

Cornelia Edelmann, Martin Wetzel, Sigmar Schnutenhaus

Dynamische Navigation: Klinische Aspekte der dynamischen Navigation

Übersicht und Kasuistik



INDIZES

computerassistierte Chirurgie, dynamische Navigation, Echtzeit-Navigation, dentale Implantate

ZUSAMMENFASSUNG

Dentale Implantate können anhand von dreidimensionalen Daten der Hart- und Weichgewebe vor dem chirurgischen Eingriff virtuell hinsichtlich einer prothetisch optimalen Lage geplant werden. Durch dynamische Navigationsverfahren wird deren Position anschließend auf die klinische Situation am Patienten übertragen. Zu den Vorteilen der dynamischen Navigation gegenüber der schablonengeführten Navigation zählen die Kompatibilität mit verschiedenen Implantatsystemen, die Unabhängigkeit von speziellen Bohrsystemen, das Implantieren unter Sicht, die Möglichkeit, intraoperative Änderungen unkompliziert vornehmen zu können, und die erleichterte Navigation in distalen Arealen. Die Ergebnisse der computergestützten dynamischen Navigation sind mit den Ergebnissen der statischen Navigation vergleichbar. Mindestabstände zu gefährdeten anatomischen Strukturen sind bei allen Verfahren der geführten Implantatinserterion einzuhalten. Eine ausgeprägte Lernkurve und das Vermeiden möglicher Fehlerquellen bei der Datenerhebung und bei der Übertragung der Implantatposition, wie zum Beispiel Patientenbewegungen, inkorrekte Positionierung der Referenzmarker oder fehlerhafte Zuordnung der Referenzmarker im Implantatplanungsprogramm, sind zu beachten. In diesem Beitrag werden die theoretischen Aspekte der dynamischen Navigation und die klinische Anwendung anhand von zwei Behandlungsfällen eingehend beleuchtet.

Manuskripteingang: 16.05.2021, Annahme: 22.08.2021

Einleitung

Die möglichst natürliche, funktionelle und ästhetische Wiederherstellung des Kauorgans nach Zahnverlust ist das Ziel jeder implantatprothetischen Versorgung¹. Unabdingbar sind dabei einerseits die Schonung aller anatomischen Nachbarstrukturen und gleichzeitig das Anstreben eines für die weitere prothetische Versorgung günstigen Austrittspunktes des Implantats in Position und Höhe. Andererseits gilt es, den vorhandenen Knochen des Alveolarfortsatzes optimal zu nutzen, da eine

ausreichende knöcherne Situation um das Implantat von entscheidender Bedeutung für den Langzeiterfolg des Implantats ist^{2,3}. Weitere entscheidende Aspekte, wie zum Beispiel die Abstände zwischen den Implantaten, den Implantaten und deren Nachbarzähnen⁴, die Weichgewebesituation⁵ oder die Lage des Zementspalts⁶, sind zu berücksichtigen. Mithilfe einer prothetisch orientierten Planung kann ein optimales und vorher-sagbares Ergebnis erzielt werden⁷. Die Umsetzung der prothetisch orientierten dreidimensionalen Planung kann mit geführten Implantationsverfahren

erfolgen¹. Eine Untersuchung mit einem Nachuntersuchungszeitraum von einem Jahr zeigte, dass computerassistierte Verfahren keinen Einfluss auf die Implantatüberlebensrate im Vergleich zu konventionellen Verfahren haben⁸.

Potenziell schwerwiegende chirurgische Komplikationen wie die Verletzung von anatomischen Strukturen (z. B. von Nerven, Gefäßen oder des Sinus maxillaris) können reduziert werden⁹. Computerassistierte Implantationen stellen eine vorteilhafte Behandlungsoption bei zahnlosen Patienten dar, sofern ein Vorgehen ohne die Bildung eines Mukoperiostlappens (flapless) geeignet ist¹⁰. Gargallo-Albiol et al. zeigten in einem systematischen Review, dass ein Vorgehen ohne Lappenbildung den Patientenkomfort deutlich steigert. Die Patienten haben weniger Schmerzen, eine geringere Schwellung im Operationsgebiet, nehmen weniger Schmerzmittel ein und zudem verringert sich die Operationsdauer¹¹.

Die dreidimensionale Planung bildet die Grundlage für computerassistierte Implantationen. Bei diesen wird anhand von dreidimensionalen computertomografischen (CT) oder digitalen volumetomografischen (DVT) Daten die anatomische Situation der Implantatregion mit dem digitalisierten prothetischen Planungsziel zusammengeführt¹. Die Umsetzung einer digitalen Implantatplanung kann mit computerassistierten Verfahren realisiert werden¹².

Ein etabliertes Verfahren stellt die statische Navigation mit der Verwendung von Bohrschablonen dar¹³. Durch dieses Verfahren können eine klinisch ausreichende Genauigkeit und prothetisch vorhersagbare Ergebnisse erzielt werden^{11,14}.

Neben den statischen Verfahren gibt es des Weiteren auch dynamische computerassistierte chirurgische Verfahren zur Übertragung der dreidimensionalen Planung auf die klinische Patientensituation¹. Dabei kann der Operateur während der Implantatbettaufrbereitung und Implantatinsertion die dreidimensionale Position der Instrumente in Echtzeit auf einem Bildschirm verfolgen und entsprechend der Planung navigiert implantieren¹⁵. Ermöglicht wird dies durch optische Trackingsysteme, welche definierte Referenzmarker erkennen¹⁶. Zur intraoralen Referenzierung werden Referenzmarker,

beispielsweise an den Zähnen, am Knochen oder an der Mukosa, fixiert im Patientenmund angebracht. Extraorale Referenzmarker können am Kopf des Patienten oder auch im Operationsaal angebracht werden. Die Marker müssen sich im Blickwinkel der Kamera befinden, die zumeist auf dem chirurgischen Handstück angebracht ist. Die dynamische Navigation wurde in den letzten Jahren durch die Weiterentwicklung der Computertechnologie – und damit verbunden computergestützter Verfahren – vermehrt klinisch eingesetzt¹.

In diesem Beitrag wird eine Einführung in die dynamisch navigierte Implantation gegeben. Mögliche Vor- und Nachteile, erste Ergebnisse zur Genauigkeit sowie zu den Voraussetzungen für die dynamische Navigation werden beleuchtet. Die klinischen Aspekte der dynamischen Navigation sowie das Vorgehen werden anhand von zwei klinischen Fällen dargestellt.

Material und Methode

Eine elektronische Literatursuche der MEDLINE-(PubMed)-Datenbank wurde am 05. März 2021 mit folgendem Suchterm durchgeführt: (((((((((((((((((((dental implantation[MeSH Terms]) OR dental implant[MeSH Terms]) AND dental navigation) OR computer aimed dental implant) OR three dimensional dental planning) OR 3D dental planning) OR computer assisted dental implant) OR guided dental implant placement) OR dental surgical template) OR dental guided surgery) OR dental surgical guide) OR guided dental implant placement) AND ((dynamic) OR (robot*))). Es erfolgte eine exemplarische Betrachtung und Bewertung der Studien.

Ergebnisse

Mögliche Vorteile und Indikationen einer dynamischen Navigation

Die Navigation in der Implantologie bietet eine Reihe von Vorteilen. Durch die dreidimensionale Behandlungsplanung sind eine umfassende Dia-

gnose der vorliegenden Situation sowie die klinische Umsetzung der geplanten Implantatposition am Patienten mit vorhersagbarem prothetischen Ergebnis möglich¹⁷. Die dynamische Navigation weist im Vergleich zur statischen Navigation verschiedene Vorteile auf. Durch die „open-sourced“ Systeme können für die dynamische Navigation beliebige Implantatsysteme genutzt werden¹. Im Vergleich zur vollständig geführten Navigation ist es möglich, unter Sicht auf intraoperative situationsbedingte Änderungen zu reagieren¹¹. Des Weiteren sollte die Einhaltung der horizontalen Position mit einem unter Sicht kontrollierbaren dynamischen System sicherer handhabbar sein als mit statischen Systemen, bei denen eine Schablone das Operationsfeld verdeckt. Eine Einschränkung stellt hierbei die Lagerung des Halters für intraorale Referenzmarker bei zahnlosen Patienten dar, sodass nicht jedes dynamische Navigationssystem für die Versorgung zahnloser Kiefer geeignet scheint¹⁸. Insbesondere bei einem lappenlosen Vorgehen sind die Nachteile der Lagerung einer statischen Schablone bei teilbezahnten Patienten nicht vorhanden¹. Die Aufbereitung des Implantatbetts kann auch bei geringer Mundöffnung oder in weit distal gelegenen Regionen, in denen das vertikale Platzangebot limitiert ist, durchgeführt werden¹⁹. Eine mögliche Überhitzung der Bohrer durch mangelnden Zugang für Kühlflüssigkeit – wie bei geschlossenen Bohrschablonen – kann umgangen werden²⁰.

Mögliche Nachteile und Risiken einer dynamischen Navigation

Die Position und Passung der intraoralen Referenzmarker sind mögliche Fehlerquellen, die sich negativ auf die Genauigkeit auswirken können. Der Sitz des Halters muss ähnlich wie der einer Bohrschablone bei der statischen Navigation während des Eingriffs stetig kontrolliert werden¹⁵. Jeder einzelne Schritt bei der Datenerhebung sowie die Auflösung der verwendeten Scan-, Druck- und/oder DVT-Daten können Ungenauigkeiten verursachen. Die einzelnen Komponenten müssen so präzise wie möglich funktionieren, damit das Resultat aus der Summe der Fehler am Ende eine klinisch tolera-

ble Abweichung der Implantatposition ergibt²¹. Mindestabstände zu gefährdeten anatomischen Strukturen sind bei allen Verfahren der geführten Implantation einzuhalten²². Die in der Literatur angegebenen Sicherheitsabstände liegen horizontal zwischen 1,0 mm²³ und 0,5 mm²⁴ bzw. vertikal 1,7 mm²⁵ und 1,2 mm²⁴. Zu beachten ist außerdem, dass sich die Behandler und das gesamte Team aufgrund einer ausgeprägten Lernkurve und der Komplexität des operativen Eingriffs entsprechend einarbeiten müssen¹⁹. Es wurde gezeigt, dass Chirurgen mit steigender Anzahl der inserierten Implantate genauere Ergebnisse der Implantatposition erzielen²⁶. Je nach Navigationssystem und Ausstattung der Praxis können nennenswerte Kosten für das Etablieren der dynamisch navigierten Implantation anfallen.

Vergleich der Genauigkeit dynamisch vs. statisch

Ergebnisse der dynamischen Navigation

Bisher liegen wenige klinische Studien zu aktuellen Verfahren vor, die die Genauigkeit der Implantatpositionen bei der dynamischen Navigation untersuchen^{26–35}. In drei systematischen Reviews wurden die bisher publizierten Daten zur Genauigkeit der dynamischen Navigation analysiert. Die Vergleichbarkeit dieser Studien ist aufgrund von heterogenen Co-Faktoren, wie zum Beispiel der Verwendung verschiedener dynamischer Navigationssysteme, unterschiedlicher Implantatplanungsprogramme und unterschiedlicher Implantate, erschwert. Im Mittel lag die koronale 3-D-Abweichung an der Implantatschulter zwischen 1,0 mm (95-%-Konfidenzintervall [KI] 0,83, 1,16 mm) und 1,11 mm (95-%-KI 0,96, 1,26 mm); die Winkelabweichungen lagen zwischen 3,68° (95-%-KI 3,61–3,74°) und 4,22° (95-%-KI 2,74–5,68°)^{18,36,37}.

Die Autoren eines systematischen Reviews von Wei et al. kamen zu dem Ergebnis, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen In-vitro- und klinischen Studien festgestellt wurden³⁶. Bei der klinischen Umsetzung der dynamischen Navigation am Patienten scheinen demnach

mögliche Einflussfaktoren, wie zum Beispiel die Mundöffnung, Bewegungen des Patienten oder die eingeschränkte Sicht auf das OP-Feld, keine Verschlechterung der Ergebnisse darzustellen. Die dynamische Navigation setzt voraus, dass die Position der Instrumente durch einen Referenzkörper erkannt und der virtuellen Planung zugeordnet werden kann. Die Platzierung der Marker unterscheidet sich je nach System deutlich. Eine systematische Übersichtsarbeit von klinischen Studien zur Genauigkeit der dynamischen computergestützten Navigation zeigt Ergebnisse, die mit denen der statischen Navigation vergleichbar sind. Allerdings weisen die einzelnen dynamischen Navigationssysteme eine große Heterogenität auf³⁷. Es muss in weiteren Untersuchungen gezeigt werden, ob dies hauptsächlich auf die verwendeten dynamischen Navigationssysteme zurückzuführen ist. Von den einzelnen Systemen liegen meist nur Untersuchungen jeweils einer Arbeitsgruppe vor. Das System IRIS-100 (Fa. EPED Inc., Kaohsiung City, Taiwan) fand bereits Anwendung in zwei unabhängigen klinischen Studien. Die Ergebnisse zeigten eine vergleichbare Präzision auf: Mittlere koronale Abweichungen von $1,24 \pm 0,39$ mm vs. $1,05 \pm 0,44$ mm und eine Winkelabweichung von $3,78 \pm 1,84^\circ$ vs. $3,06 \pm 1,37^\circ$ wurden gezeigt^{30,34}. Wu et al. konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den operierenden Chirurgen und deren Erfahrungsleveln feststellen³³. Diese Ergebnisse lassen vermuten, dass eine gewisse Robustheit der Werte auch bei der Anwendung durch unterschiedliche Chirurgen vorliegt.

Ergebnisse der statischen Navigation

Tahmaseb et al. untersuchten 20 klinische Studien hinsichtlich der Genauigkeit von statisch navigierten Implantationen. Die mittlere Abweichung aller Studien belief sich auf 1,2 mm an der Implantatschulter und 1,4 mm an der Implantatspitze. Die mittlere Winkelabweichung betrug $3,5^\circ$ ¹³. Die Verwendung dieser Schablonen führt zu vorhersagbaren Ergebnissen¹¹. Zahlreiche Untersuchungen zur schablonengeführten Implantation versuchen Faktoren zu bestimmen, die Einfluss auf die Genauig-

keit der Verfahren haben. Einfluss auf die Genauigkeit haben zum Beispiel verschiedene Verfahren der Herstellung oder verwendete Materialien für Bohrschablonen^{38–40}. Unterschiedliche Bohrhülsen^{41–43} können ebenso wie die intraorale Lagerung und Fixation der Schablonen⁴⁴ Einfluss auf die Genauigkeit haben. Anwendungsfehler bei der Umsetzung scheinen jedoch zu größeren Ungenauigkeiten zu führen als das Verfahren per se⁴⁵.

Vergleich der beiden Verfahren

In einer retrospektiven Untersuchung von Wu et al. wurden weder am koronalen oder apikalen Endpunkt noch in der Winkelabweichung signifikante Unterschiede zwischen dynamischer und statischer Navigation bei der Auswertung von insgesamt 95 Implantaten gefunden³³. Auch Yimari et al. stellten in einer randomisierten klinischen Studie keine signifikanten Unterschiede zwischen statischer und dynamischer Navigation fest³⁴. In einer In-vitro-Untersuchung von Mediavilla-Guzmán et al. gab es ausschließlich bei der Winkelabweichung signifikant verschiedene Werte zugunsten der statischen, schablonengeführten Implantation. Diese lag im Mittel bei $2,95 \pm 1,48^\circ$ im Gegensatz zur dynamischen Implantation mit $4,00 \pm 1,41^\circ$ ⁴⁶. Diese Daten stehen im Gegensatz zu einer weiteren In-vitro-Untersuchung, bei der ein dynamisches Verfahren mit einem statischen Verfahren verglichen wurde und signifikante Unterschiede in allen Parametern zugunsten des statischen Verfahrens aufgezeigt wurden⁴⁷. Im Vergleich zur Freihand-Implantation, welche in einer Studie von Vercruyssen et al. eine mittlere Winkelabweichung von $9,9^\circ$ aufwies, erzielten beide geführte Verfahren genauere Ergebnisse⁴⁸.

Empfohlene Voraussetzungen für die dynamische Navigation

Anforderungen an Patienten und Behandler

Geeignet für eine Implantation mittels dynamischer Navigation scheinen zum aktuellen Zeitpunkt vor allem teilbezahnte Patienten zu sein. Die vorliegenden klinischen Untersuchungen zur



Abb. 1a bis d a) Die Ausgangssituation zeigt die zu versorgende Lücke im 3. Quadranten. b) Der intraorale Referenzmarker ist an einer gedruckten Schablone befestigt und der Sitz der Schablone kann mittels günstig platzierter Sichtfenster kontrolliert werden. c) Registrierung des Implantatbohrers mit einem Registrierungsinstrument; das optische System (DENA OPT) ist am chirurgischen Winkelstück angebracht. d) Implantatbohrung nach Herstellerprotokoll.

dynamischen Navigation wurden vermehrt bei teilbezahnten Patienten durchgeführt³⁷. Die Befestigung der Referenzmarker auf den Restzähnen ermöglicht eine reproduzierbare Positionierung der intraoralen Referenzmarker. Der korrekte Sitz der Referenzmarker, das Vermeiden von Patientenbewegungen während der Implantation und die erfolgreiche Registrierung der Implantatbohrer sind für eine möglichst genaue Übertragung der 3-D-Planung auf die klinische Situation zu beachten¹⁸. Zudem muss eine einwandfreie Registrierung der Referenzmarker durch die Planungssoftware während der Implantation gewährleistet werden, was eine ununterbrochene Sicht der optischen Systeme auf den Referenzmarker bedeutet.

Anforderungen an das Implantatsystem

Implantatsysteme können mit verschiedenen dynamischen Navigationssystemen genutzt wer-

den. Durch die „open-sourced“ Systeme können Chirurgen ihr gewohntes Implantatsystem verwenden. Das Equipment kann häufig reduziert werden. Im Vergleich zu statischen Systemen sind keine zusätzlichen Sets von Bohrern und Hülsen erforderlich¹.

Diskussion/Klinisches Vorgehen

Fall 1

Bei einem 59-jährigen Patienten wurden zum Lückenersatz im Unterkiefer (Abb. 1a) zwei Implantate (BoneLevelTapered, Fa. Straumann AG, Basel, Schweiz) Regio 36 und 37 inseriert. Für die Implantatplanung wurden ein DVT sowie eine digitale Abformung der Patientensituation angefertigt und anschließend nach prothetischen Grundsätzen ein virtuelles Set-up erstellt. Die Posi-

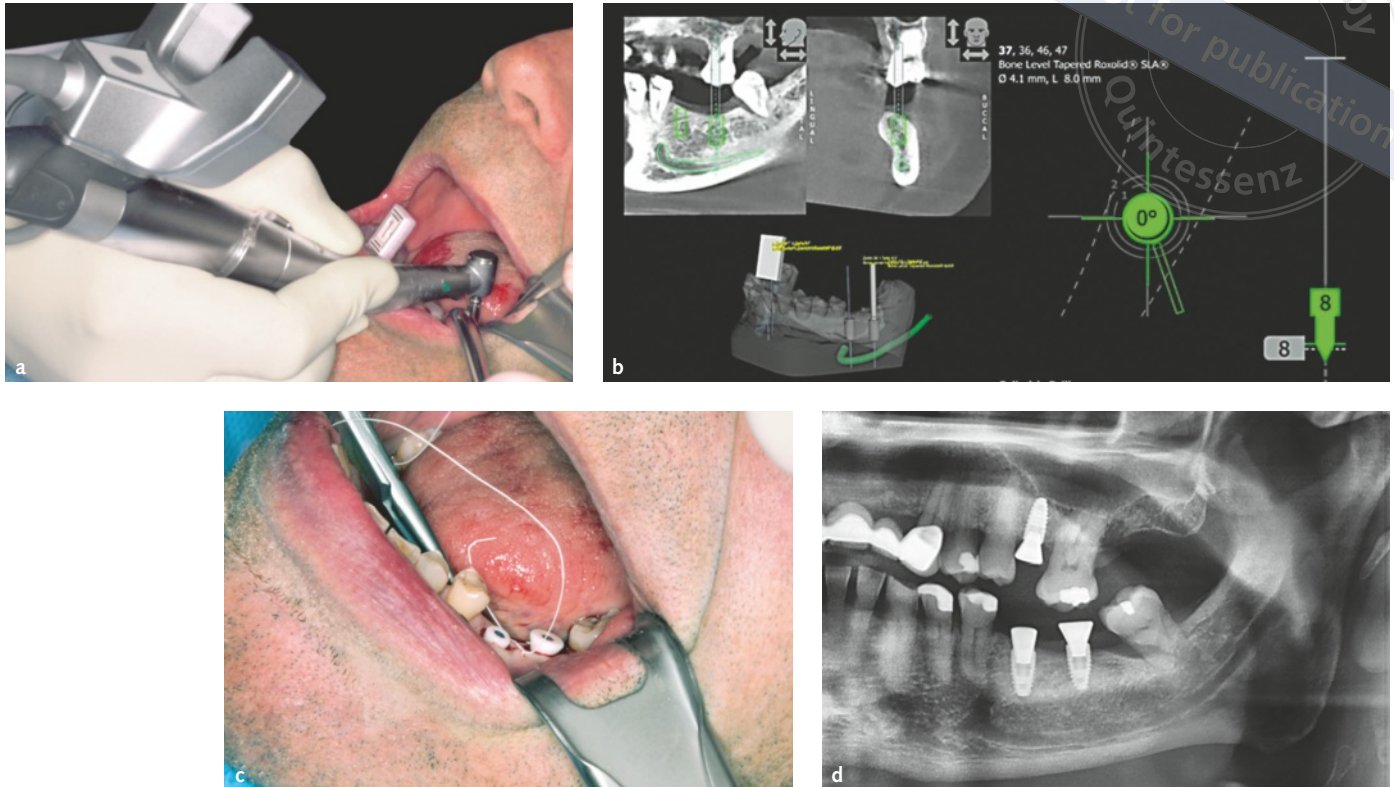


Abb. 2a bis d a) Implantatinsertion: Zwischen dem optischen Kamerasystem und dem intraoralen Referenzmarker muss die Sicht gewährleistet sein. b) Dynamische Echtzeitanzeige von Winkel, Position und Tiefe. c) Die aufgeschraubten Zirkon-Gingivaformer in situ; das Weichgewebe wurde speicheldicht vernäht. d) Postoperatives Kontrollröntgenbild.

tion der Implantate wurde so gewählt, dass die Implantate einen idealen prothetischen Implantataustrittspunkt sowie eine ideale Angulation unter Berücksichtigung der anatomischen Strukturen und der optimalen Nutzung des Knochenangebots aufwiesen. Die Daten der dreidimensionalen Behandlungsplanung wurden an das Navigationssystem DENACAM (Fa. Mininavident, Liestal, Schweiz) übertragen. Das DENACAM-System arbeitet mit einer am chirurgischen Handstück angebrachten Kamera. Intraoral wurde ein Marker als Referenzstruktur platziert. Die Passung der Schablone des Referenzmarkers konnte mittels Sichtfenster (Regio 32, 34) während der Implantation überprüft werden (Abb. 1b).

Jeder Bohrer, auch das Implantat selbst, wurde mithilfe eines Registrierungsinstrumentes (Abb. 1c) vor der jeweiligen Nutzung automatisch registriert. Dieser Schritt ist notwendig, um dem System genaue Informationen zur Länge und zum

Durchmesser des jeweils verwendeten Bohrers zu übermitteln.

Die Implantation erfolgte nach dem Bohrprotokoll des Implantatherstellers. Alle Implantationen wurden von einem erfahrenen Zahnarzt (SiS) durchgeführt (Abb. 1d und 2a). Sämtliche Schritte erfolgten maschinell mithilfe eines Winkelstücks. Die Endposition des Implantats wurde durch die Anzeige im DENACAM-System festgelegt (Abb. 2b). Es erfolgte keine visuelle Kontrolle der erreichten Implantatendposition und Nachjustierung der Implantatposition.

Die beiden Implantate konnten mit einer ausreichenden Primärstabilität inseriert werden. Nach der Implantation wurden die Implantataufbauten mit Gingivaformer versorgt und das Weichgewebe dicht vernäht, sodass eine transgingivale Einheilung erfolgen konnte (Abb. 2c). Abschließend wurde ein postoperatives Kontrollröntgenbild erstellt (Abb. 2d).

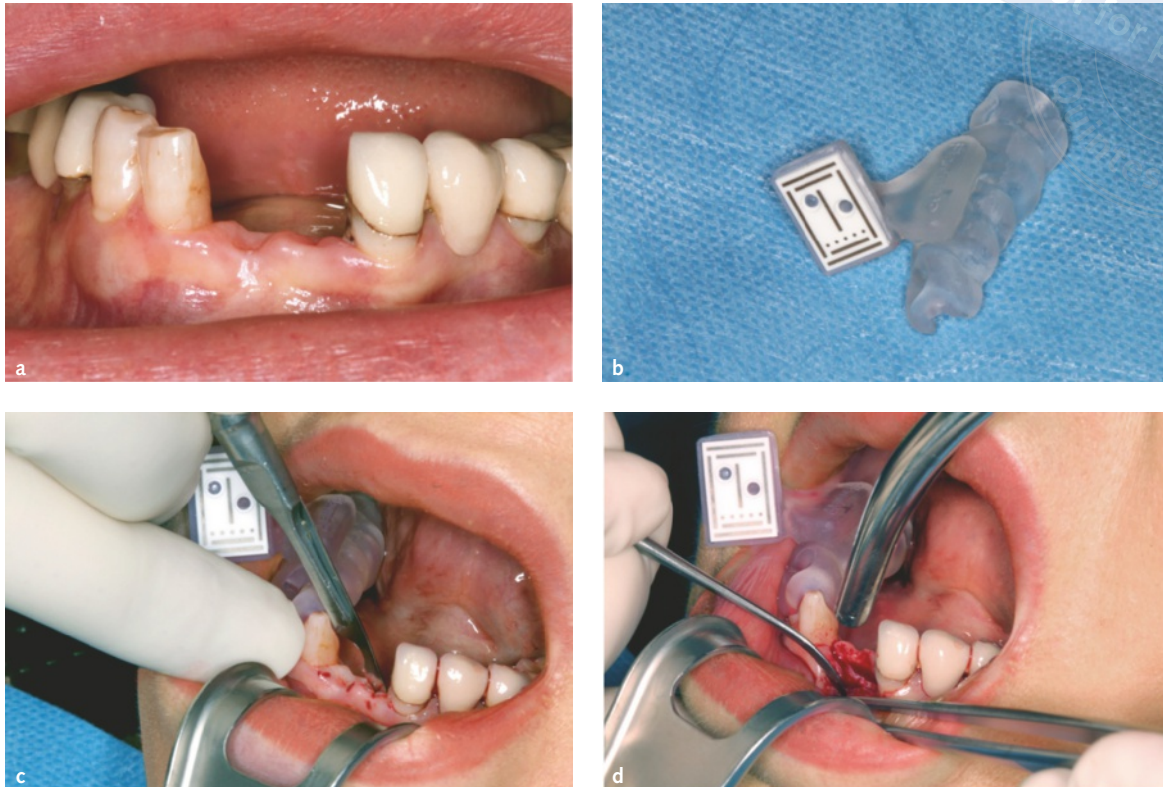


Abb. 3a bis d a) Ausgangssituation: Frontzahnücke mit fehlenden Zähnen 31 und 41, b) intraoraler Referenzmarker, befestigt an einer gedruckten Schablonenhalterung. c) Es erfolgte ein krestaler Kammschnitt zur Darstellung des Implantatbetts. d) Nach der Bildung eines Mukoperiostlappens war die knöcherne Situation frei ersichtlich.

Fall 2

Die Ausgangssituation einer 48-jährigen Patientin zeigt eine Frontzahnücke Regio 31–41 (Abb. 3a). Aufgrund der Lückenbreite sowie der knöchernen Situation wurde bei der dreidimensionalen Implantatplanung die Versorgung mit einem Implantat (PureCeramic, Fa. Straumann AG, Basel, Schweiz) geplant. Der Wunsch der Patientin war ein keramisches Implantat. Auch in diesem Fall erfolgte ein sogenanntes Backward-Planning, welches im ersten Fall bereits beschrieben wurde. Besonders im Frontzahnggebiet ist eine optimale prothetische Implantatposition für das ästhetische Ergebnis unabdingbar. Die Positionierung der Implantate hat signifikanten Einfluss auf das Auftreten von Gingivarezessionen⁴⁹. Die schablonengestützte Implantation vermeidet eine Fehlpositionierung der Implantate und wirkt dem erhöhten Risiko einer Rezessionsbildung durch zu weit bukkal inse-

rierte Implantate entgegen. Das chirurgische Vorgehen konnte komplett unter Sicht erfolgen, ohne durch eine Bohrschablone beeinträchtigt zu werden, wie sie bei statischen Systemen benötigt wird (Abb. 3b bis d, Abb. 4a bis c). Die Implantation des einteiligen Keramikimplantats erfolgte ebenfalls nach dem Herstellerprotokoll und wurde vom selben Behandler durchgeführt (SiS). Das Operationsfeld wurde speicheldicht vernäht und die Lücke mit einem laborgefertigten Langzeitprovisorium auf dem Implantat 31 mit einem Freundbrückenglied 41 versorgt (Abb. 4d). Das Langzeitprovisorium wurde im CAD/CAM-Verfahren hergestellt und über eine Dauer von drei Monaten getragen. Durch die ponticartige Gestaltung des mesialen Anhängers konnte während der Einheilzeit eine Ausformung der Weichgewebe Regio 41 erfolgen. Die Sofortversorgung von Einzelzahnrestorationen auf Implantaten zeigt im Vergleich zu konventionell belasteten Kronen genauso erfolgreiche

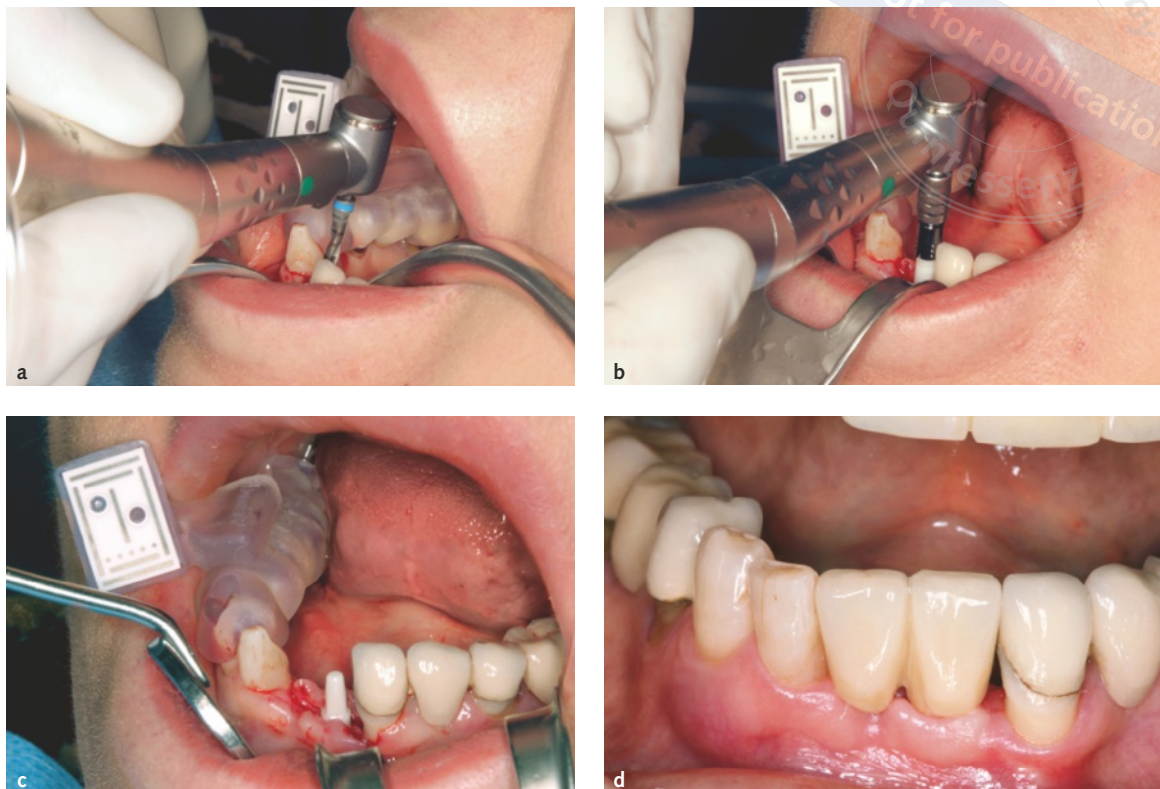


Abb. 4a bis d a) Die Implantatbettaufbereitung erfolgte laut Herstellerprotokoll. b) Die Implantatinsertion wurde wie alle Implantatbohrungen zuvor navigiert durchgeführt. c) Das keramische Implantat Regio 31 in situ: Nachträglich wurden keine Änderungen der Implantatposition vorgenommen. d) Die langzeitprovisorische Versorgung wurde mit einer implantatgetragenen Krone an 31 und einem Freidbrückenglied 41 realisiert.

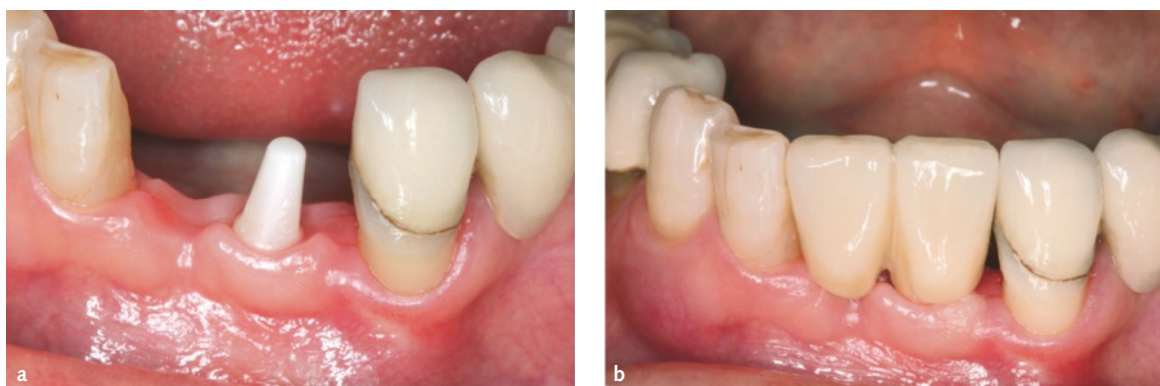


Abb. 5a und b a) Zustand des Weichgewebes nach 2,5 Monaten: Ausformung der Weichgewebe durch das Ovate-Pontic-Design des Langzeitprovisoriums Regio 41. b) Definitive vollkeramische Versorgung der Frontzahnücke durch eine implantatgetragene Krone 31 mit Freidbrückenglied 41 aus Zirkondioxid.

Ergebnisse hinsichtlich Implantatüberlebensrate und marginalem Knochenverlust⁵⁰.

Zehn Wochen nach der Implantation erfolgte die digitale Abformung der Implantate (Abb. 5a). Die definitive vollkeramische Versorgung konnte

zwei Wochen später der Patientin eingegliedert werden (Abb. 5b). Dabei ist besonders auf die Lage des Zementspalts und die Entfernung der Zementreste zu achten, um der Entstehung einer Periimplantitis vorzubeugen⁶.

Schlussfolgerung

Mit der dynamischen Navigation kann eine präzise Implantatinserterion durchgeführt werden. Die Abweichungen der Implantatposition liegen in einem ähnlichen Bereich wie die der statischen Navigation. Sicherheitsabstände von 2 mm am Implantatapex sind einzuhalten. Gegenüber der Freihand-Implantation können genauere Ergebnisse erzielt werden. Man kann davon ausgehen, dass die Weiterentwicklung von Operationsverfahren durch Technologien der „virtual“ und „augmented reality“ die implantologische Versorgungsqualität steigern wird⁵¹.

Literatur

1. D'Haese J, Ackhurst J, Wismeijer D, De Bruyn H, Tahmaseb A. Current state of the art of computer-guided implant surgery. *Periodontol 2000* 2017;73:121–133.
2. Bosshardt DD, Chappuis V, Buser D. Osseointegration of titanium, titanium alloy and zirconia dental implants: current knowledge and open questions. *Periodontol 2000* 2017;73:22–40.
3. Albrektsson T, Chrcanovic B, Ostman PO, Sennerby L. Initial and long-term crestal bone responses to modern dental implants. *Periodontol 2000* 2017;73:41–50.
4. Al Amri MD. Influence of interimplant distance on the crestal bone height around dental implants: A systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent* 2016;115:278–282.e1.
5. Romanos GE, Delgado-Ruiz R, Sculean A. Concepts for prevention of complications in implant therapy. *Periodontol 2000* 2019;81:7–17.
6. Staubli N, Walter C, Schmidt JC, Weiger R, Zitzmann NU. Excess cement and the risk of peri-implant disease - a systematic review. *Clin Oral Implants Res* 2017;28:1278–1290.
7. Garber DA, Belser UC. Restoration-driven implant placement with restoration-generated site development. *Compend Contin Educ Dent* 1995;16:796, 798–802, 804.
8. Vercruyssen M, van de Wiele G, Teughels W, Naert I, Jacobs R, Quirynen M. Implant- and patient-centred outcomes of guided surgery, a 1-year follow-up: An RCT comparing guided surgery with conventional implant placement. *J Clin Periodontol* 2014;41:1154–1160.
9. Greenstein G, Tarnow D. The mental foramen and nerve: clinical and anatomical factors related to dental implant placement: a literature review. *J Periodontol* 2006;77:1933–1943.
10. Joda T, Derksen W, Wittneben JG, Kuehl S. Static computer-aided implant surgery (s-CAIS) analysing patient-reported outcome measures (PROMs), economics and surgical complications: A systematic review. *Clin Oral Implants Res* 2018;29(Suppl 16):359–373.
11. Gargallo-Albiol J, Barootchi S, Salomo-Coll O, Wang HL. Advantages and disadvantages of implant navigation surgery. A systematic review. *Ann Anat* 2019;225:1–10.
12. Wismeijer D, Joda T, Flugge T, Fokas G, Tahmaseb A, Bechelli D et al. Group 5 ITI Consensus Report: Digital technologies. *Clin Oral Implants Res* 2018;29 Suppl 16:436–442.
13. Tahmaseb A, Wu V, Wismeijer D, Coucke W, Evans C. The accuracy of static computer-aided implant surgery: A systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res* 2018;29(Suppl 16):416–435.
14. Al Yafi F, Camenisch B, Al-Sabbagh M. Is Digital Guided Implant Surgery Accurate and Reliable? *Dent Clin North Am* 2019;63:381–397.
15. Vercruyssen M, Fortin T, Widmann G, Jacobs R, Quirynen M. Different techniques of static/dynamic guided implant surgery: modalities and indications. *Periodontol 2000* 2014;66:214–227.
16. Du Y, Wangrao K, Liu L, Liu L, Yao Y. Quantification of image artifacts from navigation markers in dynamic guided implant surgery and the effect on registration performance in different clinical scenarios. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2019;34:726–736.
17. Schnitman PA, Hayashi C, Han RK. Why guided when freehand is easier, quicker, and less costly? *J Oral Implantol* 2014;40:670–678.
18. 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* 2021;25:2479–2494.
19. Block MS, Emery RW. Static or Dynamic Navigation for Implant Placement-Choosing the Method of Guidance. *J Oral Maxillofac Surg* 2016;74:269–277.
20. Liu SH, Cao CR, Lin WC, Shu CM. Experimental and numerical simulation study of the thermal hazards of four azo compounds. *J Hazard Mater* 2019;365:164–177.
21. Schnutenhaus S, Groller S, Luthardt RG, Rudolph H. Accuracy of the match between cone beam computed tomography and model scan data in template-guided implant planning: A prospective controlled clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2018;20:541–549.
22. Nickenig HJ, Eitner S, Rothamel D, Wichmann M, Zoller JE. Possibilities and limitations of implant placement by virtual planning data and surgical guide templates. *Int J Comput Dent* 2012;15:9–21.
23. Soares MM, Harari ND, Cardoso ES, Manso MC, Conz MB, Vidigal GM, Jr. An in vitro model to evaluate the accuracy of guided surgery systems. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2012;27:824–831.
24. Sicilia A, Botticelli D, Working G. Computer-guided implant therapy and soft- and hard-tissue aspects. The Third EAO Consensus Conference 2012. *Clin Oral Implants Res* 2012;23 Suppl 6:157–161.
25. Bover-Ramos F, Vina-Almunia J, Cervera-Ballester J, Penarrocha-Diago M, Garcia-Mira B. Accuracy of Implant Placement with Computer-Guided Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis Comparing Cadaver, Clinical, and In Vitro Studies. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2018;33:101–115.
26. Stefanelli LV, DeGroot BS, Lipton DI, Mandelaris GA. Accuracy of a Dynamic Dental Implant Navigation System in a Private Practice. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2019;34:205–213.
27. Aydemir CA, Arisan V. Accuracy of dental implant placement via dynamic navigation or the freehand method: A split-mouth randomized controlled clinical trial. *Clin Oral Implants Res* 2020;31:255–263.
28. Block MS, Emery RW, Cullum DR, Sheikh A. Implant Placement Is More Accurate Using Dynamic Navigation. *J Oral Maxillofac Surg* 2017;75:1377–1386.

29. Block MS, Emery RW, Lank K, Ryan J. Implant Placement Accuracy Using Dynamic Navigation. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2017;32:92–99.
30. Kaewsiri D, Panmekiate S, Subbalekha K, Mattheos N, Pimkhaokham A. The accuracy of static vs. dynamic computer-assisted implant surgery in single tooth space: A randomized controlled trial. *Clin Oral Implants Res* 2019;30:505–514.
31. Pellegrino G, Taraschi V, Andrea Z, Ferri A, Marchetti C. Dynamic navigation: a prospective clinical trial to evaluate the accuracy of implant placement. *Int J Comput Dent* 2019;22:139–147.
32. Stefanelli LV, Mandelaris GA, DeGroot BS, Gambarini G, De Angelis F, Di Carlo S. Accuracy of a Novel Trace-Registration Method for Dynamic Navigation Surgery. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2020;40:427–435.
33. 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* 2020;6:78.
34. Yimarj P, Subbalekha K, Dhaneuan 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. *Clin Implant Dent Relat Res* 2020;22:672–678.
35. Edelmann C, Wetzel M, Knipper A, Luthardt RG, Schnutenhaus S. Accuracy of Computer-Assisted Dynamic Navigation in Implant Placement with a Fully Digital Approach: A Prospective Clinical Trial. *J Clin Med* 2021;10:1808.
36. 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. *Clin Oral Implants Res* 2021;32:383–393.
37. 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. *J Clin Med* 2021;10:704.
38. Gjølvd B, Mahmood DJH, Wennerberg A. Accuracy of surgical guides from 2 different desktop 3D printers for computed tomography-guided surgery. *J Prosthet Dent* 2019;121:498–503.
39. Henprasert P, Dawson DV, El-Kerdani T, Song X, Couso-Queiruga E, Holloway JA. Comparison of the Accuracy of Implant Position Using Surgical Guides Fabricated by Additive and Subtractive Techniques. *J Prosthodont* 2020;29:534–541.
40. Pieralli S, Spies BC, Hromadnik V, Nicic R, Beuer F, Wese-mann C. How Accurate Is Oral Implant Installation Using Surgical Guides Printed from a Degradable and Steam-Sterilized Biopolymer? *J Clin Med* 2020;9:2322.
41. Liang Y, Yuan S, Huan J, Zhang Y, Fang C, Li J. In Vitro Experimental Study of the Effect of Adjusting the Guide Sleeve Height and Using a Visual Direction-Indicating Guide on Implantation Accuracy. *J Oral Maxillofac Surg* 2019;77:2259–2268.
42. Tallarico M, Martinolli M, Kim Y, Cocchi F, Meloni SM, Alushi A et al. Accuracy of Computer-Assisted Template-Based Implant Placement Using Two Different Surgical Templates Designed with or without Metallic Sleeves: A Randomized Controlled Trial. *Dent J (Basel)* 2019;7:41.
43. Kuhl S, Payer M, Zitzmann NU, Lambrecht JT, Filippi A. Technical accuracy of printed surgical templates for guided implant surgery with the coDiagnostiX software. *Clin Implant Dent Relat Res* 2015;17(Suppl 1):e177–e182.
44. Tahmaseb A, Wismeijer D, Coucke W, Derksen W. Computer technology applications in surgical implant dentistry: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014;29(Suppl):25–42.
45. Schnutenhaus S, Edelmann C, Rudolph H, Luthardt RG. Retrospective study to determine the accuracy of template-guided implant placement using a novel nonradiologic evaluation method. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2016;121:e72–e79.
46. Mediavilla Guzman A, Riad Deglow E, Zubizarreta-Macho A, Agustin-Panadero R, Hernandez Montero S. Accuracy of Computer-Aided Dynamic Navigation Compared to Computer-Aided Static Navigation for Dental Implant Placement: An In Vitro Study. *J Clin Med* 2019;8:2123.
47. Kang SH, Lee JW, Lim SH, Kim YH, Kim MK. Verification of the usability of a navigation method in dental implant surgery: in vitro comparison with the stereolithographic surgical guide template method. *J Craniomaxillofac Surg* 2014;42:1530–1535.
48. Vercruyssen M, Cox C, Coucke W, Naert I, Jacobs R, Quirynen M. A randomized clinical trial comparing guided implant surgery (bone- or mucosa-supported) with mental navigation or the use of a pilot-drill template. *Journal of clinical periodontology* 2014;41:717–723.
49. Lin GH, Chan HL, Wang HL. Effects of currently available surgical and restorative interventions on reducing midfacial mucosal recession of immediately placed single-tooth implants: a systematic review. *J Periodontol* 2014;85:92–102.
50. Benic GI, Mir-Mari J, Hämmerle CH. Loading protocols for single-implant crowns: a systematic review and meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014;29(Suppl):222–238.
51. Ayoub A, Pulijala Y. The application of virtual reality and augmented reality in Oral & Maxillofacial Surgery. *BMC Oral Health* 2019;19:238.

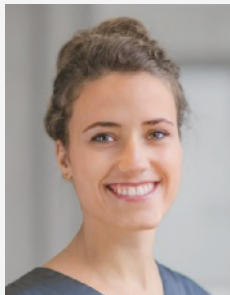
Dynamic navigation: Clinical aspects of dynamic navigation Overview and patient cases

KEY WORDS

computer-assisted surgery, dynamic navigation, real-time navigation, dental implants

ABSTRACT

Dental implants can be virtually planned with regard to a prosthetically optimal position before the surgical intervention on the basis of 3D data of the hard and soft tissues. Dynamic navigation procedures are then used to transfer their position to the clinical situation on the patient. The advantages of dynamic navigation over template-guided navigation include compatibility with different implant systems, independence from special drilling systems, implantation under visual control, the ability to make uncomplicated intraoperative changes, and easier navigation in distal areas. The results of computer-assisted dynamic navigation are comparable to those of static navigation. Minimum distances from endangered anatomical structures must be maintained for all guided implant insertion procedures. A pronounced learning curve and the avoidance of possible sources of error in data collection and in the transfer of the implant position, such as patient movements, incorrect positioning of the reference markers, or incorrect assignment of the reference markers in the implant planning program, must be taken into account. In this paper, the theoretical aspects of dynamic navigation and the clinical application are discussed in detail on the basis of two treatment cases.



Cornelia Edelmann

Dr. med. dent.

Martin Wetzel

Zahnarzt

Beide:

Zentrum für Zahnmedizin Dr. Schnutenhaus MVZ
GmbH
Breiter Wasmen 10
78247 Hilzingen

Sigmar Schnutenhaus

PD Dr. med. dent.

Zentrum für Zahnmedizin Dr. Schnutenhaus MVZ
GmbH
Breiter Wasmen 10
78247 Hilzingen

und:

Universität Ulm
Department für Zahnheilkunde
Klinik für Zahnärztliche Prothetik
Albert-Einstein-Allee 11
89081 Ulm

Cornelia Edelmann

Korrespondenzadresse:

Dr. Cornelia Edelmann, E-Mail: edelmann@schnutenhaus.de