¹ George A. Mandelaris, DDS, MS.² Luigi V. Stefanelli, DDS, PhD.³ Bradley S. DeGroot, DDS, MS.

NAVEGAÇÃO DINÂMICA PARA COLOCAÇÃO CIRÚRGICA DE IMPLANTES: VISÃO GERAL DA TECNOLOGIA, CONCEITOS-CHAVE E RELATO DE UM CASO CLÍNICO

RESUMO

Ao longo de várias décadas, a implantologia dentária evoluiu para incluir a cirurgia planejada e guiada tridimensionalmente (3D). Uma das inovações mais recentes é a navegação dinâmica que pode permitir que os cirurgiões coloquem implantes com precisão semelhante aos guias estereolitográficos baseados em planejamentos 3D e proteticamente guiados. Os benefícios da cirurgia guiada dinamicamente incluem feedback em tempo real, fluxo de trabalho digital simplificado, melhor visualização cirúrgica e adaptabilidade aos achados intra-operatórios. Este artigo discute a tecnologia e o fluxo de trabalho da navegação dinâmica e a sua aplicação para a colocação guiada de implantes. Apresenta-se ainda um caso clínico executado com esta tecnologia.

OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

- Adquirir uma compreensão introdutória da tecnologia que permite a cirurgia de navegação dinâmica
- Descrever o fluxo de trabalho e os processos clínicos necessários para a navegação dinâmica no que se refere à cirurgia de implantes dentários
- Identificar as vantagens clínicas da navegação dinâmica em comparação com a cirurgia manual livre ou com guia cirúrgico estático

Quatro avanços-chave conduziram à evolução da implantologia dentária tal como a conhecemos hoje: (1) a descoberta da osseointegração pelo Dr. P-I Branemark¹; (2) a aplicação de tecnologia de imagem por tomografia computadorizada (CT-sigla em inglês) para “colocação otimizada do implante proteticamente guiado”²⁻⁴; (3) guias cirúrgicos estereolitográficos gerados por computador⁵⁻⁸; e (4) CT de Feixe Cônico (CBCT-sigla em inglês), que reduziu a exposição à radiação e melhorou o acesso para o setor privado⁹⁻¹⁰. No final da década de 1980, a imagiologia tridimensional (3D) usando tomografia helicoidal de nível médico tornou-se uma ferramenta importante, ainda que controversa, para a implantologia dentária. A imagiologia tridimensional permitiu diagnósticos precisos de anatomia regional e um planejamento mais personalizado da cirurgia, por meio de um software de planejamento que permitia uma melhor colaboração entre a cirurgia e a prótese. No entanto, nenhum método se encontrava disponível para se poder transferir o planejamento cirúrgico em computador diretamente para o campo operatório.

Origem da Cirurgia Guiada

Em 2000, a CBCT tornou-se disponível e permitiu uma exposição à radiação significativamente menor⁹⁻¹⁰. Em 2002, a capacidade de gerar planejamentos cirúrgicos estereolitográficos a partir de um software computacional de planejamento baseado em CBCT anulou muitas das preocupações com a exposição a radiação relacionadas com a segurança entre dosagem-efeito em terapias “eletivas”¹¹.

Hoje, um padrão emergente de cuidado é o uso de imagens de cortes transversais de CBCT para planejamento e um guia cirúrgico estereolitográfico durante a realização de uma cirurgia¹²⁻¹³.

Na sua origem, os guias cirúrgicos estereolitográficos eram modelos de perfuração sequenciais que permitiam que os locais de osteotomia fossem alargados e eram utilizados para controlar os planos de espaços bucolinguais e mesiodistais¹⁴. Esta aplicação tem sido designada de cirurgia de implante “parcialmente guiada”. O efeito dos guias cirúrgicos estereolitográficos foi significativo, melhorando os desvios do ponto de entrada e as discrepâncias angulares em quase 50% quando comparado com a cirurgia convencional de mão livre¹⁵. Contudo, foi a produção de cirurgias de implantes totalmente guiadas que melhorou a precisão para níveis submilimétricos e possibilitou o controle em todos os três planos do espaço: bucolingual, mesiodistal e apicocoronar¹⁶. O tempo de rotação também é possível com sistemas totalmente guiados, embora isso seja dependente do fabricante do implante e / ou do guia⁸⁻¹⁷.

Hoje, o advento dos digitalizadores de superfície intraorais e o desenho/fresagem assistidos por computador (CAD/CAM- siglas em inglês de Computer Aided Design e Computer Aided Milling/Manufacturing) tornou mais simples e previsível o tratamento guiado, de arcada completa e de função imediata para o paciente edêntulo ou parcialmente desdentado¹⁸.

Os guias estereolitográficos gerados por computador utilizados para todas as modalidades de cirurgia parcial ou totalmente guiada são denominados guias “estáticos”, pois, uma vez construídos, não há oportunidade de alterar o plano de tratamento e permanecer “guiado”. Apesar das suas melhorias em relação a métodos anteriores, o uso de guias estereolitográficos pode ser dificultado pelo planejamento e ajustes imprecisos, movimento do guia durante a operação cirúrgica e

dificuldades de densidade óssea que podem exigir alterações de angulação durante a colocação⁸. Acontece que as imprecisões nas guias normalmente não são descobertas até à altura da cirurgia ou só após os implantes terem sido colocados.

A cirurgia por navegação dinâmica (ou “virtual”) é relativamente comum em várias áreas da medicina, como a cirurgia craniomaxilofacial, neurocirurgia e cirurgia à coluna/ortopédica¹⁹⁻²⁰. Os sistemas de navegação cirúrgica são possíveis devido à tecnologia de monitorização de movimento, comumente chamada de câmara micron tracker¹⁹⁻²⁰. Essa tecnologia está agora também disponível em medicina dentária.

Na medicina dentária, a colocação de implantes é possível usando a navegação dinâmica porque a câmara micron tracker é capaz de relacionar a posição do maxilar do paciente com a posição da ponta da broca de implante em tempo real. A relação entre a broca e o maxilar é exibida instantaneamente, permitindo *feedback* contínuo e imediato nas posições mesiodistais, bucolinguais e apicocoronais da broca do implante (Figura 1). As três etapas fundamentais, que juntas permitem o mapeamento em tempo real da ponta da broca para o volume de imagem CBCT planejado do paciente, são chamadas de registo, calibragem e monitorização. (Figura 2). O cirurgião é, assim, capaz de preparar a osteotomia e colocar o implante com base na posição préplaneada do implante proteticamente dirigido.

Existem várias vantagens desta abordagem em comparação com o uso de guias estáticos: podem ser feitas mudanças durante a cirurgia, a tecnologia pode ser usada com um kit cirúrgico universal para qualquer sistema de implante, a

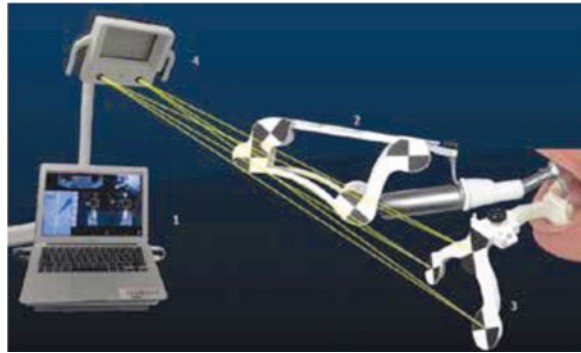


Fig.1. O sistema de navegação descrito consiste num computador portátil (1) e um sensor ótico de posicionamento (4) suportado por um braço articulado estendido de um carrinho compacto móvel (não mostrado). O sensor ótico de posicionamento (*micron tracker*) (4) deteta e triangula alvos axadrezados marcados no marcador de broca (2) e no marcador da maxilar (3), oferecendo *feedback* instantâneo durante a operação.

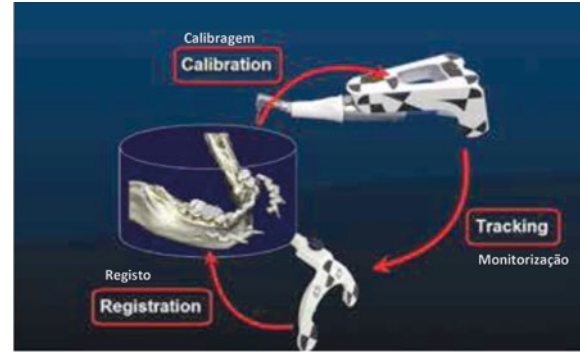


Fig. 2. Os três passos de mapeamento de coordenação que, quando encaixados, mapeiam a ponta da broca com o volume de imagem por CBCT.



Fig. 2. Os três passos de mapeamento de coordenação que, quando encaixados, mapeiam a ponta da broca com o volume de imagem por CBCT.

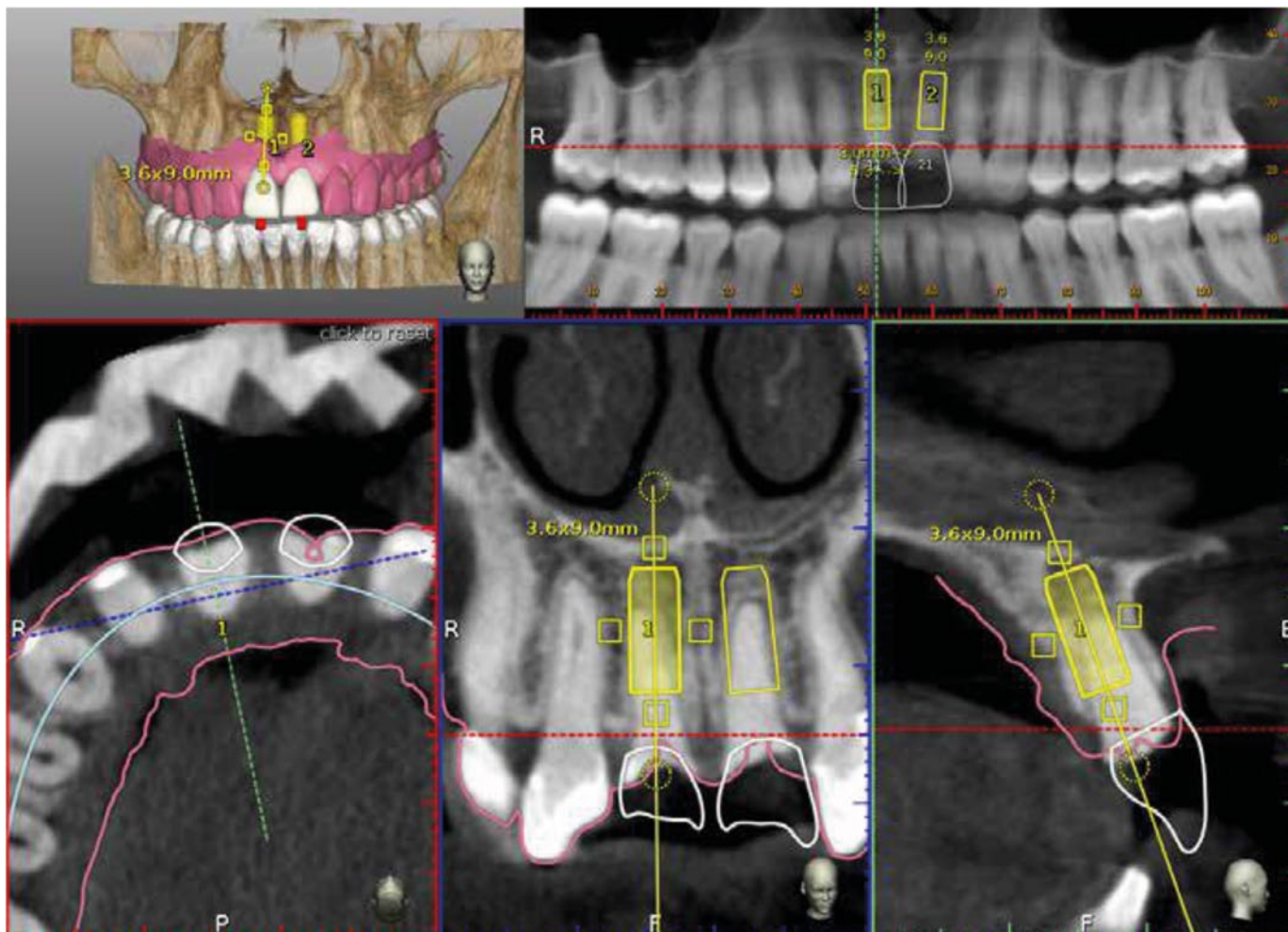


Fig. 4. O software de planeamento é mostrado. O ficheiro STL do arco maxilar foi importado da digitalização ótica e combinado com a visualização da anatomia regional dos tecidos moles. O fiducial de alumínio do marcador da CT pode ser observado na visão axial. Dentes virtuais foram aplicados nas posições 1.1 e 2.1 e o caso foi planeado para uma colocação de implante proteticamente guiada numa plataforma de navegação dinâmica.

navegação cirúrgica pode ser realizada num dia (se as circunstâncias o permitirem), e o custo de construção de um guia estático é eliminado. Além disso, quando comparada com abordagens de mão livre, a orientação permite uma redução do dano no tecido mole, com a consequente diminuição do risco de infeção, desconforto do paciente e tempo de cicatrização do tecido mole. Para a cirurgia de implantes dentários, a tecnologia de navegação dinâmica permite a verificação e validação em tempo real da precisão posicional. O objetivo deste artigo é apresentar e discutir a navegação dinâmica e apresentar um caso que usa a tecnologia

Visão Geral do Sistema de Navegação Dinâmica

Os sistemas de navegação dinâmica monitorizam a posição da ponta da broca do implante e mapeiam-na para uma tomografia computadorizada (CBCT) pré-adquirida do maxilar do paciente para fornecer orientação / *feedback* da perfuração e posicionamento em tempo real²¹. Quando a broca se aproxima da localização pré-planeada do implante, o sistema fornece uma imagem de uma “cruz” ou de um “alvo” para ajudar o cirurgião a navegar de forma precisa para a posição planeada de entrada da broca, a ajustar a orientação de perfuração ao ângulo planeado e a navegar o sítio da osteotomia ao longo da trajetória planeada para a profundidade planeada²². Uma vez completa a osteotomia, a mesma abordagem pode ser utilizada para guiar a inserção do implante.

O sistema de navegação dinâmica aqui descrito é o sistema Navident (ClaroNav, claronav.com). Outros sistemas de navegação dinâmica idênticos incluem o XGuide Dynamic 3D Navigation (X-Nav, x-navtec.com), Sistema de Odontologia de Implante Guiado por Imagem (IGI) (Image Navigation, image-navigation.com), YOMI® (Neocis, neocis.com), e Inliant® (Navigate Surgical, navigatesurgical.com). Os sistemas Navident, X-Guide, IGI e Yomi são aprovados pela FDA (sigla em inglês de Food and Drug Administration) dos EUA. O sistema de navegação Navident consiste em cinco componentes principais (Figura 1)²: (1) um computador portátil corre o software do sistema e fornece funcionalidades de planeamento e navegação integradas; (2) Uma fixação para o contra-ângulo que consiste num adaptador que abraça o contra-ângulo e num componente plástico marcado óticamente, chamado de “marcador de contra-ângulo”; (3) Uma peça de fixação ao maxilar que consiste num stent termoplástico moldável que é colocado diretamente na dentição natural do paciente (ex. goteira) com um braço da goteira estendido para além do corpo da goteira. O marcador fiducial fixado na goteira age como um marcador para a CT e permite o registo espacial do paciente em relação com a fixação no maxilar. Esta mesma goteira é usada durante a cirurgia de implante, mantendo a mesma relação com o CBCT que foi obtido e usado para o planeamento do caso.(4) Um sensor ótico de posicionamento (ex. câmara micron tracker) deteta padrões impressos nos marcadores do contra-ângulo e do maxilar e reporta constantemente ao software

de sistema dinâmico as suas posições relativas. Isto permite ao cirurgião referenciar intraoperatoriamente e, em tempo real, verificar e validar a precisão posicional. (5) Um carrinho móvel e compacto (não mostrado na Figura 1) suporta o computador portátil e posiciona o sensor ótico por cima do paciente.

Fluxo de trabalho: Stent, Digitalização, Planeamento e Colocação

O sistema de navegação aqui descrito tem um fluxo de trabalho digital que envolve quatro passos principais:

Stent – uma goteira termoplástica é moldada à volta da dentição, é deixada a endurecer e depois retirada e cortada para dar acesso à área de implantação pretendida. O braço da goteira é feito do mesmo material termoplástico e inclui uma placa de fixação na ponta, que é presa ao marcador da CT através de um parafuso. O marcador da CT tem incorporado um marcador fiducial em alumínio que pode ser identificado no CBCT. A placa de fixação é a referência comum de posicionamento entre a digitalização por CBCT e a cirurgia em que algoritmos matemáticos podem ser calculados para que o posicionamento espacial seja reconhecido pelo sistema. Quando fixado com o parafuso, o marcador da CT fica rigidamente preso à goteira. A goteira termoplástica e o braço são fixados com uma cola adesiva (Figura 3).

Digitalização – O marcador da CT, o *stent* termoplástico e o braço da goteira com um mecanismo de placa de fixação são fixados e a sua acomodação é verificada. Depois, apenas um maxilar é digitalizado usando um digitalizador CT (Figura 3).

Planeamento – A informação da imagem em formato Comunicação de Imagem Digital em Medicina (DICOM-sigla em inglês) é importada para o sistema de navegação por transferência utilizando a rede local. É feito um registo (automaticamente) da imagem fiducial na digitalização por CT e é neste ponto verificado pelo utilizador. Os ficheiros STL de cada dentição ou das próteses de diagnóstico podem ser importados por digitalização ótica para planeamento do tratamento direcionado para a prótese (figura 4). Dentes virtuais são colocados e ajustados para simular a restauração desejada e os implantes são colocados de acordo com o planeamento protético. A fase de planeamento ocupa tempo, mas o cirurgião tem a oportunidade de modificar o planeamento durante a operação se o ambiente cirúrgico assim o exigir.

Colocação – O plano de visualização do computador portátil é posicionado sobre o paciente. A goteira termoplástica personalizada é agora fixada a um marcador ótico (ex. marcador de maxilar) que substitui o marcador da CT. O marcador de maxilar é preso à placa de fixação do braço da goteira através de um parafuso. A segunda componente do marcador ótico (ex. marcador de perfuração) é montada no contra-ângulo, o eixo da broca é calibrado e aí a primeira broca da

sequência é instalada no contra-ângulo e o seu comprimento (ponta) é calibrado (Figura 5). Cada broca de perfuração para a preparação da osteotomia é calibrada individualmente antes da sua utilização, seguido de um teste de precisão antes da perfuração. A osteotomia é realizada utilizando o sistema de navegação dinâmica.

O movimento do contra-ângulo é monitorizado pela posição do paciente. Durante a perfuração o operador consegue ter vistas axiais, panorâmicas e transversais em tempo real à medida que o caso progride. Uma visão em tempo real de “cruzes” ou “alvos” fornece distâncias em milímetros entre a ponta da broca e o eixo central, o ângulo de perfuração em relação com o comprimento central do eixo e a distância (em milímetros) entre a ponta da broca e a extremidade apical da osteotomia planeada (Figura 6).

Enquanto o cirurgião observa o monitor do computador em vez de se focar na anatomia do paciente, o campo cirúrgico está aberto a uma melhor visibilidade do tratamento, comparando com os guias estáticos. A calibração da ponta da broca e as verificações da precisão são repetidas a cada mudança de tamanho de broca. O cirurgião realiza verificações de calibração intraorais ao tocar em pontos de referência anatómicos rígidos, tais como a superfície dos dentes próximos, com a ponta da broca de osteotomia. Se a precisão mostrada pelo software for insuficiente, o cirurgião pode analisar para encontrar e eliminar a fonte da imprecisão, seguindo um procedimento sistemático. Se o problema não puder ser resolvido, a cirurgia pode ser abortada ou as fases de imagiologia CBCT e de planeamento podem ser repetidas. A vantagem desta tecnologia é a verificação e validação em tempo real do ponto de entrada do implante, angulação e profundidade, que podem ser assegurados para uma transparência instantânea (ex. responsabilidade cirúrgica).

Fontes de Erros-Guia

Podem aparecer erros entre a ponta da broca e o mapeamento das imagens por CT em qualquer etapa do fluxo de trabalho devido a ligeiras imprecisões no sistema de navegação dinâmica ou associados ao uso da tecnologia (ex. tolerâncias de fabrico, distorção do *stent*, calibração imprecisa, movimento do paciente durante o processo de digitalização por CT, assentamento instável do aplique de mandíbula, dobra dos braços ou dos conectores durante a cirurgia). Os operadores devem prestar a máxima atenção durante o processo para minimizar os erros que podem comprometer a precisão definitivamente. Apesar da extraordinária deteção de precisão do sistema de navegação, o controlo do cirurgião (ou habilidade em direcionar o contra-ângulo) é inerentemente imperfeita. Desafios relacionados com a coordenação entre a visão e a mão e com o perfeito controlo motor sob situações cirúrgicas stressantes podem influenciar os resultados individuais. Além disso, operar com um contra-ângulo standar d à mão livre sem um guia de controlo estático ou o sistema de navegação dinâmico aumenta os elementos de erro dependentes do operador.



Fig. 5. Ponta de broca de implante a ser calibrada antes da preparação do sítio da osteotomia ao colocá-la no orifício do marcador de mandíbula.

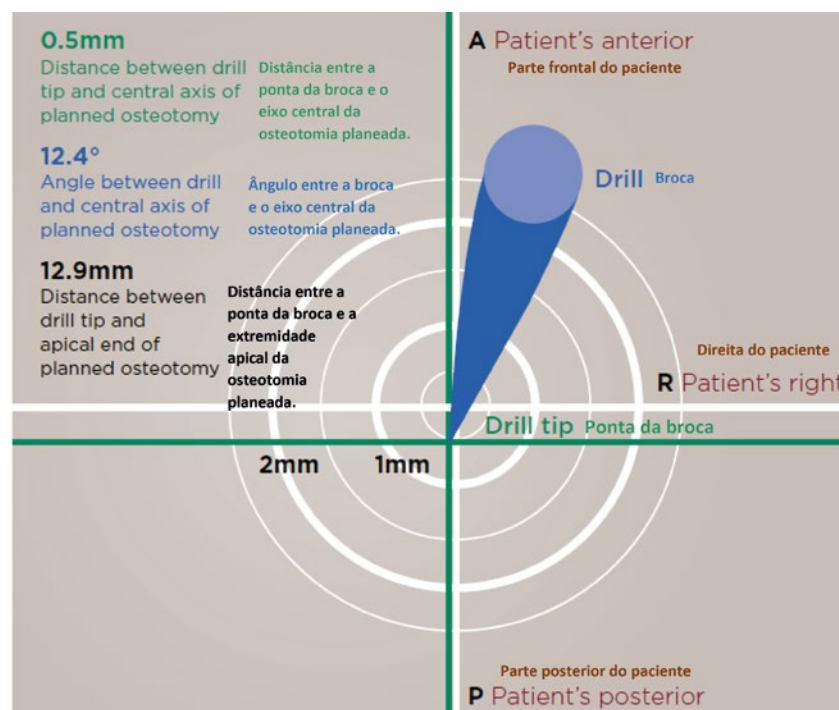


Fig. 6. A vista do alvo usando o sistema de cirurgia por navegação dinâmica que contém toda a informação que o clínico necessita para guiar a osteotomia e o implante.



Fig. 7. Avaliação inicial dos incisivos centrais não restauráveis e apresentação clínica.

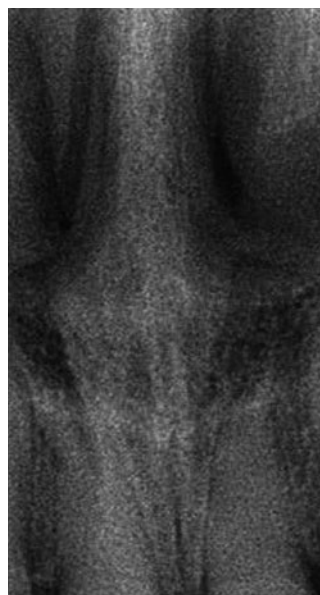


Fig. 8. Radiografia dos incisivos centrais não restauráveis.



Fig. 9. Navegação cirúrgica dinâmica, demonstrando a colocação do implante imediato sem oscilação. Foram colocados "smart pegs" para mostrar o posicionamento dos implantes.

Relato de Caso

Uma mulher caucasiana de 29 anos de idade apresentou-se na clínica do autor (GAM) para uma avaliação dos dentes 1.1 e 2.1. Os dentes estavam fraturados horizontalmente pelo colo e tinham calcificação da polpa (Figura 7 e Figura 8). O historial médico da paciente era significativo em termos de problemas de refluxo gastroesofágico, enxaquecas, narcolepsia, hiperatividade com défice de atenção e depressão. Não tinha nenhuma alergia medicamentosa conhecida nem idiosincrasias medicamentosas e tinha uma classificação de ASA II.

Foi realizada uma avaliação periodontal completa. Uma goteira termoplástica e braço foram fabricados para a paciente com o marcador fiducial (marcador da CT) acoplado à placa de fixação. Foi tido grande cuidado na colocação do *stent* termoplástico para assegurar um assentamento adequado. Foi obtida uma digitalização por CBCT (CS9300, Carestream Dental, carestreamdental.com) do maxilar e a informação DICOM foi registada no software de planeamento.

A cirurgia foi realizada sob anestesia loco-regional. A goteira termoplástica foi colocada sobre os restantes dentes e a sua estabilidade/assentamento foram verificados. Foi realizada a extração atraumática dos dentes 1.1 e 2.1 e foi verificado o osso vestibular intacto. Foi imediatamente realizada a preparação da osteotomia e colocação dos implantes, usando o sistema de navegação dinâmica. Foram colocados dois implantes de 3.6 mm x 9 mm (Astra Tech EV, Dentsply Sirona, dentsplysirona.com). Foram fixados “SmartPegs” (Osstell, osstell.com) aos implantes para mostrar o posicionamento do implante. Depois de colocados os implantes, foi usada matriz óssea inorgânica de bovino (Bio-Oss®, Geistlich Pharma, geistlich-na.com) como enxerto para preencher o espaço alveolar e colocados pilares de cicatrização (Figura 9 e Figura 10). Foram colocados dentes provisórios removíveis.

Foi realizado um CBCT após a colocação que foi comparado com o CBCT pré-operatório usando um software inerente ao sistema de navegação dinâmica (Figura 11). Os resultados da precisão neste caso (plano pré-operatório comparado com o posicionamento pós-implante) foram os seguintes: o ponto de desvio da entrada foi de 0.13 mm para o dente 1.1 e 0.41 mm para o 2.1; o desvio do eixo de profundidade do implante foi de 1.10mm para o 1.1 e 1.37 mm para o 2.1.

Aos 3 meses, a osseointegração foi confirmada e foram usadas próteses provisórias aparafusadas para remodelação dos tecidos moles. A fase de conclusão da prótese definitiva ocorreu 6 meses depois (Figura 12).

Discussão

A tecnologia de imagiologia transformou o campo da implantologia oral e levou a melhorias significativas da precisão e maior previsão dos resultados protéticos²³. Uma revisão sistemática demonstrou que, em média, a cirurgia de implantes guiada por CT com guias estáticos tem à volta de 1 mm de desvio do ponto de entrada e 5 graus de discrepância

do ângulo, quando comparada com os planos de tratamento. Contudo, outra revisão sistemática também demonstrou que grandes padrões de desvio também existem (que vão até 7.5mm de desvio para o ponto de entrada e mais de 15 graus de discrepância de ângulo)^{23,24}. A cirurgia com guia estático tem imensos desafios, muitos dos quais envolvem quer erros de planeamento quer erros iatrogénicos que ocorrem durante a cirurgia. Certas situações clínicas, tais como a limitação da abertura da boca ou limitações de espaço interdentário podem impedir o uso de guias cirúrgicos estereolitográficos. Estes tipos de limitação não se aplicam à cirurgia por navegação dinâmica.

Como os guias estereolitográficos estáticos não fornecem referência sobre a posição do dente, muitas imprecisões são detetadas depois da cirurgia. A navegação dinâmica oferece a capacidade de verificar e validar em tempo real a precisão posicional do sítio de preparação da osteotomia e da colocação do implante.

Além disso, a navegação em tempo real permite editar o planeamento durante a cirurgia. Como o campo operatório é totalmente visualizado e sem restrições, podem ser implementadas alterações ao posicionamento ou dimensão do implante quando a anatomia regional exige modificações não previstas durante a fase de planeamento. A colocação inapropriada de implantes tem sido repetidamente observada como um fator das falhas estéticas e/ou perda de osso marginal^{25,26}.

No presente relato de caso, onde a cirurgia foi realizada enquanto os autores estavam ainda numa curva de aprendizagem com a navegação dinâmica, os desvios do ponto de entrada para os dentes das posições 1.1 e 2.1 foram de 0.13 mm e 0.41 mm, respetivamente, e as respetivas discrepâncias de ângulo foram de 4.3 e 6.76 graus.

Block et al. (2017)²⁷ demonstraram que a navegação dinâmica tem potencial para melhorar as medidas de precisão, comparando com os guias estáticos, mas para isso, em média, o clínico terá de realizar pelo menos 20 casos usando a tecnologia antes de a curva de aprendizagem estar dominada²⁷. Isto é encorajador, considerando que outras disciplinas médicas reportam uma curva de competência que vai de 60 a 500 casos, dependendo da subespecialidade cirúrgica^{27,28}. Tal como a introdução da cirurgia guiada em 2002, a precisão e resultados de sucesso são largamente proporcionais ao planeamento e experiência.

Numa recente publicação de Stefanelli et al. (2019)²⁹, foram obtidos dados de 231 implantes em rebordos cicatrizados usando uma abordagem sem oscilação ou com oscilação mínima sob orientação dinâmica de um único cirurgião que usou o mesmo sistema de navegação aqui descrito. Dos 89 arcos operados, 28 (125 implantes) eram edêntulos. Para todos os implantes, os desvios padrão (standard deviation) foram de: 0.71 (0.40) mm para o ponto de entrada (lateral) e 1 (0.49) mm no eixo. A média de dis-

crepância do ângulo foi de 2.26 graus (1.62 graus) em relação às posições planeadas para os implantes. As medidas de precisão para pacientes parcialmente edêntulos usando um *stent* termoplástico, e para pacientes totalmente edêntulos, usando um *aplique* com uma base de mini implante, eram quase idênticas. Não foram encontradas diferenças de precisão entre os posicionamentos dos implantes dentro dos diferentes sextantes.

A inserção guiada do implante por si só reduziu os desvios de localização angular e de eixo. O mais interessante é que a precisão da colocação do implante melhorou durante o período do estudo, com a média de ponto de entrada, desvio de eixo e discrepância geral de ângulo medidos nos últimos 50 implantes (0.59 mm, 0.85 mm e 1.98 graus, respetivamente) a serem melhores quando comparados com os primeiros 50 implantes (0.94 mm, 1.19 mm e 3.48 graus, respetivamente)²⁹.

Enquanto que o presente relato de caso demonstra o uso de um marcador fiducial e de um *stent* em termoplástico, as futuras aplicações da cirurgia por navegação dinâmica planeiam envolver o uso de tecnologia de mapeamento com registo de monitorização (TR-sigla em inglês). Com a TR, as estruturas existentes que são rigidamente fixadas no maxilar do paciente (tais como como a dentição natural ou implantes existentes) podem servir de fiduciais naturais para o registo de imagiologia por CBCT pelo software de navegação. Isto elimina a necessidade de um *stent* termoplástico ou de uma digitalização por CBCT especializada com um marcador fiducial artificial de metal capturado no espaço durante a imagiologia por CBCT. A imagiologia de diagnóstico por CBCT pode ser usada para o planeamento e cirurgia por navegação, assim simplificando o processo de fluxo de trabalho.

Contudo, como a câmara *micron tracker* tem de ser capaz de monitorizar o paciente durante a cirurgia, um marcador referido como “rastreador de maxilar” tem de estar ligado ao maxilar que está a ser operado. Como a maxila é um osso estático em relação ao crânio, o paciente pode usar uns óculos especiais que se inclinam contra o dorso do nariz e as orelhas e que contêm um marcador. Contudo, na mandíbula, que é um osso dinâmico, um marcador de referência tem de ser fixado à dentição (ou à mandíbula em si) como método de rastrear o posicionamento. A tecnologia TR no maxilar é conseguida por fixação com compósito de resina dual do rastreador de maxilar (que consiste num marcador de maxilar e um fio dobrável em aço inoxidável) na coroa dos dentes naturais ou no pilar. Espera-se que o uso futuro da tecnologia TR simplifique e agilize o processo do fluxo de trabalho na navegação dinâmica e facilite a adoção de arsenal terapêutico de tecnologia de navegação pelas clínicas privadas para a colocação de implantes.

A navegação dinâmica para os implantes dentários está ainda a dar os primeiros passos, mas fornece algumas vantagens distintas em relação à cirurgia de mão livre ou com



Fig. 10. Pilares de cicatrização a serem colocados e espaços de implantes/alvéolos foram tratados com a colocação de osso inorgânico bovino.

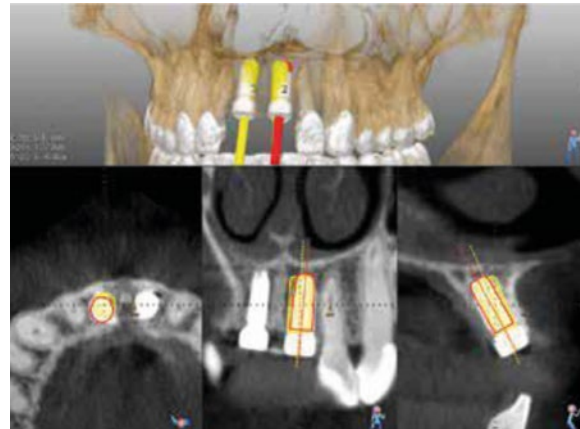


Fig. 11. Digitalizações por CBCT pré e pós colocação, combinadas com os dados DICOM e avaliação de precisão para a posição 1.1. A delimitação a amarelo dos implantes representa a posição planeada do implante enquanto que a delimitação vermelha mostra o verdadeiro resultado do posicionamento do implante.



Fig. 12. Resultado protético final.

“A navegação em tempo real permite editar o plano durante a cirurgia. Como o campo operatório é totalmente visualizado e sem restrições, podem ser implementadas alterações ao posicionamento ou dimensão do implante quando a anatomia regional exige modificações imprevistas durante a fase de planeamento”

guia estático. Como qualquer aplicação de uma tecnologia evolui geralmente no tempo e inovação, a navegação dinâmica tem um futuro promissor. É necessária mais investigação com uma variedade de aplicações clínicas e ensaios clínicos aleatorizados e em ocultação para demonstrar a eficácia do cuidado ao paciente.

Por último, a tecnologia por navegação dinâmica oferece uma modalidade de documentação medico-legal e um nível de responsabilidade cirúrgica sem precedentes para garantir que os resultados cirúrgicos proteticamente guiados são atingidos. Isto deve-se em grande parte à capacidade do sistema de navegação de registar e guardar as imagens e vídeos cirúrgicos. Esta abordagem também garante o conceito de “responsabilidade colaborativa”⁵. Como em qualquer modalidade de tratamento que adianta cuidado ao paciente, a tecnologia, contudo, não é substituta do discernimento e experiência sólidos, nem pode nem deve minar os princípios biológicos da cirurgia e/ou a adequada tomada de decisão para as dinâmicas previsíveis de tratamento.

Conclusão

Muitos fatores contribuem para o sucesso do implante, com o posicionamento 3D a emergir como, o mais crítico.

A navegação dinâmica é um avanço promissor na cirurgia guiada por CBCT para ajudar na melhoria da precisão. A capacidade de conseguir uma verificação e validação em tempo real da pre- cisão do posicionamento apresenta grande potencial e pode aumentar a transparência cirúrgica e de responsabilidade para otimizar os resultados em cirurgias orais de colocação de implantes. ■

Os autores gostariam de reconhecer e agradecer a Christopher K. Ching DDS, de Glenview, Illinois, pela sua colaboração e experiência em próteses neste caso.

Tradução do texto original “Dynamic Navigation for Surgical Implant Placement: Overview of Technology, Key Concepts, and a Case Report” por Cláudia Vale. Revista por Dr. Ricardo Henriques

¹Professor Adjunto Assistente Clínico, Departamento de Licenciatura em Periodontia da Universidade de Illinois, Faculdade de Odontologia, Chicago, Illinois; Clínica Privada, Chicago, Oakbrook Terrace e Park Ridge, Illinois.
²Professor, mestre de nível dois em cirurgia de implantologia e mestre de grau dois em prótese, Universidade Sapienza de Roma, Roma, Itália; Clínica Privada, cirurgia de implantes e prótese dentária, Roma, Itália.
³Clínica Privada, Chicago, Oakbrook Terrace e Park Ridge, Illinois.
 Questões ao autor sobre este assunto devem ser submetidas para: authorqueries@aegiscomm.com

Referências Bibliográficas

- Brånemark PI, Adell R, Breine U, et al. Intra-osseous anchorage of dental prostheses. I. Experimental studies. *Scand J Plast Reconstr Surg.* 1969;3(2):81-100.
- Mecall RA, Rosenfeld AL. Influence of residual ridge resorption patterns on fixture placement and tooth position. 1. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 1991;11(1):8-23.
- Mecall RA, Rosenfeld AL. The influence of residual ridge resorption patterns on implant fixture placement and tooth position. 2. *Resurgical determination of prosthesis type and design.* *Int J Periodontics Restorative Dent.* 1992;12(1):32-51.
- Mecall RA, Rosenfeld AL. Influence of residual ridge resorption patterns on fixture placement and tooth position. Part III. *Presurgical assessment of ridge augmentation requirements.* *Int J Periodontics Restorative Dent.* 1996;16(4):322-337.
- Rosenfeld AL, Mandelaris G A, Tardieu PB. Prosthetically directed implant placement using computer software to ensure precise placement and predictable prosthetic outcomes. Part 1: diagnostics, imaging, and collaborative accountability. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2006;26(3):215-221.
- Rosenfeld AL, Mandelaris G A, Tardieu PB. Prosthetically directed implant placement using computer software to ensure precise placement and predictable prosthetic outcomes. Part 2. rapid prototype medical modeling and stereolithographic drilling guides requiring bone exposure. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2006;26(4):347-353.
- Rosenfeld AL, Mandelaris G A, Tardieu PB. Prosthetically directed implant placement using computer software to ensure precise placement and predictable prosthetic outcomes. Part 3. stereolithographic drilling guides that do not require bone exposure and the immediate delivery of teeth. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2006;26(5):493-499.
- Mandelaris G A, Rosenfeld AL, King S, Nevins M L. Computer guided implant dentistry for precise implant placement: combining specialized stereolithographically generated drilling guides and surgical implant instrumentation. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2010;30(3):275-281.
- Mallaya SM, White SC. The nature of ionizing radiation and risks from maxillofacial cone beam computed tomography. In: Sarment D, ed. *Cone Beam Computed Tomography: Oral and Maxillofacial Diagnosis and Applications.* Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc; 2014:25-41. COMPENDIUM Outubro 2018 www.compendiumlive.com Volume 39, Número 9
- Jacobson M W. Technology and principles of cone beam computed tomography. In: Sarment D, ed. *Cone Beam Computed Tomography: Oral and Maxillofacial Diagnosis and Applications.* Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc; 2014:1-24.
- Tyndall DA, Brooks SL. Selection criteria for dental implant site imaging: a position paper of the American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol. Endod.* 2000;89(5):630-637.
- Rios HF, Borgnakke WS, Benavides E. The use of cone-beam computed tomography in management of patients requiring dental implants: an American Academy of Periodontology best evidence review. *J Periodontol.* 2017;88(10):946-959.
- Mandelaris G A, Scheyer ET, Evans M , et al. American Academy of Periodontology best evidence consensus statement on selected oral applications for cone-beam computed tomography. *J Periodontol.* 2017;88(10):939-945.
- Sarment DP, Al-Shammari K, Kazor CE. Stereolithographic surgical templates for placement of dental implants in complex cases. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2003;23(3):287-295.
- Sarment DP, Sukovic P, Clinthorne N . Accuracy of implant placement with a stereolithographic surgical guide. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2003;18(4):571-577.
- Tardieu P, Vrielinck L. Implantologie assistée par ordinateur: le programme SimPlantSurgiCase™ et le SAFE System™. Cas clinique: Mise en charge immédiate d'un bridge mandibulaire avec des implants transmuqueux. *Implant.* 2003;19:15-28.
- Testori T, Robiony M , Parenti A, et al. Evaluation of accuracy and precision of a new guided surgery system: a multicenter clinical study. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2014;34(suppl 3):559-569.
- Pikos M A, Magyar CW, Llop DR. Guided full-arch immediate function treatment modality for the edentulous and terminal dentition patient. *Compend Contin Educ Dent.* 2015;36(2):116-128.
- Luebbers HT, Messmer P, Obwegeser JA, et al. Comparison of different registration methods for surgical navigation in craniomaxillofacial surgery. *J Craniomaxillofac Surg.* 2008;36(2):109-116.
- Jayarathne Y S, Zwahlen RA, Lo J, et al. Computer-aided maxillofacial surgery: an update. *Surg Innov.* 2010;17(3):217-225.
- Block M S. Static and dynamic navigation for dental implant placement. *J Oral Maxillofac Surg.* 2016;74(2):231-233.
- Somogyi-Ganss E, Holmes HI, Jokstad A. Accuracy of a novel prototype dynamic computer-assisted surgery system. *Clin Oral Implants Res.* 2015;26(8):882-890.
- Jung RE, Schneider D, Ganeles J, et al. Computer technology applications in surgical implant dentistry: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2009;24 suppl:92-109.
- Schneider D, Marquardt P, Zwahlen M , Jung RE. A systematic review on the accuracy and the clinical outcome of computer-guided template based implant dentistry. *Clin Oral Implants Res.* 2009;20 suppl 4:73-86.
- Monje A, Galindo-Moreno P, Tözüm TF, et al. Into the paradigm of local factors as contributors for peri-implant disease: short communication. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2016;31(2):288-292.
- Cosyn J, Hooghe N , De Bruyn H. A systematic review on the frequency of advanced recession following single immediate implant treatment. *J Clin Periodontol.* 2012;39(6):582-589.
- Block M S, Emery RW, Cullum DR, Sheikh A. Implant placement is more accurate using dynamic navigation. *J Oral Maxillofac Surg.* 2017;75(7):1377-1386.
- Block M S, Emery RW, Lank K, Ryan J. Implant placement accuracy using dynamic navigation. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2017;32(1):92-99.
- Stefanelli V L, DeGroot BS, Lipton DI, Mandelaris G A. Accuracy of a dynamic dental implant navigation system in a private practice. *Int J Oral Maxillofac Implants.* In press.