

Die Verwendung von Bohrschablonen bei der nervnahen Implantatinserterion

Die Versorgung der Freiendsituation im Unterkiefer wird immer noch als Herausforderung eingestuft, da neben der Atrophie des meist kortikalen Knochens wichtige anatomische Strukturen verletzt werden können. Eine detailgetreue präoperative Planung und Umsetzung kann heute durch integrierte Systeme der digitalen Volumentomografie mit der schablonengestützten Implantation erfolgen.

Dr. Jörg Neugebauer, Dr. Lutz Ritter, Dr. Julia Kenter-Berg, Dr. Timo Dreiseidler, Priv.-Doz. Dr. Dr. Robert Mischkowski, Prof. Dr. Dr. Joachim E. Zöller/Köln

■ Osseointegrierte Implantate ermöglichen bei uni- oder bilateralen Zahnverlust die Eingliederung eines festsitzenden Zahnersatzes. Jedoch kann das vertikale und horizontale Knochenangebot durch Atrophie des Alveolarfortsatzes reduziert sein.¹² Dabei ist besonders im Unterkiefer die genaue Analyse der anatomischen Strukturen notwendig, um eine Implantatinserterion in einer qualitativ für die Osseointegration geeigneten Knochenstruktur zu ermöglichen.²³ Bei einer ausgeprägten Kortikalis sollte der Durchmesser des Implantates so gewählt werden, dass eine ausreichende Nutrition der vestibulären, kortikalen Lamelle und eine Abdeckung der Implantate mit 1,5 bis 2 mm Knochen gewährleistet ist. Neben dem reduzierten Knochenangebot ist im posterioren Unterkiefer auch die genaue Lagebestimmung der Fovea sublingualis, des Nervkanals mit der Ausdehnung des Foramens mentale, zu beachten.¹² Zum Schutz dieser Strukturen wird die Anwendung von kurzen Implantaten empfohlen.^{14,21} Dies kann jedoch auch Einschränkungen erfahren, da je nach Atrophie nur noch ein sehr reduziertes Knochenlager zur Verfügung steht und daraufhin sehr lange Kronen notwendig werden. Die biomechanischen Aspekte werden heute kontrovers diskutiert²¹, dennoch ist auf jeden Fall eine zahntechnische Versorgung zu realisieren, die eine einfache Mundhygiene ermöglicht, um eine Periimplantitis zu vermeiden.²⁰ Sofern eine vertikale Augmentation zum Beispiel durch ein freies Transplantat von dem Unterkiefer retromolar oder der anterioren Beckenschaukel notwendig wird²⁴, ist für die Augmentation zunächst eine genaue Analyse des Knochenlagers notwendig. Nach der durchgeführten Kieferkammerkonstruktion liegen dann jedoch anatomisch veränderte Strukturen vor, die eine genaue Implantatplanung unter prothetischen Aspekten erfordert. Zur Planung und Ana-

lyse der exakten anatomischen Verhältnisse vor einer Implantation in unmittelbarer Nähe zum Mandibularkanal und der Insertion dentaler Implantate kann heute die dreidimensionale radiologische Diagnostik erfolgreich angewendet werden.⁹ Zu den derzeit verfügbaren Techniken zählen die Computertomografie (CT) und die digitale Volumentomografie (DVT), die auch als Kegelstrahl- oder Cone-Beam-CT (CBCT) bezeichnet wird.^{16,18}

Sowohl die klassische CT als auch die DVT basieren grundsätzlich auf ähnlichen Rekonstruktionsverfahren. Anstelle des fächerförmigen Röntgenstrahls, der in der klassischen CT das Absorptionsprofil einer Schicht auf einen Zeilendetektor abbildet, wird in der DVT durch einen Kegelstrahl das Absorptionsprofil eines ganzen Volumens auf einen Flächendetektor abgebildet. Moderne CT-Geräte bilden in der Zwischenzeit 64 oder mehr Schichten auf die entsprechende Zahl von Zeilendetektoren gleichzeitig ab, sodass der prinzipielle Unterschied der beiden Verfahren immer kleiner wird. Die DVT zeichnet sich in der sogenannten „dentalen digitalen Volumentomografie“ neben der kompakteren Bauweise vor allem durch die wesentlich geringere Strahlendosis bei gleichzeitig höherer räumlicher Auflösung gegenüber der klassischen Computertomografie aus. Dieser technische Unterschied bedingt die klinischen Vorteile der DVT in der Zahnmedizin. Gegenüber der klassischen CT wird in der dentalen DVT eine hohe räumliche Auflösung benötigt, um feine Strukturen wie Peridontalspalt und Wurzelkanäle beurteilen zu können.^{2,15} Dies sollte nach Möglichkeit ohne zusätzliche Strahlenbelastung gegenüber z.B. einer Panoramaaufnahme oder eines Zahnstatus erfolgen. Gleichzeitig ist die Differenzierung unterschiedlicher Weichteilgewebe, z.B. Fett gegenüber Muskel, selten erforderlich, sodass ein höherer Rauschan-



Abb. 1: Implantatplanung für 13 mm lange Implantate mit 1 bis 2 mm Sicherheitsabstand zum Nervkanal und ausgeprägter Fovea sublingualis. – **Abb. 2:** Verwendung von angulierten Standardaufbauten für das XiVE-System (DENTSPLY Friadent) zur Kompensation der Implantatachse bei linguale Inklination. – **Abb. 3:** Prothetische Versorgung mit Einzelkronen.

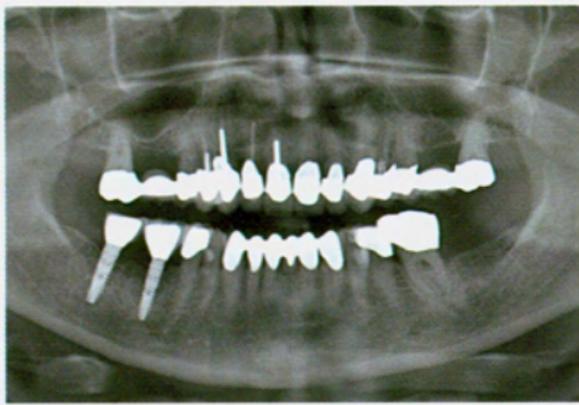


Abb. 4: Radiologische Kontrolle der Implantate bei nervnaher Insertion ohne Anzeichen einer basalen Perforation.

teil bedingt durch die niedrige Dosis der dentalen DVT akzeptiert werden kann. Diese unterschiedlichen diagnostischen Notwendigkeiten erklären somit auch den grundsätzlich unterschiedlichen Bildeindruck zwischen CT und dentaler DVT, der sich vor allem in der Fähigkeit, Oberflächen rekonstruieren zu können, aber auch in der Anfälligkeit gegenüber Metallartefakten widerspiegelt.

Implantatplanung

Basierend auf dreidimensionalen radiologischen Bilddaten können heute computergestützte Systeme zur Planung von dentalen Implantaten verwendet werden.^{4,8,19} Hierdurch lassen sich die anatomischen Gegebenheiten sowie die Informationen zur geplanten prothetischen Versorgung integrieren und übersichtlich darstellen. Zunächst wird eine prothetische Planung in Form eines konventionellen prothetischen Wax-ups erstellt, welche anschließend in eine aus Bariumsulfat dotierten kunststoffproduzierten Aufstellung (X-Resin, bredent, Senden) überführt wird.¹⁰ Damit für den weiteren Arbeitsablauf die Position der Schablone für die Herstellung einer Bohrschablone genutzt werden kann, ist es erforderlich, dass eine systemspezifische Referenz angebracht wird. Bei dem hier verwendeten System (SICAT Implant, siCAT, Bonn) wird eine transparente Platte mit Glaskugeln auf der in Bariumsulfat dotierten kunststoffumgesetzten Aufstellung fixiert. Die so erstellte Scan- oder Röntgenschablone wird vom Patienten während des nun folgenden dreidimensionalen Röntgenscans getragen, sodass bei der Analyse der DVT nicht nur die knöcherne Information erkennbar ist, sondern zusätzlich auch die prothetische Information in Form der röntgendichten Bariumsulfataufstellung zu beurteilen ist. Die Software ermöglicht es nun, virtuelle Implantate zu planen, sodass eine optimale Position aus prothetischer Anforderung einerseits und anatomischer Gegebenheit andererseits erzielt werden kann.¹⁰

Um systemunabhängig und effizient arbeiten zu können, sollten für die dentale Implantatplanung folgende Randbedingungen erfüllt sein. Eine automatische Datenanalyse des Datensatzes und Optimierung auf die zur Implantologie notwendige Knochendarstellung, sodass zeitaufwendige Konvertierungen beim Einlesen der Röntgendaten entfallen. Da die Verbreitung der digitalen Volumentomografie noch nicht flächendeckend gegeben ist, sollte eine Softwareplattform zur Verfügung stehen, die sowohl die Verarbeitung einer klassischen CT als auch der verschiedenen dentalen DVT-Datensätze erlaubt. Besonders die hohe Datenmenge moderner hoch-



Abb. 5: Ausgeprägte Atrophie im Unterkiefer beidseits ohne Möglichkeit der Anwendung von kurzen oder durchmesserreduzierten Implantaten. – **Abb. 6:** Situation zwei Monate nach Unterkieferrekonstruktion mit freiem Beckenkammtransplantat. – **Abb. 7:** Wax-up zur Simulation der prothetischen Versorgung zur Herstellung eines festsitzenden Zahnersatzes.



Abb. 8: Umsetzung des Wax-ups in Bariumsulfat dotierten Kunststoff. – **Abb. 9:** Fixierung der SICAT-Referenzplatte zur Vorbereitung der Herstellung einer Bohrschablone. – **Abb. 10:** Implantatplanung nach erfolgter Beckenkammaugmentation mit Standardimplantaten.

auflösender DVT-Geräte muss ohne individuelle Auswahlfenster oder Arbeitsschritte verarbeitet werden können. Die Analyse des Knochenangebotes erfordert für die Implantatplanung eine zuverlässige Diagnostik, sodass nicht nur die volumetrische Information entnommen werden kann, sondern auch die Detailstrukturen des Knochens und umliegenden Weichgewebes bestimmt werden können. Für die Unabhängigkeit zur Auswahl der Implantattherapie sollte eine möglichst große Auswahl an Systemen und Herstellern gegeben sein. Neben der Visualisierung der Implantatkörper ist dabei

auch eine Markierung wichtiger Strukturen wie zum Beispiel des Mandibularkanals von Bedeutung. Da nicht immer alle DVT unter optimalen Bedingungen durchgeführt werden können, ist es wichtig, dass die Planung unabhängig von Metallartefakten oder Rauschen der Schnittbilder durchführbar ist. Besonders bei umfangreichen Planungen spielt eine schnell verfügbare und eindeutige Dokumentation für die Operationsvorbereitung eine große Rolle, damit die durch schablonenunterstützte Implantatinsertion besonders bei kritischen Abständen intraoperativ nachvollzogen werden kann.



Abb. 11: Überprüfung der Position der Bohrschablone und Markierung der Implantatposition für Inzision. – **Abb. 12:** Darstellung des regenerierten Beckenkammtransplantats links. – **Abb. 13:** Zustand nach Implantatinsertion.



Abb. 14: Eingliederung des für die Behandlungszeit modifizierten herausnehmbaren Zahnersatzes. – **Abb. 15:** Neuversorgung des Unterkiefers mit festsitzendem Zahnersatz. – **Abb. 16:** Radiologische Kontrolle der Implantate im regenerierten Beckenkammtransplantat.

Bohrschablonen bzw. Navigation

Um den besonderen Anforderungen der modernen 3-D-Bildgebung gerecht zu werden, sollten sowohl Bohrerschablonen als auch Navigation^{17,22} unabhängig von Metallartefakten, z.B. verursacht durch die Restbeziehung, herstellbar und anwendbar sein. Bei der schablonengestützten Chirurgie ist in Routinefällen die Führung der initialen Bohrung ausreichend. Bei geringem Knochenangebot zeigt jedoch eine auch vollständig geführte Chirurgie Vorteile, da das vorhandene Knochenangebot optimal genutzt werden kann.⁵ Da bei geringem Sicherheitsabstand ein genauer und sicherer Sitz der Schablone für die benötigte Genauigkeit erforderlich ist, sollte der Sitz vor der Operation oder besser bereits bei der Röntgenaufnahme überprüft werden.

Klinische Anwendung

Zur Implantation im posterioren Unterkiefer wird die radiologische Diagnostik mittels DVT zur Bestimmung der Restknochenhöhe und der Kontur des Alveolarfortsatzes durchgeführt. Bei Verwendung eines DVT-Gerätes mit ausreichender Volumengröße, wie zum Beispiel des GALILEOS (Sirona, Bensheim), lässt sich hierbei eine beidseitige Freundsituation vollständig darstellen, sodass neben dem Verlauf des Mandibularkanals auch die Ausdehnung der Fovea sublingualis abgeklärt werden kann.³ Die Darstellung mittels koronarer Schichten hat sich hierbei zur Diagnose der Lage des Mandibularkanals bei geringer Spongiosastruktur bewährt. Neben diesen kann weiterhin die Konfiguration des Foramen mentales genau evaluiert werden, damit ein anteriorer Loop, eine mehrfache Ausprägung des Foramens oder der anteriore Verlauf zur Restbeziehung erkannt werden.¹¹ Hierzu wird eine frei positionierbare Schicht entsprechend dem Verlauf des Mandibularkanals ausgerichtet, sodass dieser in seiner vollen Ausbreitung zur Darstellung kommt. Im System steht eine Funktion zur Verfügung, über die in den verschiedenen Schichten Punkte gesetzt werden können, die dann den Mandibularkanal farblich darstellt und zur Orientierung bei der Implantatplanung dient. Anschließend kann mittels integriertem Messwerkzeug die noch vorhandene Restknochenhöhe exakt ausgemessen werden.¹⁶ Alternativ kann sofort mit einer Implantatplanung begonnen werden. Hierzu wird ein virtuelles Implantat zunächst in der OPG-Rekonstruktion annäherungsweise positioniert. Der Darstellung des Implantats liegen dabei die vom Implantathersteller bereitgestellten CAD-Daten des Implantats zugrunde. Somit wird das virtuelle Implantat dimensionstreu angezeigt. Anschließend kann zu einer speziell für die Implantatplanung konfigurierten Ansicht gewechselt werden. Diese zeigt eine OPG-Rekonstruktion zur Übersicht sowie zwei orthogonal aufeinanderliegende Schnitte, die das aktuelle Implantat im Zentrum darstellen. Wird das Implantat verschoben oder gekippt, folgt die Ansicht automatisch und fokussiert wieder auf das Implantat. Mittels der auf das Implantat ausgerichteten axialen Schicht kann das Implantat im Querschnitt sowie in der Verlängerung der Achse des Implantats auch das Verhältnis zur geplanten Prothetik dargestellt werden. So ist es möglich, auf effiziente Weise eine optimale Position für jedes Implantat zu erarbeiten, damit auch bei reduzierter Restknochenhöhe eine Erfolg versprechende Primärstabilität erreicht werden kann. Falls nötig, kann die Implantatlänge und der Durchmesser interaktiv verändert werden. Dieser Vorgang dauert beim geübten Anwender pro Implantat ca. eine Minute. Somit ist diese Art der Visualisierung auch



Abb. 17: SICAT-Planungsreport für die Insertion von zwei 10-mm-Implantaten mit leicht supra-krestaler und paranervaler Implantatposition.



Abb. 18: Geführte Implantatpräparation für den Finalbohrer (ICX, medentis). – **Abb. 19:** Maschinelle Implantatinsertion im kortikalen atrophien Unterkiefer. – **Abb. 20:** Gering suprakrestale Implantatposition zur Ausnutzung des vorhandenen Knochenangebotes.

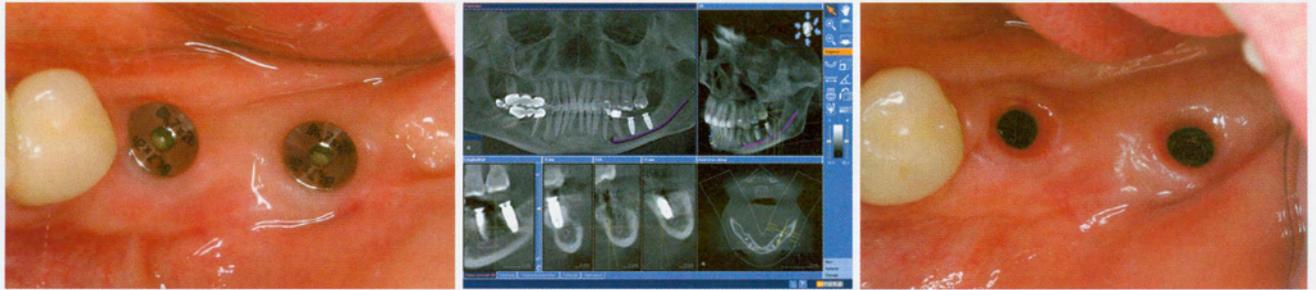


Abb. 21: Transgingivale Einheilung zur Vermeidung einer weiteren Deperiostierung bei der Freilegungsoperation. – **Abb. 22:** Radiologische Kontrolle der Implantate mittels DVT bei sehr nervnaher Implantatpositionierung. **Abb. 23:** Reizlose Schleimhautverhältnisse zum Zeitpunkt der prothetischen Versorgung.

„chairside“ in Anwesenheit des Patienten realisierbar, was die Kommunikation mit dem Patienten besonders für die Risikoaufklärung erleichtert. Hierzu kann auch die zusätzlich vorhandene 3-D-Visualisierung verwendet werden, die von den Patienten häufig als besonders intuitiv empfunden wird.

Zur Abwägung von Alternativen ist es auch möglich, mehrere Pläne zu erstellen und zu vergleichen, was vor allem bei komplexeren Fällen die Zusammenarbeit und Kommunikation zwischen prothetisch tätigem Zahnarzt und implantierenden Chirurgen erheblich erleichtern kann. Ist die Planung abgeschlossen, wird zunächst durch einen Knopfdruck ein Report über die aktuelle Planung automatisch erstellt, welche dann auch gedruckt werden kann. Hierauf finden sich Position und Bezeichnung der Implantate sowie automatisch generierte Bilder von der Implantatplanung, die zur Übersicht verwendet werden können. Der Planungsreport kann ebenfalls als nützliche Orientierung während des Eingriffes selbst verwendet werden. Zusätzlich kann eine Bohrschablone beim Hersteller bestellt werden, die CAD/CAM-gefertigt die am Rechner erstellte Planung umzusetzen hilft.¹⁹ Mithilfe der Bohrschablone sind geführte Pilotbohrungen sowie Erweiterungsbohrungen möglich.

Fazit

Die dreidimensionale Röntgendiagnostik mittels DVT ist heute für die Planung einer Implantation im posterioren Unterkiefer als ein vertretbarer Aufwand unter Berücksichtigung der Dosisbelastung und der zusätzlichen Information einzustufen.⁶ Die Strahlenbelastung ist gegenüber der kontrastreicheren Computertomografie deutlich niedriger.¹³ Die Genauigkeit der dreidimensionalen Systeme liegt

im Bereich von weniger als einem Millimeter, was für die meisten diagnostischen Fragestellungen sowie die Implantatplanungen auch mit den feinen Strukturen im Bereich des Mandibularkanals in der Regel ausreicht.¹⁷ Vor allem Geräte mit einem großen Volumen bieten durch ihr breites Anwendungsspektrum und übersichtliche Darstellung diagnostische Vorteile für oral- und kieferchirurgische, aber auch kieferorthopädische Anwendungen Vorteile. Die komplexe Anatomie des Gesichtsschädel kann überlagerungsfrei dargestellt, Befunde können abgesichert, metrisch exakt vermessen und dokumentiert werden.

Bei der Evaluation vor Implantation im Seitenzahnbereich des Unterkiefers kann die Operation optimal vorbereitet und die Implantatplanung entsprechend modifiziert werden. Der Softwareoberfläche kommt für die 3-D-Diagnostik eine höhere Bedeutung zu als das für 2-D-Diagnostik der Fall war – somit gilt es, hier einen Schwerpunkt bei der Betrachtung der verschiedenen Geräte zu setzen. Vorteilhaft sind dabei Lösungen, die die praktischen Belange des Zahnarztes berücksichtigen und einen optimalen Arbeitsablauf für die Praxis bieten. ■

Eine Literaturliste kann in der Redaktion angefordert werden.

■ KONTAKT

Dr. Jörg Neugebauer

Interdisziplinäre Poliklinik für Orale Chirurgie und Implantologie
Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie der Universität zu Köln
Direktor: Univ.-Professor Dr. Dr. J. E. Zöller
Kerpener Str. 32, 50931 Köln
E-Mail: Joerg.neugebauer@uk-koeln.de