

Redaktion

E. Esser, Osnabrück
 S. Haßfeld, Dortmund

H.J. Nickenig
 Zahnmedizin, Fliegerhorst Wahn, Köln

Führungsschablonen mit coDiagnostiX®

Nicht zuletzt aufgrund der digitalen Volumetomographie (DVT) hat die dreidimensionale Diagnostik mit der Herstellung von Implantatführungsschablonen in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Bei deutlich erhöhtem Material-, Kosten- und Zeitaufwand (zur Planung) stellt sich die Frage nach den Vorzügen für die Praxis und der klinischen Bewährung des Verfahrens.

Neben dem Freihandimplantieren werden heute in meisten Fällen Bohrschablonen verwendet, die auf den Informationen der Panoramaaufnahme sowie der klinischen und Modellsituation basieren. Sie ermöglichen zwar in der Regel die Berücksichtigung der geplanten prothetischen Arbeit, lassen jedoch keine Rückschlüsse auf anatomische Gegebenheiten beim Eingriff zu. Diese Art der Schablone erfüllt den Anspruch implantatprothetischer *Orientierungsschablonen* [13].

Eine exakte Umsetzung der prothetischen Zielsetzung in den implantatchirurgischen Eingriff bedingt in der Regel die Anwendung weiterführender, über die Standarddiagnostik hinausgehender Verfahren. In diesem Zusammenhang wird die bildgestützte Diagnostik (Computertomographie, digitale Volumetomographie) und Planung als Voraussetzung der exakten Umsetzung der Implantatplanung genannt [2]. Die Umsetzung der in der CT oder DVT gewonnenen Planungsdaten erfolgt heute über Navigationssysteme [3, 4, 5, 6, 7, 8] oder *implantatprothetische Führungsschablonen* [10, 11].

Bei der Führungsschablone wird die Ausrichtung der Führungshülsen für die Implantatfräsen (im Gegensatz zur Orientierungsschablone) vorab exakt ermittelt.

Literaturübersicht zu implantatprothetischen Führungsschablonen

In-vitro-Studien

Vergleichbar den Studien zu Navigationssystemen liegen bislang zu implantatprothetischen Führungsschablonen in erster Linie Ergebnisse von In-vitro-Studien vor [2].

Es gibt nur wenige Untersuchungen, die eine konventionelle Orientierungsschablone der CT/DVT-basierten Führungsschablone gegenüberstellen. Sarment et al. [12] ließen hierzu fünf Zahnärzte in gleichen Unterkiefermodellen je fünf Implantate mit Orientierungsschablone und Führungsschablone einsetzen. Gemessen wurden die Abweichungen zur zuvor im CT festgelegten idealen Implantatposition. Die CT-Analyse nach der Insertion im Modell ergab, dass bei der konventionellen Schablone insbesondere im Apexbereich des Implantates die größte Abweichung zur idealen Positionierung vorlag (mittlere Abweichung >2 mm). Bei Anwendung der Führungsschablone betrug die mittlere Abweichung des Implantatapex weniger als 1 mm.

In weiteren Studien wird die Genauigkeit von Führungsschablonen mit einer mittleren Abweichung von 0,4–0,6 mm angegeben [1, 4].

Die Reproduzierbarkeit des Verfahrens wird für den Unterkiefer als geringfügig günstiger eingeschätzt [16]. Die Länge der Führungshülsen von Schablonen sollte 9 mm möglichst nicht unterschreiten, da eine erhöhte Winkelabweichung der Bohrungsachse zu erwarten ist [4].

Die Orientierungsschablone entspricht meist nicht der realen Knochensituation

Anhand der Ergebnisse einer eigenen Studie [10] ließ sich feststellen, dass die Orientierungsschablone in zwei Drittel der Fälle nichts mit der realen Knochensituation zu tun hat und insofern lediglich zur Körnung zu Beginn des Eingriffs genutzt werden kann.

In-vivo-Studien

Wie bei den Studien zu Navigationssystemen erweist es sich als schwierig, die Zuverlässigkeit des Verfahrens nach dem Eingriff zu überprüfen. Die Anfertigung einer zweiten DVT/CT-Analyse ist im Normalfall, auch bei verringerter Strahlenbelastung durch moderne Verfahren, nicht vertretbar.

Im klinischen Einsatz wird die Zuverlässigkeit der präoperativen dreidimensionalen Planung und deren Umsetzung in die Führungsschablone mit einer Übereinstimmung zu den klinischen Gegebenheiten von 80–90% angegeben.

Fortin et al. [5] ermittelten bei 30 Patienten eine hohe klinische Übereinstimmung bezüglich der in der Planung festgelegten Implantatlängen (Kendall-Kor-

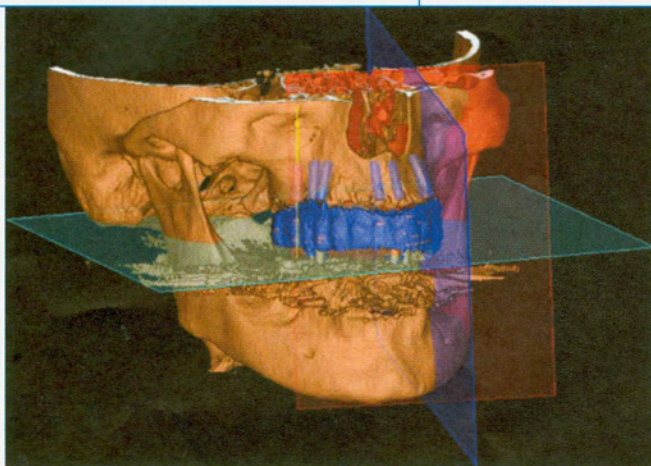


Abb. 1 ◀ 3-D-Darstellung einer geplanten implantologischen Versorgung im zahnlosen Oberkiefer (geplanter Zahnersatz blau). Die virtuellen Implantatachsen (gelb) geben die Achsrichtung der späteren Führungshülsen wieder (Axialebene hellblau, Sagittalebene dunkelblau, Querschnittebene rot)



Abb. 2 ▲ Nach der 3-D-Planung befindet sich die Röntgenschablone wieder auf dem Präzisionstisch, die unterschiedlichen Koordinaten der virtuellen Implantatplanungen werden eingegeben. Danach Anlage der Bohrungen für jede Implantatposition, die durch die Koordinaten der virtuellen Planung vorgegeben werden

relationskoeffizient: 0,8), einem zu erwartenden Knochenaufbau (Kappa-Korrelationskoeffizient: 0,87), einer Knochenspaltung (0,88) sowie dem Sachverhalt einer knöchernen Fensterung (1,0).

Eine weitere Möglichkeit zur Überprüfung der exakten Übertragung der Implantatachse stellt der Vergleich der in der 3-D-Planung festgelegten und der späteren tatsächlichen Ausrichtung des (konfektionierten) Implantataufbaus dar. Eine mittlere Winkelabweichung von 5° (Ran-

ge: 0,5–14,5) wurde mit dieser Methodik von Naitoh et al. [9] bei 6 Patienten mit insgesamt 21 Implantaten festgestellt.

Eine prospektive Multicenterstudie zum Teeth-in-an-Hour™-Konzept (implantatprothetische Sofortversorgung nach CT-Planung und Schabloneneingriff bei 27 Patienten mit zahnlosem Oberkiefer) ergab, dass nach einem Jahr alle Prothesen und Implantate als stabil beurteilt werden konnten [14].

In Übereinstimmung mit der Literatur belegen eigene Studienergebnisse bei 250 Implantaten [11], dass die 3-D-Diagnostik in Verbindung mit Führungsschablonen neben dem verlässlichen Schutz der Nachbarstrukturen und der exakten Berechnung der Implantatmaße mit hoher Verlässlichkeit eine Vorhersagbarkeit des chirurgischen Protokolls zulässt.

Herstellung einer 3-D-Führungsschablone (mit dem coDiagnostiX®-System)

Im Unterschied zur Standardvorgehensweise wird in der präimplantologischen Phase eine Röntgenschablone erstellt. Die Informationen des Wax-up der prothetischen Zielsetzung finden in der Schablone mithilfe radioopaker Zahnaufstellungen Berücksichtigung. Zudem werden in der Schablone röntgendichte Marker o. Ä., welche in der späteren Planungssoftware auffindbar sind und die genaue Position der Schablone im CT oder DVT beschreiben, eingearbeitet. Bei der hier angewendeten Planungssoftware werden drei Titanpins definierter Länge und Breite verwendet.

Eine Kontrolle der Schablonenpassung vor der Aufnahme ist empfehlenswert. Nachfolgende Änderungen der Schienenpassung (z. B. wenn zwischen Röntgenaufnahme und Eingriff ein Füllungsaustausch im selben Kiefer durchgeführt wurde), haben immer einen Einfluss auf den Erfolg der 3-D-Therapie, da die Röntgenschablone in die spätere Führungsschablone überführt wird.

➤ Eine Kontrolle der Schablonenpassung vor der Aufnahme ist empfehlenswert

Die angefertigten CT/DVT-Daten (DICOM 3) werden in die Planungssoftware importiert, anschließend erfolgt die Auswertung und Implantatpositionierung in unterschiedlichen Planungsansichten (Axial-, Querschnitt- und Tangentialansicht, ▶ **Abb. 1**).

Die bereits erwähnten Titanmarker der Röntgenschablone beschreiben eine Ebene, die beim Abschluss der Planung in der Software identifiziert wird. Bereits bei der Herstellung der Röntgenschablone setzt der Zahntechniker diese Ebene mit der Nullebene einer entsprechenden Apparatur (Präzisionstisch wie in ▶ **Abb. 2**) gleich. Für jedes Implantat werden mit der Planung die Abweichungen zur Schablonenebene ermittelt. Diese Werte entsprechen dann wiederum Abweichungen von der Nullebene, die der Zahntechniker je Implantat im Präzisionstisch individuell einstellen kann. Das heißt, die Schablone wird vom Zahntechniker so ausgerichtet, dass sich die Führungshülsen entsprechend der Implantatplanungsachse und Position in die Schablone einsetzen lassen.

Die Führungshülsen können zudem je nach Größe der Implantatfräse durch Tube-in-Tube-Einsätze im Durchmesser variiert werden.

Die 3-D-Planung erfolgt im Wesentlichen in der Axial-, Querschnitt- und Sagittalansicht; die 3-D-Rekonstruktion der Kiefer dient der räumlichen Veranschaulichung der Planungsergebnisse.

H.J. Nickenig
**Führungsschablonen
mit coDiagnostiX®****Zusammenfassung**

In-vivo-Studien zur klinischen Bewährung von CT- oder DVT-basierten Führungsschablonen sind selten. Im Rahmen von In-vitro-Studien wird die Exaktheit des Verfahrens mit einem möglichen Transferfehler von weniger als 1 mm Positionsabweichung oder weniger als 5° Winkelabweichung angegeben. Eigene Untersuchungen ergaben, dass die 3-D-Diagnostik in Verbindung mit Führungsschablonen neben dem verlässlichen Schutz der Nachbarstrukturen und der exakten Berechnung der Implantatmaße mit hoher Verlässlichkeit eine Vorhersagbarkeit des chirurgischen Protokolls zulässt (Kategorisierung in „flapless surgery“, Methode und Schwierigkeitsgrad der Knochen aufbauenden oder verbessernden Maßnahme).

Schlüsselwörter

Risikominimierung · Reproduzierbare Therapieergebnisse · Computerunterstützte Chirurgie · Zahnärztliche Implantologie

**Implant placement with
surgical (guide) templates
(coDiagnostiX®)****Abstract**

In vitro studies have investigated the reliability of implant placement after virtual planning of implant positions using CT and cone-beam CT data and surgical guide templates; in vivo studies are rare. Recently published in vitro studies indicate that creating these surgical guides with computer assistance results in an average precision within 1 mm of implant position and within 5° of deviation for implant inclination. The results of own studies suggest that implant placement after computer-assisted, virtual planning of implant positions using 3D diagnostic data and surgical templates is reliable. The process facilitates preoperative assessment of implant size, position, and anatomical complications and is also indicative of cases suitable for flapless surgery and for an augmentation procedure.

Keywords

Patient care planning · Reproducibility of results · Computer-assisted surgery · Dental implantology

Fallbeispiele**Fallbeispiel 1 – „flapless surgery“**

Die Indikation für eine „flapless surgery“ (■ **Abb. 3, 4**) sollte ausschließlich an die dreidimensionale Diagnostik gebunden sein und bedarf einer kritischen Indikationsstellung, die im Folgenden schrittweise dargestellt wird.

Anhand der dreidimensionalen Analyse ist es möglich, die Eignung eines Knochenlagers zur Implantatversorgung vorab zu erkennen. Hierzu wird zunächst ein Implantat (z. B. 13 mm Länge und 4 mm Breite) virtuell im Datensatz eingesetzt und so ausgerichtet, dass es exakt zur prothetischen Zielsetzung passt, die in Form der radioopaken Zahnkronenaufstellung in der Röntgenschablone eingearbeitet wurde und somit auch im 3-D-Bild zu erkennen ist. Wichtig ist, dass sich das virtuelle Implantat sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Ausrichtung wie eine Zahnwurzel unter der radioopaken Kronendarstellung im Knochen einordnen lässt. Lässt die Knochensituation dies nicht zu, kann durch eine Veränderung der Winkelstellung des Implantates versucht werden, die Diskrepanz zu kompensieren. Da die spätere Verbindung von Implantat zur Krone möglichst nicht zu stark abgewinkelt sein sollte, sind die Grenzen hierbei schnell erreicht. In diesen Fällen ist ein Knochen aufbauendes Verfahren indiziert, welches das Knochenangebot in der Art verändert, dass es idealerweise ein Implantat zulässt, das zur prothetischen Zielsetzung passt.

► **Eine „flapless surgery“ sollte an eine 3-D-Diagnostik mit Führungsschablone gebunden sein**

Im vorliegenden Beispiel (■ **Abb. 3**) ist eine 3-D-Führungsschablone bei günstigem Knochenangebot zur „flapless surgery“ vorgesehen. Das Handstück mit Implantatfräse wird zunächst nicht bis auf Anschlag (Tiefenstopp) geführt. Es empfiehlt sich zuerst eine Kontrolle der umgebenden Gewebe. Zu Beginn einer „flapless surgery“ mit 3-D-Führungsschablone sollte zudem die klinische Situation regelmäßig mit der Planungssituati-

on im Computer verglichen werden. Eine Hilfe ist z. B. der Richtungsindikator, der eine Beurteilung der Achsneigung zulässt und den Vergleich mit der Planung vereinfacht. Zudem sollte nach dem ersten Bohrvorgang auch das zirkuläre Knochenangebot durch leichtes Sondieren kontrolliert werden. Eine Stanzung der Gingiva im Durchmesser des späteren Implantates erleichtert diese Kontrolle. Erst dann wird das Handstück auf Anschlag geführt und es erfolgen die anschließenden erweiternden Bohrvorgänge. Die Führungsschablone sollte zur Kontrolle während des Eingriffs regelmäßig abgenommen werden, beim zahnlosen Kiefer sind hierfür Interimsimplantate mit einer Konus- oder Kugelverbindung zur Führungsschablone zu empfehlen. Beim teilbezahnten Patienten ist die Abstützung über die Zähne in der Regel ausreichend. Gegebenenfalls kann im stark reduzierten Restgebiss – vergleichbar mit dem zahnlosen Kiefer – eine zusätzliche Abstützung geschaffen werden.

Eine „flapless surgery“ sollte grundsätzlich an eine 3-D-Diagnostik mit Führungsschablone gebunden sein und bedarf einer kritischen Indikationsstellung und chirurgischen Vorgehensweise.

Fallbeispiel 2 – Sinuslift

Auch beim Sinuslift (■ **Abb. 5**) hat die 3-D-Analyse ihre Berechtigung. Neben der Ausdehnung der Kieferhöhle oder der Darstellung der Septen ist das Ausmaß des Knochenangebotes unterhalb des Sinus maxillaris in Hinblick auf die Entscheidung eines ein- oder zweizeitigen Vorgehens von Bedeutung. Lässt sich bei der Vermessung dieses Knochenareals erkennen, dass etwa ein Drittel des virtuellen Implantates zirkulär von ortständigem Knochen umgeben ist, kann eine modifizierte minimalinvasive Vorgehensweise der externen Sinusbodenelevation vorgenommen werden (■ **Abb. 5**). Die Schnitfführung ist hierbei lediglich auf eine leicht bogenförmige Schnitfführung im Vestibulum begrenzt. Aufgrund der Berechnungsdaten lässt sich die Lage des geplanten Kieferhöhlenzugangs exakt bestimmen und die Schnitfführung vorab festzulegen. Die Sinusbodenelevation wird dann wie gewohnt durchgeführt, wo-

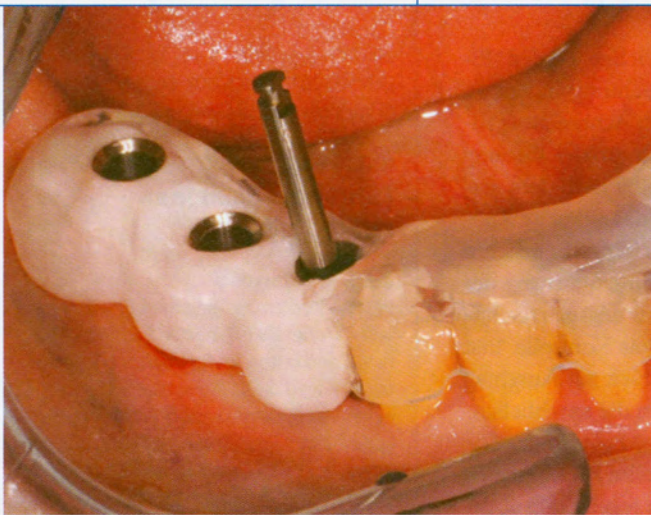


Abb. 3 ◀ 3-D-Führungsschablone bei günstigem Knochenangebot, vorgesehen für einen transgingivalen Eingriff („flapless surgery“)



Abb. 4 ◀ Eingesetzte Implantate unmittelbar nach dem Eingriff (vgl. Abb. 3)

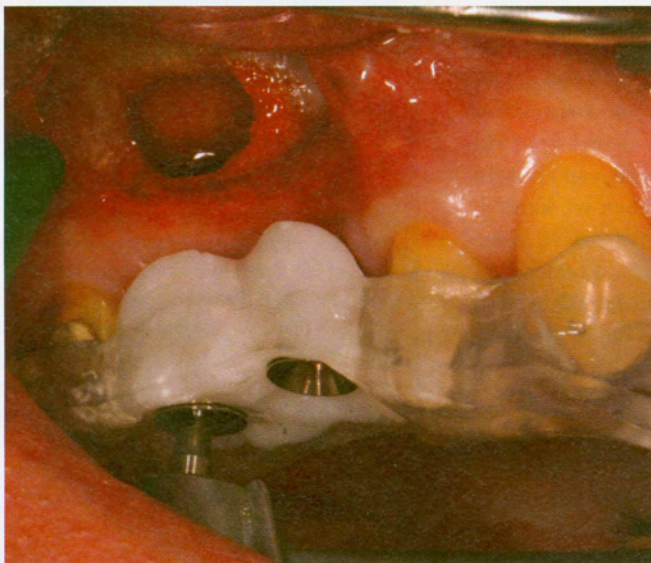


Abb. 5 ◀ Sinusbodenelevation mit modifizierter, leicht bogenförmiger Schnittführung im Vestibulum unter Erhalt der fixierten Gingiva des Alveolarfortsatzes und transgingivaler Insertion des Implantates mithilfe der Führungsschablone

bei auch hier die dreidimensionale Analyse eine genaue Vorstellung über Präparationsausdehnung und Kieferhöhlenstruktur im Vorfeld vermittelt und im Eingriff eine zusätzliche Sicherheit gibt. Abschließend werden die Implantate mithilfe der Führungsschablone transgingival eingesetzt.

Fallbeispiel 3 – Splitting

Auch die Vorhersagbarkeit eines Bone Splittings (■ **Abb. 6**) profitiert von einer 3-D-Analyse, da die apikale Knochen-dimension bekannt ist und im Eingriff nicht wie üblich dargestellt werden muss. Im Beispielfall konnte aus diesem Grunde lediglich ein erweiterter Kieferkamm-schnitt gewählt werden. Wird die erste (1,5–2 mm) Spiralbohrung mit der 3-D-Führungsschablone durchgeführt, ist die Achsrichtung vorgegeben, in welcher die Knochenspaltung oder auch -spreizung erfolgen soll. Mit einem schmalen Instrumentenaufsatz des Piezosurgery® (Rocker & Narjes GmbH, Köln) wird ausgehend von dieser Bohrung der gesamte Spaltbereich angelegt bzw. erweitert. Die darauf folgenden Aufspreizungsschritte – in diesem Beispiel (■ **Abb. 6**) mit einem speziellen Bone-Splitting-System (Split-Control, Hager & Meisinger, Neuss) – werden somit in der dreidimensional berechneten Achsrichtung geführt. Eine Mobilisierung der Segmente ist mit wenig Kraft-einwirkung allein durch die Wirkung des Spreaders möglich. Es kommt zur sukzessiven Aufdehnung des Spaltes, der das Einbringen eines Implantates ermöglicht. Da auf vertikale Knochenentlastungen verzichtet wurde, hat sich im Beispielfall eine unbedenkliche nicht durchgängige Knochen(in)fraktur in der Mitte des vestibulären Knochens ergeben.

Fallbeispiel 4 – strategische Pfeiler

Beim zahnlosen Kiefer oder im stark reduzierten Restgebiss bieten die Hart- und Weichgewebestrukturen häufig nur wenig Anhalt für eine prothetisch günstige Positionierung von Implantaten. Die virtuelle Implantatplanung im Abgleich mit der prothetischen Zielsetzung, die in der Röntgenschablone enthalten ist, gibt Aufschluss über Möglichkeiten und Grenzen

des Implantatlagers sowie der exakten Positionierung der Implantatpfeiler unterhalb der geplanten Suprakonstruktion (■ **Abb. 7, 8**).

Neben der exakten Umsetzung der prothetischen Zielsetzung erlaubt die 3-D-Diagnostik die sichere Indikationsstellung und präoperative Einschätzung eines Knochen aufbauenden und/oder verbessernden Verfahrens, die Führungsschablone ergänzt diese Eingriffe in modifizierter Anwendung (z. B. als „Splittingvektor“ beim Bone Splitting).

Diskussion

Die Technik der 3-D-Führungsschablonen verspricht gegenüber der Standardvorgehensweise eine präzise Umsetzung der präimplantologischen (virtuellen) Planung. Im Rahmen von In-vitro-Studien wird die Exaktheit des Verfahrens mit einem möglichen Transferfehler von weniger als 1 mm Positionsabweichung oder weniger als 5° Winkelabweichung angegeben. Studien bezüglich der Überprüfung der klinischen Umsetzungsgenauigkeit der 3-D-Führungsschablonen sind selten. Widmann u. Bale [17] stellen hierzu in einer Übersicht fest, dass es weiterer Studien bedarf, die eine Reproduzierbarkeit des Verfahrens bestätigen. Denn auch heute können die Überprüfungsmöglichkeiten mit Anfertigung eines postoperativen dreidimensionalen Bildes und der dann möglichen Übereinanderlagerung (Imaging) mit der dreidimensionalen virtuellen Planung (aus strahlenhygienischen Gründen) nicht als Standard empfohlen werden.

Eigene Untersuchungen [11] ergaben, dass die Vorhersagbarkeit der geeigneten Implantatlängen und -durchmesser in nahezu 100% der Fälle (102 Patienten, n=250 Implantate) erfüllt war. Die vor dem Eingriff im dreidimensionalen Datensatz festgelegte chirurgische Vorgehensweise für eine „flapless surgery“ (n=147 Implantate) war ohne Ausnahme umsetzbar, während bei der Notwendigkeit eines augmentativen Verfahrens in 8 von 102 Implantateingriffen eine geringfügige Abänderung erfolgte. In 233 Implantatfällen wurde in der postoperativen Röntgenkontrolle keine, in 17 Fällen eine geringfügige Winkelabweichung (beim Vergleich der postope-

Abb. 6 ► Nachdem der berechnete Vektor des Splittings durch die 3-D-Führungsschablone mit einer schmalen Implantatfräse (1,5–2 mm maximal) vorgegeben wurde, kann der Spaltbereich durch Piezosurgery® angelegt und durch das Split-Control sukzessive erweitert bzw. gedehnt werden

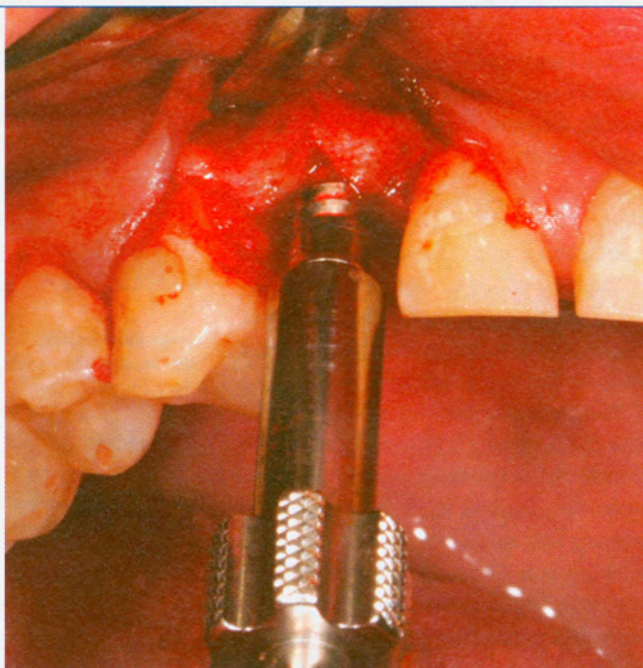
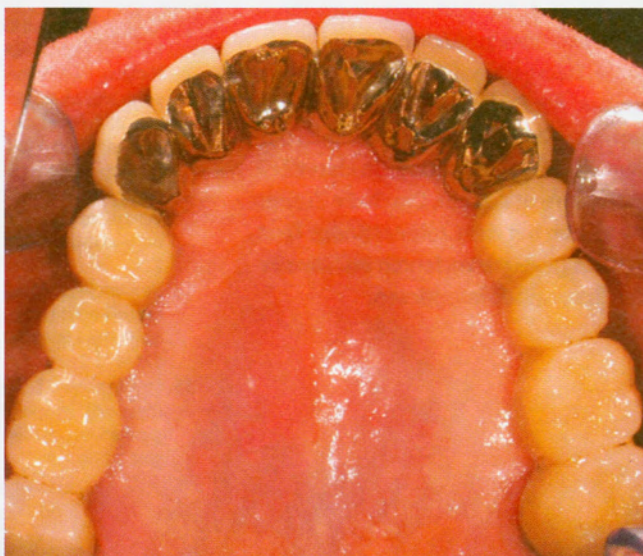


Abb. 7 ► Strategisch positionierte Implantatpfeiler zur Aufnahme einer teleskopierenden Brücke



Abb. 8 ► Teleskopierende Brücke mit günstiger Hygienefähigkeit und Kronenbrückengliedgestaltung wie bei feststehendem Zahnersatz



rativen Panoramaaufnahme mit der sagittalen Schnittebene der 3-D-Planung) festgestellt, die jedoch immer ohne klinische Auswirkungen war.

Fortin et al. [5] kamen bei der Anwendung von 3-D-Führungsschablonen bei 30 teilbezahnten und zahnlosen Patienten zu vergleichbaren Ergebnissen und berichteten von einem verlässlichen Schutz der Nachbarstrukturen sowie einer exakten Vorgabe der Implantatmaße.

Nachteile des Verfahrens sind der höhere diagnostische (Zeit)Aufwand, die höhere Strahlenexposition und die Investitionskosten. Zudem kann aus eigener Erfahrung mit mittlerweile mehr als 1000 mithilfe von Führungsschablonen eingesetzten Implantaten darauf hingewiesen werden, dass die größte Fehlerquelle des dargestellten 3-D-Verfahrens mit großer Wahrscheinlichkeit in der eigenen Planung liegt. Das heißt, es bedarf einer nachhaltigen Tätigkeit in diesem speziellen Feld der Diagnostik, um alle Vorzüge des Verfahrens ausschöpfen und die Strukturen im dreidimensionalen Bild verlässlich interpretieren zu können.

Letztlich bleiben die Vorzüge eines exakt durchgeplanten Eingriffs, der Vorhersagbarkeit für implantatchirurgische Verfahren, der Implantatmaße und -positionierung sowie der Vermeidung von Komplikationen.

Fazit für die Praxis

Neben dem höheren Material- und Kostenaufwand entsteht für den Praktiker mit der 3-D-Diagnostik ein nicht zu unterschätzender zusätzlicher Zeitaufwand. Demgegenüber profitiert die Praxis (und der Patient) von einer verlässlich vorhersagbaren Implantattherapie, die dem Team Sicherheit und ein klares Zeitmanagement erlaubt. Durch die Zusammenarbeit mit dem Zahntechniker lässt sich das gezeigte Verfahren mühelos in den Praxisalltag integrieren.

Korrespondenzadresse

Dr. H.J. Nickenig



Zahnmedizin,
Fliegerhorst Wahn
Flughafenstraße 1,
51127 Köln
dr.a.nickenig@t-online.de

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- Besimo CE, Lambrecht JT, Guindy JS (2000) Accuracy of implant treatment planning utilizing template-guided reformatted computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 29: 46–51
- Bier J, Lüth T (2005) Navigation in der Implantologie. *Z Zahnärztl Implantol* 4: 232–237
- Casap N, Tarazi E, Wexler A et al. (2005) Intraoperative computerized navigation for flapless implant surgery and immediate loading in the edentulous mandible. *Int J Oral Maxillofac Implants* 20: 92–98
- Choi M, Romberg E, Driscoll CF (2004) Effects of varied dimensions of surgical guides on implant angulations. *J Prosthet Dent* 92: 463–469
- Fortin T, Bosson JL, Coudert JL, Isidori M (2003) Reliability of preoperative planning of an imaged-guided system for oral implant placement based on 3-dimensional images: an in vivo study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 18: 886–893
- Gaggl A, Schultes G, Karcher H (2001) Navigational precision of drilling tools preventing damage to the mandibular canal. *J Craniomaxillofac Surg* 29: 271–275
- Hümmeke S, Voßhans J, Esser E (2004) Navigierte Implantatchirurgie im klinischen Einsatz. *Z Zahnärztl Implantol* 20: 80–85
- Hoffmann J, Westendorff C, Gomez-Roman G, Reinert S (2005) Accuracy of navigation-guided socket drilling before implant installation compared to the conventional free-hand method in a synthetic edentulous lower jaw model. *Clin Oral Implants Res* 16: 609–614
- Naitoh M, Arijji E, Okumura S et al. (2000) Can Implants be correctly angulated based on surgical templates used for osseointegrated dental implants? *Clin Oral Implants Res* 11: 409–414
- Nickenig HJ, Spiekermann H (2006) CT/DVT-basierte implantatprothetische Führungsschablonen vs. traditionelle Orientierungsschablone. *Z Zahnärztl Implantol* 4: 272–280
- Nickenig HJ, Eitner S (2007) Reliability of implant placement after virtual planning of implant positions using cone beam CT data and surgical (guide) templates. *J Craniomaxillofac Surg* 35: 207–211
- Sarment DP, Sukovic P, Clinthorne N (2003) Accuracy of implant placement with stereolithographic surgical guide. *Int J Oral Maxillofac Implants* 18: 571–577
- Spiekermann H (1994) Spezielle implantologische Diagnostik. In: Spiekermann H (Hrsg) *Implantologie. Farbatlanten der Zahnmedizin*. Thieme, Stuttgart, S 116–118
- Steenberghe D van, Glauser R, Blomback U et al. (2005) A computed tomographic scan-derived customized surgical template and fixed prostheses for flapless surgery and immediate loading of implants in fully edentulous maxillae: a prospective multicenter study. *Clin Implant Dent Relat Res* 7 (Suppl 1): 111–120
- Wagner A, Wanschitz F, Birkfellner W et al. (2003) Computer-aided placement of endosseous oral implants in patients after ablative tumour surgery: assessment of accuracy. *Clin Oral Implants Res* 14: 340–348
- Widmann G, Widmann R, Widmann E et al. (2005) In vitro accuracy of a novel registration and targeting technique for image guided template production. *Clin Oral Implants Res* 16: 502–508
- Widmann G, Bale RJ (2006) Accuracy in computer-aided implant surgery – a review. *Int J Oral Maxillofac Implants* 21: 305–313