosthetic Dentistry* [Internet]. 1 de octubre de 2024 [citado 20 de octubre de 2024];132(4): 747.e1-747.e15. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022391323008193>

5. Romandini M, Ruales-Carrera E, Sadilina S, Hämmerle CHF, Sanz M. Minimal invasiveness at dental implant placement: A systematic review with meta-analyses on flapless fully guided surgery. *Periodontology 2000* [Internet]. 2023 [citado 7 de octubre de 2024];91(1):89-112. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/prd.12440>

6. Mai HN, Dam VV, Lee DH. Accuracy of Augmented Reality–Assisted Navigation in Dental Implant Surgery: Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Medical Internet Research* [Internet]. 4 de enero de 2023 [citado 1 de noviembre de 2024];25(1):e42040. Disponible en: <https://www.jmir.org/2023/1/e42040>

7. Zhou WK, Wang JJ, Jiang YH, Yang L, Luo YL, Man Y, et al. Clinical and in vitro application of robotic computer-assisted implant surgery: a scoping review. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* [Internet]. 4 de octubre de 2024 [citado 20 de octubre de 2024]; Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0901502724003710>
8. Abraham CM. A Brief Historical Perspective on Dental Implants, Their Surface Coatings and Treatments. *Open Dent J* [Internet]. 16 de mayo de 2014 [citado 7 de enero de 2024]; 8:50-5. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4040928/>
9. Linkow LI, Dorfman JD. Implantology in dentistry. A brief historical perspective. *N Y State Dent J*. 1991;57(6):31-5.
10. Nimbalkar S, Dhatrak P, Gherde C, Joshi S. A review article on factors affecting bone loss in dental implants. *Materials Today: Proceedings* [Internet]. 1 de enero de 2021 [citado 16 de octubre de 2024]; 43:970-6. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320355383>
11. Saha S, Roy S. Metallic Dental Implants Wear Mechanisms, Materials, and Manufacturing Processes: A Literature Review. *Materials* [Internet]. enero de 2023 [citado 17 de octubre de 2024];16(1):161. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1944/16/1/161>

12. Kasemo B, Lausmaa J. Material-tissue interfaces: the role of surface properties and processes. *Environ Health Perspect.* octubre de 1994;102 Suppl 5(Suppl 5):41-5.
13. Pjetursson BE, Thoma D, Jung R, Zwahlen M, Zembic A. A systematic review of the survival and complication rates of implant-supported fixed dental prostheses (FDPs) after a mean observation period of at least 5 years. *Clin Oral Implants Res* [Internet]. octubre de 2012;23 Suppl 6:22-38. Disponible en: <https://onlinelibrary-wiley-com.unmsm.lookproxy.com/doi/10.1111/j.1600-0501.2012.02546.x>
14. Panchal M, Khare S, Khamkar P, Suresh Bhole K. Dental implants: A review of types, design analysis, materials, additive manufacturing methods, and future scope. *Materials Today: Proceedings* [Internet]. 1 de enero de 2022 [citado 16 de octubre de 2024]; 68:1860-7. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785322052142>
15. Chrcanovic BR, Kisch J, Albrektsson T, Wennerberg A. A retrospective study on clinical and radiological outcomes of oral implants in patients followed up for a minimum of 20 years. *Clin Implant Dent Rel Res* [Internet]. abril de 2018 [citado 3 de enero de 2024];20(2):199-207. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/cid.12571>
16. Pattanasirikun P, Arunjaroensuk S, Panya S, Subbalekha K, Mattheos N, Pimkhaokham A. Comparison of precision of implant placement between two different guided systems for static computer-assisted implant surgery: A simulation-based experimental study. *Journal of Dental Sciences* [Internet]. 25 de julio de 2024 [citado 20

de octubre de 2024]; Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S199179022400237>

X

17. Carrico C, Skrjanc L, Kanduti D, Deeb G, Deeb JG. Effect of guided implant placement learning experiences on freehand skills: A pilot study. *Clinical and Experimental Dental Research* [Internet]. 2024 [citado 11 de octubre de 2024];10(2): e878. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cre2.878>

18. Varga Jr. E, Antal M, Major L, Kiscsatári R, Braunitzer G, Piffkó J. Guidance means accuracy: A randomized clinical trial on freehand versus guided dental implantation. *Clinical Oral Implants Research* [Internet]. 2020 [citado 13 de octubre de 2024];31(5):417-30. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/clr.13578>

19. Schnutenhaus S, Edelmann C, Knipper A, Luthardt RG. Accuracy of Dynamic Computer-Assisted Implant Placement: A Systematic Review and Meta-Analysis of Clinical and In Vitro Studies. *Journal of Clinical Medicine* [Internet]. enero de 2021 [citado 21 de octubre de 2024];10(4):704. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2077-0383/10/4/704>

20. Afrashtehfar KI. Conventional free-hand, dynamic navigation and static guided implant surgery produce similar short-term patient-reported outcome measures and experiences. *Evid Based Dent*. diciembre de 2021;22(4):143-5.

21. Kivovics M, Takács A, Péntzes D, Németh O, Mijiritsky E. Accuracy of dental implant placement using augmented reality-based navigation, static computer assisted implant surgery, and the free-hand

method: An in vitro study. Journal of Dentistry [Internet]. 1 de abril de 2022 [citado 14 de octubre de 2024]; 119:104070. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300571222001270>

22. Khan M, Javed F, Haji Z, Ghafoor R. Comparison of the positional accuracy of robotic guided dental implant placement with static guided and dynamic navigation systems: A systematic review and meta-analysis. The Journal of Prosthetic Dentistry [Internet]. 1 de octubre de 2024 [citado 10 de octubre de 2024];132(4): 746.e1-746.e8. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022391324001306>

23. Tao B, Feng Y, Fan X, Lan K, Zhuang M, Wang S, et al. The accuracy of a novel image-guided hybrid robotic system for dental implant placement: An in vitro study. The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery [Internet]. 2023 [citado 15 de octubre de 2024];19(1): e2452. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/rcs.2452>

24. Wang M, Liu F, Zhao X, Wu Y. Robot-assisted surgery for dental implant placement: A narrative review. Journal of Dentistry [Internet]. 1 de julio de 2024 [citado 20 de octubre de 2024]; 146:105034. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300571224002045>

25. Sailer I, Karasan D, Todorovic A, Ligoutsikou M, Pjetursson BE. Prosthetic failures in dental implant therapy. Periodontology 2000 [Internet]. febrero de 2022 [citado 4 de noviembre de 2024];88(1):130-

44. Disponible en:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/prd.12416>

26. Putra RH, Yoda N, Astuti ER, Sasaki K. The accuracy of implant placement with computer-guided surgery in partially edentulous patients and possible influencing factors: A systematic review and meta-analysis. *J Prosthodont Res* [Internet]. 2022 [citado 7 de octubre de 2024];66(1):29-39. Disponible en: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jpr/66/1/66_JPR_D_20_00184/_article/-char/ja/

27. Chen P, Nikoyan L. Guided Implant Surgery: A Technique Whose Time Has Come. *Dental Clinics of North America* [Internet]. 1 de enero de 2021 [citado 21 de octubre de 2024];65(1):67-80.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011853220300720>

28. Zhao N, Du L, Lv C, Liang J, He L, Zhou Q. Accuracy analysis of robotic-assisted immediate implant placement: A retrospective case series. *Journal of Dentistry* [Internet]. 1 de julio de 2024 [citado 20 de octubre de 2024]; 146:105035. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300571224002057>

29. Wei SM, Zhu Y, Wei JX, Zhang CN, Shi JY, Lai HC. Accuracy of dynamic navigation in implant surgery: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Oral Implants Research* [Internet]. 2021 [citado 14 de octubre de 2024];32(4):383-93. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/clr.13719>

30. Wang X yu, Liu L, Guan M sheng, Liu Q, Zhao T, Li H bo. The accuracy and learning curve of active and passive dynamic navigation-guided dental implant surgery: An in vitro study. *Journal of Dentistry* [Internet]. septiembre de 2022 [citado 30 de octubre de 2024]; 124:104240. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0300571222002962>
31. Lou F, Rao P, Zhang M, Luo S, Lu S, Xiao J. Accuracy evaluation of partially guided and fully guided templates applied to implant surgery of anterior teeth: A randomized controlled trial. *Clinical Implant Dentistry and Related Research* [Internet]. 2021 [citado 11 de octubre de 2024];23(1):117-30. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/cid.12980>
32. Naeini EN, Atashkadeh M, De Bruyn H, D'Haese J. Narrative review regarding the applicability, accuracy, and clinical outcome of flapless implant surgery with or without computer guidance. *Clinical Implant Dentistry and Related Research* [Internet]. 2020 [citado 10 de octubre de 2024];22(4):454-67. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/cid.12901>
33. Yang S, Chen J, Li A, Li P, Xu S. Autonomous Robotic Surgery for Immediately Loaded Implant-Supported Maxillary Full-Arch Prosthesis: A Case Report. *Journal of Clinical Medicine* [Internet]. enero de 2022 [citado 21 de octubre de 2024];11(21):6594. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2077-0383/11/21/6594>
34. Li J, Dai M, Wang S, Zhang X, Fan Q, Chen L. Accuracy of immediate anterior implantation using static and robotic computer-assisted implant surgery: A retrospective study. *Journal of Dentistry* [Internet]. 1 de septiembre de 2024 [citado 20 de octubre de 2024];

148:105218. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300571224003877>

35. Mistry A, Ucer C, Thompson JD, Khan RS, Karahmet E, Sher F. 3D Guided Dental Implant Placement: Impact on Surgical Accuracy and Collateral Damage to the Inferior Alveolar Nerve. *Dentistry Journal* [Internet]. septiembre de 2021 [citado 14 de octubre de 2024];9(9):99. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2304-6767/9/9/99>

36. Khaohoen A, Powcharoen W, Sornsuwan T, Chaijareenont P, Rungsiyakull C, Rungsiyakull P. Accuracy of implant placement with computer-aided static, dynamic, and robot-assisted surgery: a systematic review and meta-analysis of clinical trials. *BMC Oral Health* [Internet]. 21 de marzo de 2024 [citado 21 de octubre de 2024];24(1):359. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04033-y>

37. Massuda CKM, de Carvalho MR, de Moraes JB, Pallos D, Kim YJ. Accuracy of guided dental implant surgery using a fully digital workflow: A case series. *The Journal of Prosthetic Dentistry* [Internet]. 10 de noviembre de 2022 [citado 20 de octubre de 2024]; Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022391322006357>

38. Yimarj P, Subbalekha K, Dhanesuan K, Siriwatana K, Mattheos N, Pimkhaokham A. Comparison of the accuracy of implant position for two-implants supported fixed dental prosthesis using static and dynamic computer-assisted implant surgery: A randomized controlled clinical trial. *Clinical Implant Dentistry and Related Research* [Internet].

2020 [citado 14 de octubre de 2024];22(6):672-8. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/cid.12949>

39. Gargallo-Albiol J, Barootchi S, Marqués-Guasch J, Wang HL. Fully Guided Versus Half-Guided and Freehand Implant Placement: Systematic Review and Meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2020;35(6):1159-69.

40. Chen Y, Zhang X, Wang M, Jiang Q, Mo A. Accuracy of Full-Guided and Half-Guided Surgical Templates in Anterior Immediate and Delayed Implantation: A Retrospective Study. *Materials* [Internet]. enero de 2021 [citado 4 de noviembre de 2024];14(1):26. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1944/14/1/26>

41. Chandran K R S, Goyal M, Mittal N, George JS. Accuracy of freehand versus guided immediate implant placement: A randomized controlled trial. *Journal of Dentistry* [Internet]. 1 de septiembre de 2023 [citado 11 de octubre de 2024]; 136:104620. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300571223002063>

42. Guentsch A, Sukhtankar L, An H, Luepke PG. Precision and trueness of implant placement with and without static surgical guides: An in vitro study. *The Journal of Prosthetic Dentistry* [Internet]. 1 de septiembre de 2021 [citado 20 de octubre de 2024];126(3):398-404. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022391320304248>

43. Tahmaseb A, Wu V, Wismeijer D, Coucke W, Evans C. The accuracy of static computer-aided implant surgery: A systematic review

and meta-analysis. *Clinical Oral Implants Res* [Internet]. octubre de 2018 [citado 30 de octubre de 2024];29(S16):416-35. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/clr.13346>

44. Cheng KJ, Kan TS, Liu YF, Zhu WD, Zhu FD, Wang WB, et al. Accuracy of dental implant surgery with robotic position feedback and registration algorithm: An in-vitro study. *Comput Biol Med*. febrero de 2021; 129:104153.

45. Kiatkroekkrai P, Takolpuckdee C, Subbalekha K, Mattheos N, Pimkhaokham A. Accuracy of implant position when placed using static computer-assisted implant surgical guides manufactured with two different optical scanning techniques: a randomized clinical trial. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* [Internet]. 1 de marzo de 2020 [citado 15 de octubre de 2024];49(3):377-83. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0901502719313050>

46. Yu X, Tao B, Wang F, Wu Y. Accuracy assessment of dynamic navigation during implant placement: A systematic review and meta-analysis of clinical studies in the last 10 years. *Journal of Dentistry* [Internet]. 1 de agosto de 2023 [citado 27 de octubre de 2024]; 135:104567. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300571223001537>

47. Younis H, Lv C, Xu B, Zhou H, Du L, Liao L, et al. Accuracy of dynamic navigation compared to static surgical guides and the freehand approach in implant placement: a prospective clinical study. *Head Face Med* [Internet]. 14 de mayo de 2024 [citado 22 de octubre

de 2024];20(1):30. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s13005-024-00433-1>

48. Pozzi A, Hansson L, Carosi P, Arcuri L. Dynamic navigation guided surgery and prosthetics for immediate loading of complete-arch restoration. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* [Internet]. 2021 [citado 10 de octubre de 2024];33(1):224-36. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jerd.12710>

49. Pimkhaokham A, Jiaranuchart S, Kaboosaya B, Arunjaroensuk S, Subbalekha K, Mattheos N. Can computer-assisted implant surgery improve clinical outcomes and reduce the frequency and intensity of complications in implant dentistry? A critical review. *Periodontology 2000* [Internet]. 2022 [citado 14 de octubre de 2024];90(1):197-223. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/prd.12458>

50. Jorba-García A, González-Barnadas A, Camps-Font O, Figueiredo R, Valmaseda-Castellón E. Accuracy assessment of dynamic computer-aided implant placement: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig.* mayo de 2021;25(5):2479-94.

51. Yotpibulwong T, Arunjaroensuk S, Kaboosaya B, Sinpitaksakul P, Arksornnukit M, Mattheos N, et al. Accuracy of implant placement with a combined use of static and dynamic computer-assisted implant surgery in single tooth space: A randomized controlled trial. *Clinical Oral Implants Research* [Internet]. 2023 [citado 25 de octubre de 2024];34(4):330-41. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/clr.14043>

52. Wu D, Zhou L, Yang J, Zhang B, Lin Y, Chen J, et al. Accuracy of dynamic navigation compared to static surgical guide for dental implant placement. *Int J Implant Dent* [Internet]. 24 de noviembre de 2020 [citado 13 de octubre de 2024];6(1):78. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s40729-020-00272-0>
53. Chen J, Su Y, Shen G, Zhou Y, Man Y, Yan G, et al. Expert consensus on the clinical application of dental implant robots (first edition). *Chinese Journal Oral Implantology* [Internet]. 30 de junio de 2023 [citado 23 de octubre de 2024];28(3):134. Disponible en: <https://zgkqzzxzz.cndent.com/CN/10.12337/zgkqzzxzz.2023.06.002>
54. Bolding SL, Reebye UN. Accuracy of haptic robotic guidance of dental implant surgery for completely edentulous arches. *Journal of Prosthetic Dentistry* [Internet]. 1 de octubre de 2022 [citado 21 de octubre de 2024];128(4):639-47. Disponible en: [https://www.thejpd.org/article/S0022-3913\(21\)00056-1/fulltext](https://www.thejpd.org/article/S0022-3913(21)00056-1/fulltext)
55. Xie R, Liu Y, Wei H, Zhang T, Bai S, Zhao Y. Clinical evaluation of autonomous robotic-assisted full-arch implant surgery: A 1-year prospective clinical study. *Clinical Oral Implants Research* [Internet]. 2024 [citado 27 de octubre de 2024];35(4):443-53. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/clr.14243>
56. Kalaivani G, Balaji VR, Manikandan D, Rohini G. Expectation and reality of guided implant surgery protocol using computer-assisted static and dynamic navigation system at present scenario: Evidence-based literature review. *Journal of Indian Society of Periodontology* [Internet]. octubre de 2020 [citado 10 de octubre de 2024];24(5):398. Disponible en:

https://journals.lww.com/jisp/fulltext/2020/24050/expectation_and_reality_of_guided_implant_surgery.4.aspx

57. Chackartchi T, Romanos GE, Parkanyi L, Schwarz F, Sculean A. Reducing errors in guided implant surgery to optimize treatment outcomes. *Periodontology 2000* [Internet]. 2022 [citado 7 de octubre de 2024];88(1):64-72. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/prd.12411>