

Autor
Anwender
Status
Aktuell
Kategorie
Anwenderbericht

Chancen und Risiken der Implantationsnavigation

Dr. Christoph Blum (Teil 1)

Besteht bei einer risikobehafteten Handlung die Möglichkeit einer positiven Auswirkung handelt es sich per definitionem um eine Chance, wird ein Ereignis mit möglicher negativer Auswirkung beschrieben um ein Risiko. In der Implantologie ist beides in die Waagschale zu werfen, um zu entscheiden, ob – und falls ja nach welchem Vorgehen – eine Behandlung erfolgen sollte. 3D-Bildgebung und Navigationshilfen bieten dabei eine verbesserte Sicherheit und eröffnen dem behandelnden Implantologen so zusätzliche Optionen.

Das Implantat als Chance

Aus Sicht des Patienten steht eine erfolgreiche implantologische Behandlung für den Ersatz eines oder mehrerer fehlender Zähne und das Fixieren mobilen Zahnersatzes sowie die Wiederherstellung von Kaufunktion, Ästhetik und Lebenskomfort. Aus Sicht des Zahnarztes unter rein funktionellen Gesichtspunkten stehen ein alternatives Befestigungskonzept (versus Brücke) und die Möglichkeit, Teil- / Totalprothetik sicher zu fixieren, im Fokus.

Risiko einer Implantation

Aber der Zahnarzt hat auch einige Risiken zu bedenken. Diese betreffen sowohl die anatomischen Gegebenheiten wie ein schmaler Kieferkamm und das operative Vorgehen, z. B. wenn ein Sinuslift erforderlich ist, als auch etwaige Grunderkrankungen des Patienten (Radiatio, Chemotherapie). Letzterer hat Schmerzen infolge des Aufschneidens und Knochenbohrens etc., Blutungen (Antikoagulation) sowie einen eventuellen Misserfolg (Herausfallen, Abstoßung) zu befürchten und muss gleichzeitig eine vergleichsweise hohe Eigeninvestition tätigen.

Klinischer Alltag

Liegt ein breiter Kieferkamm von 7-13 mm bei einer vertikalen Knochenhöhe von > 13 mm sowie eine Knochenqualität von D 1-2 vor und sind theoretisch gefährdete Nachbarstrukturen weit entfernt (N. alv. inf; Kieferhöhle) bei gutem Allgemeinzustand des Patienten, darf von einem implantologischen Routineeingriff gesprochen werden, der kaum Risiken birgt. Aber der klinische Alltag konfrontiert den Implantologen auch mit schmalen, teils messerscharf ausgeformten Kieferkammern von 2-6 mm, Knochenqualitäten im Bereich D 3-4, naheliegenden gefährdeten Nachbarstrukturen und reduzierten Allgemeinzuständen (Antikoagulation, Bestrahlung). In diesen Fällen kann durch Zuhilfenahme moderner Implantationsnavigation aus einem vergleichsweise hohen Risiko doch noch eine Chance werden.

Wer die wissenschaftliche Literatur^[1-6] studiert, stößt in erster Linie auf folgende Vorteile der navigierten Implantologie:

- Sichere reproduzierbare Positionierung der Schablone
- Ausreichend lange systembezogene Bohrhülse
- Stabile Fixierung der Bohrhülse in der Schablone
- Detailgenaue, verzerrungsarme Röntgendiagnostik
- Kompatible Software- und Implantatsysteme
- Verbesserte Lernkurve des Teams Zahnarzt-Chirurg-Zahntechniker.

Aber auch die navigierte Implantologie ist nicht frei von Risiken:

- Probleme bei der Schablonen-Positionierung im unbezahnten Kiefer (Abb. 1)
- Länge und Durchmesser der Bohrhülse



QR-Code scannen und den Beitrag auf Ihr Smartphone oder Tablet herunterladen!

- Lösen der Bohrhülsen im Bohrprozess
- Verzerrungen des Planungs-CT / DVT durch Beugung an Dichtegrenzen
- Abhängigkeit zwischen Guide-System und Software
- Komplexe Lernkurve des Teams Zahnarzt-Chirurg-Zahntechniker.



Abb. 1: Die fehlerhafte Positionierung / Fixierung der Bohrschablone führte in diesem Fall zum Verlust von einem Implantat und dem Versatz von drei Implantaten.

Notwendige Bildgebung

Voraussetzung für die navigierte Implantologie ist die Nutzung entsprechender bildgebender Verfahren. Zahnfilm-aufnahmen kommen nicht infrage wegen der fehlenden Darstellung von Mandibularkanal und Gegenbe-zahnung sowie der fehlerhaften Darstellung der Angulation. Auch zweidimensionale Panoramaschichtaufnahmen sind nur begrenzt geeignet: Sie dienen als Routineaufnahme der Grund-

lagendiagnostik, erlauben eine Schichtabbildung nur durch elliptische Bewegung des Rotationszentrums und ermöglichen so lediglich eine 2D-Implantationsplanung mit Referenzobjekt. Es ist keine Abschätzung der räumlichen Tiefe möglich und schräge Kieferkämme beispielsweise können daher verkannt werden.

Bestens geeignet hingegen ist das dreidimensionale Röntgenverfahren der Digitalen Volumentomografie. Hierbei werden bei einer rotierenden Bewegung von 191-360° um den Patienten 288 bis 1.024 Einzelbilder erstellt und zu einem 3D-Bild zusammengesetzt. Die Strahlendauer liegt je nach System zwischen 8,9 und 40 Sekunden. Es können Volumen von 3 x 3 cm, 5 x 5 cm, 8 x 8 cm bis hin zu 24 x 10 cm (Zylinder) dargestellt werden. Durch die digitale Verarbeitung wird eine Rekonstruktion aller Ebenen erzielt. Zudem wird eine hohe Bildqualität geboten, da u. a. geringere Artefakte durch Metalle entstehen. An Dichtegrenzen kommt es zu einer Aufhärtung. In unserer Praxis wird im Rahmen der Implantationsnavigation standardmäßig das dreidimensionale Röntgenverfahren der Computertomografie genutzt. Diese basiert auf hintereinander durchgeführten eindimensionalen Absorptionsprofilen, aus denen durch den Algorithmus der gefilterten Rückprojektion ein Volumenbild errechnet wird.

Tabelle 1 gibt die Strahlenexposition verschiedener Verfahren und Systeme wieder^[7-9].

	Effective Dosis in μSv	Vielfache Dosis einer PSA-Aufnahme	Dosis als % der jährlichen natürlichen Strahlung
PSA	~ 6	1	0,2
GALILEOS Default (Sirona Dental Systems, D-Bensheim)	29	5	1
ILUMA Default (ic med, D-Halle / Saale)	331	52	11
i-CAT ^[9] (Imaging Sciences International, US-Hatfield)	68	11	2,3
Planmeca ProMax (Adult) (Planmeca, FI-Helsinki)	210	33	7
NewTom ^[9] (NewTom, D-Marburg)	39	6	1,3
CT-Scan	2100	323	70

Tab. 1: Strahlenexposition im Vergleich.

Navigationsansätze im Vergleich

Navigationsysteme können in statische und dynamische Verfahren unterteilt werden. Letztere dienen einer Echtzeitnavigation entsprechend einer präoperativen Planung bei freier Bohrerführung und somit flexibler intraoperativer Gestaltungsmöglichkeit. Keine Abweichmöglichkeit von der präoperativen Planung besteht bei der starren Führung über eine Führungsschablone oder eine vollnavigierte Schablone.

Dynamische Navigation

Ein Beispiel für ein dynamisches Navigationssystem ist RoboDent (RoboDent, D-Ismaning), das ein optisches System mit Stereokameras und Trackern für die Echtzeitnavigation bei Freihandführung ohne Schablone nutzt. Es besteht aus einer Planungs- und Navigationssoftware (Premium 3.6.0), einem Computer mit 24"-Display, einer hochauflösenden Infrarot-Navigationskamera samt Rollstativ, autoklavierbaren Handstück- und Patiententrackern sowie einem Navigationsbogen für die Patientenregistrierung. Die präoperative Planung erfolgt nach CT / DVT mit Bisschlüssel. Intraoperativ besteht eine Echtzeit-Kontrolle über die angezeigte 3D-Animation (Zielkreis, Winkel-, Tiefenkontrolle). Von Vorteil ist der freie Zugang zum Patientenmund zur Spülung, Bohrerklärung etc. Außerdem bleibt der Chirurg flexibel und kann die Implantatposition bei Bedarf noch abändern. Allerdings setzt die Nutzung dieser Technik einen sehr erfahrenen und versierten Anwender voraus und die Investitionskosten betragen stolze 47.000,- Euro zzgl. 300,- bis 500,- Euro pro Fall.

Statische Navigation

Bei der einfachen Führungsschablone handelt es sich um eine laborgefertigte Schiene (tiefgezogen) mit Bohrhülse für die Bohrerpositionierung und -führung bei der Pilotbohrung (Abb. 1 und 2). Gemäß einer Implantationsplanung nach PSA und Dreisatz in zwei Dimensionen entspricht die Bohrhülse der prothetischen Position und Achse der geplanten Krone. D. h. die Hülsenausrichtung erfolgt nach Kieferkammschnitt oder Bonemapping und nach prothetischen Gesichtspunkten. Von Vorteil ist hierbei neben der Berücksichtigung des späteren Zahnersatzes, dass eine geringere Positionsabweichung (~ 2 mm) und Angulationsabweichung ($5-14^\circ$) als bei einer Freihandführung erzielt

wird und das Verfahren auch in Kombination mit Augmentationen einfach eingesetzt werden kann. Die Vorbereitungszeit beträgt lediglich drei bis fünf Tage und die Kosten belaufen sich auf etwa 200,- bis 300,- Euro pro Fall. Allerdings bietet die Führungsschablone keine Kontrolle der Bohrtiefe und es besteht die Gefahr, dass der Bohrer bei der Erweiterung des Bohrstollens ausläuft (Abb. 4). Außerdem muss ein ausreichendes Knochenangebot vorliegen. Abutments sind nur bedingt planbar, nicht mit Angulation.



Abb. 2: Einfache Führungsschablone für die Pilotbohrung ...



Abb. 3: ... mit Hülsenausrichtung gemäß Planung nach Kieferkammschnitt oder Bonemapping.

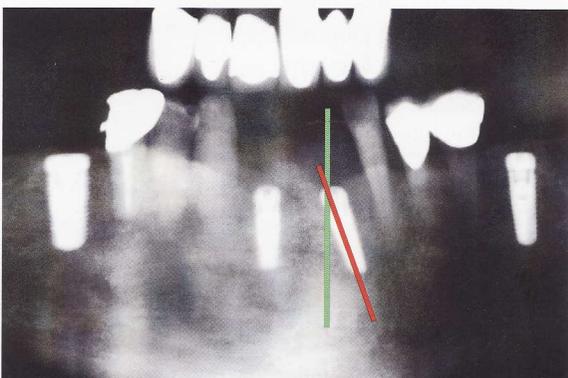


Abb. 4: Bei Erweiterung des Bohrstollens ist der Bohrer ausgelaufen.

Bei einer vollnavigierten Schablone handelt es sich um eine komplexe zahntechnische Schiene (Abb. 5). Sie basiert auf einer Implantationsplanung nach DVT beziehungsweise CT in drei Dimensionen und unterstützt den Anwender durch Führung aller Bohrschritte inklusive der Implantatinsertion. Berücksichtigt wird dabei ein Wax-Up zur prothetischen Planung. Genutzt wird eine Navigationsschablone mit Barium-Sulfat-Zähnen in Kombination mit Messkugeln oder eine Schablone mit Messkugeln in Kombination mit STL-Daten eines Modellscans. Zu den Vorteilen zählen die hohe Positionsgenauigkeit mit Abweichungen von < 1 mm und die sehr geringen Angulationsabweichungen von $< 5^\circ$. Dies ermöglicht, dass der geplante Zahnersatz nicht nur absolute Berücksichtigung findet, sondern direkt umgesetzt wird. Der Anwender profitiert auch von einer sicheren Tiefenbegrenzung. Kieferkammaufbauten können unter maximaler Ausnutzung des Knochenangebots vermieden, Schmerzen und Schwellungen für den Patienten deutlich reduziert werden. Es ist jedoch eine zusätzliche DVT- oder CT-Aufnahme notwendig und es ist mit höheren Laborkosten von 400,- bis 500,- Euro zu rechnen. Außerdem beträgt der Planungsvorlauf etwa 10 bis 20 Tage.



Abb. 5: Vollnavigierte Schablone nach CT- / DVT-basierter Planung.

CTV für die statische Navigation

In unserer Praxis arbeiten wir in der Regel mit dem 3D-Diagnose- und Planungssystem CTV (PraxisSoft Dr. Dagmar Schaefer, D-Erfurt) (Abb. 6). Dieses ermöglicht verschiedene Vorgehensweisen, um digitalisierte Bilddaten wie CT- und DVT-Aufnahmen (integriertes DICOM-Importmodul) auszuwerten und mit der realen Patientensituation in Kor-

relation zu bringen. Außerdem wird der Anwender nicht auf die Verwendung von systemspezifischem Zubehör vorgegebener Hersteller festgelegt.

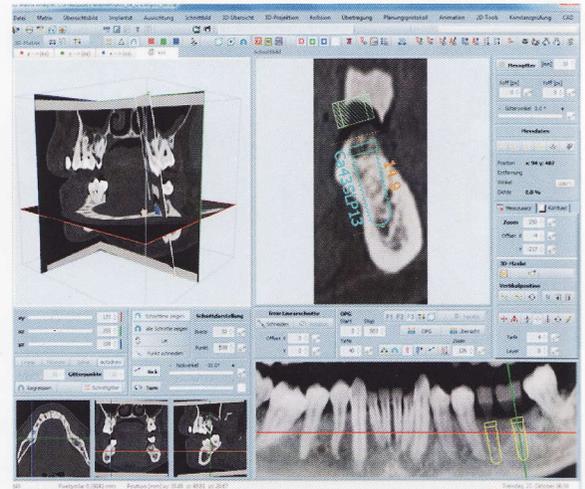


Abb. 6: Screenshot des CTV-Systems.

Wird das CTV-System nicht nur zu rein diagnostischen Zwecken genutzt, sondern soll eine Implantation – in der Regel minimalinvasiv transgingival – geplant werden, werden Referenzpunkte benötigt. Dazu wird eine patientenindividuelle Planungsschiene für den zu versorgenden Kiefer gefertigt. Die fehlenden Zähne werden auf dem Modell mit röntgenopaken Zähnen prothetisch sinnvoll ersetzt. Dann wird darüber eine Tiefziehschiene (3,5 mm Material) gefertigt. Entsprechend der Anleitung werden drei 2 mm-Alukugeln (alternativ Titan oder – nur bei DVT – auch Stahl möglich) parallel zur Tischebene außerhalb von möglichen Verstrahlungszonen in einer Ebene angebracht. Die Schiene trägt der Patient beim CT- oder DVT-Scan. Anhand der drei Referenzkugeln wird die Aufnahme im CTV-System entsprechend der realen Lage des Modells ausgerichtet (Abb. 7 bis 8).

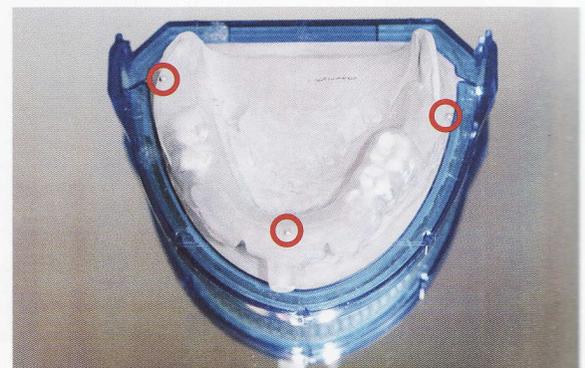


Abb. 7: Schiene mit drei Metallkugeln als Marker ...

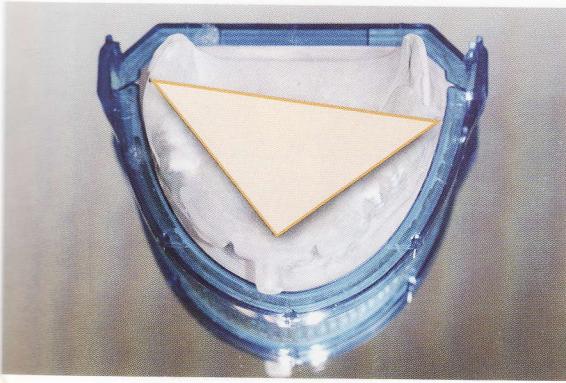


Abb. 8: ... für die Referenzebene.

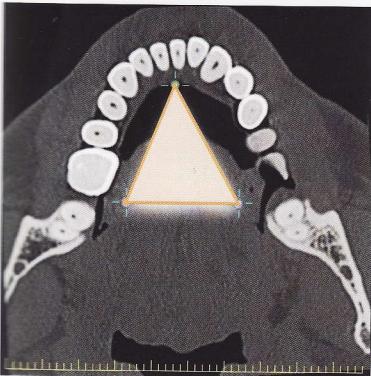


Abb. 9: Übertragung der Referenzebene in die Software.

Für die Bearbeitung der 3D-Daten im Analyse-Modul wurde ein spezieller quasi-analoger Bildprozessor entwickelt, mit dem Schnittbilder entlang beliebiger Schnittführungen im virtuellen 3D-Würfel verlustfrei erzeugt werden können. Die Darstellung erfolgt in der Grundeinstellung in gewohnter 2D-Ansicht. Zu diagnostischen und räumlichen Betrachtungen wird in eine 3D-Ansicht gewechselt, die beliebig in ihrer Lage sowie im alpha-Wert und ihrer räumlichen Anzeige verändert werden kann. Auch Videosequenzen sind erstellbar.

Die für die Planung der Implantatposition wichtigen orthogonalen Kieferkammschnitte können beliebig gekippt und / oder gedreht werden, um das potenzielle Knochenlager sicher beurteilen und die Implantate später in chirurgischer und prothetischer Hinsicht optimal setzen zu können. Die Auswahl der Implantate kann über das Implantattool (Implantat aus hinterlegten Datenbanken oder Universalimplantat) erfolgen oder über virtuelle Folien, welche analog der bekannten Röntgenplanungsfolien virtuell semitransparent über den Kieferkammschnitt gelegt werden können. Die gewählten Implantate sind auf dem Schnittbild frei beweglich. Mehrere Implantate

können automatisch unter Berücksichtigung der gewählten Abutmentwinkel parallelisiert werden. Dabei werden sie in das orthogonale Knochenlager rückjustiert. Zur Kontrolle wird die Lage des geplanten Implantates sowohl in der Übersicht als auch dreidimensional im 3D-Würfel, der sich links im Mainscreen befindet, angezeigt. Das Kollisionsmodul mit individuell einstellbaren Parametern ermöglicht eine schnelle visuelle Kontrolle der Abstände zwischen mehreren Implantaten sowie zwischen den Implantaten und dem N. Mandibularis. Speziell für die Darstellung des N. Mandibularis steht ein Nervmodul zur Verfügung.

Die virtuell gesetzten Implantate werden automatisch mit allen notwendigen Parametern in der Implantatliste erfasst. Zu den Implantatparametern gehören Implantatart, Position, Bohrtiefe, Abstand Implantat-Implantat und UK Implantat-N. Mandibularis und zu den Übertragungsparametern gehören Implantatart, Position, Bohrtiefe etc. Die für die minimalinvasive Insertion benötigten Bohrtiefen können bei entsprechend gestalteter Planungsschablone wahlweise knochen- oder gingivabezogen ermittelt werden.

Die Schablone für die minimalinvasive Insertion wird vorzugsweise aus 5 mm klarem Tiefziehmaterial hergestellt. Das Tiefziehen ermöglicht ein sehr gut sitzendes Insertionshilfsmittel, das aufgrund seiner Dicke ausreichend stabil ist. Die entsprechenden Bohrhülsen werden mit lichterhärtendem dentalen flüssigen Komposit beziehungsweise Bonding in die passend gebohrten Löcher der Bohrschablone eingeklebt. Im einfachsten Fall ist die Übertragung der Implantatposition auf das Modell respektive die Schablone manuell mit vorhandenen beziehungsweise laborüblichen Geräten zuverlässig und genau möglich. Zur besseren Winkelbestimmung stehen zum einen ein Winkelklapptisch mit Schwerkräften Sensoren und zum anderen ein Winkelkipptisch mit Rückmessung der manuell eingestellten Winkel zur Verfügung. Die Modelleinstellung ist arretierbar, sodass mit einer Ständerbohrmaschine oder am Frästisch gebohrt werden kann. Die Komfort-Lösung ist eine NC-Maschine, welche die Positionsdaten direkt aus dem CTV-System bezieht und anfährt. Das Bohren erfolgt in demselben Gerät, sodass das Modell lediglich ma-

nuell über die Referenzkugeln mit einem Laserkreuz einmalig einjustiert werden muss. Das Einsetzen der Bohrröhrchen wird wie bereits beschrieben vorgenommen. Alternativ kann der externe Service von PraxisSoft beauftragt werden, in gelieferte (nach entsprechender Anleitung gefertigte) Rohschablonen die Positionen nach dem mitgelieferten CTV-Datensatz zu übertragen und die Bohrhülsen zu setzen.

Fallbeispiele

Im Folgenden werden Patientenfälle aus unserer klinischen Praxis vorgestellt, bei denen die Implantation vollnavigiert unter Nutzung einer statischen Bohrschablone nach Planung mit CTV durchgeführt wurde.

Oberkieferversorgung

Bei dem ersten Fall handelt es sich um einen 46 Jahre alten männlichen Angstpatienten. Er ist beruflich selbstständig tätig und muss täglich in Kundengesprächen Präsenz zeigen. Im Oberkiefer war er von 13 auf 23 mit einer erweiterten Teleskopprothese versorgt (Abb. 10). Im Unterkiefer lagen von 37 bis 47 natürliche Zähne vor. Der Patient wünschte eine Neuversorgung mit festsitzendem Zahnersatz bei möglichst geringem Arbeitsausfall. Die Therapieplanung umfasste zunächst die Patientenvorbereitung (PZR, Mundhygieneinstruktion) und dann eine vollnavigierte Implantation in Analgosedierung mit provisorischer Versorgung (Abb. 11 bis 16). Abschließend erhielt der Patient eine verschraubt-zementierte Hybridversorgung auf sechs Implantaten und zwei Zähnen. Die Abbildungen 17 bis 19 zeigen, welcher täuschender Eindruck hinsichtlich der Lage der inserierten Implantate durch die zweidimensionale Darstellung vermittelt wird.

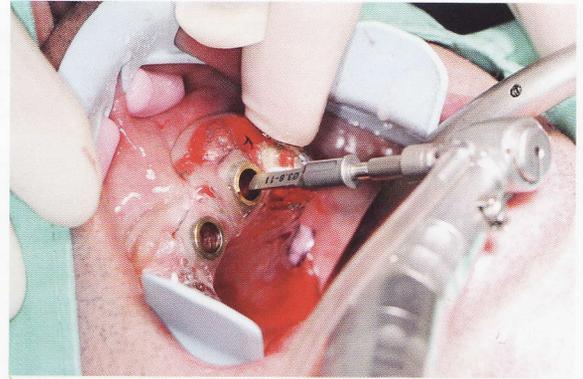


Abb. 11: Vollnavigierte Bohrung ...

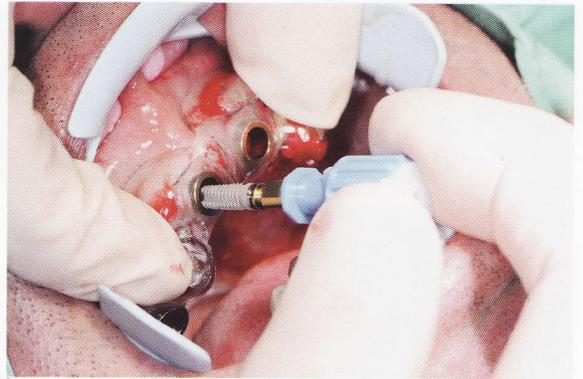


Abb. 12: ... und Implantatinsertion.

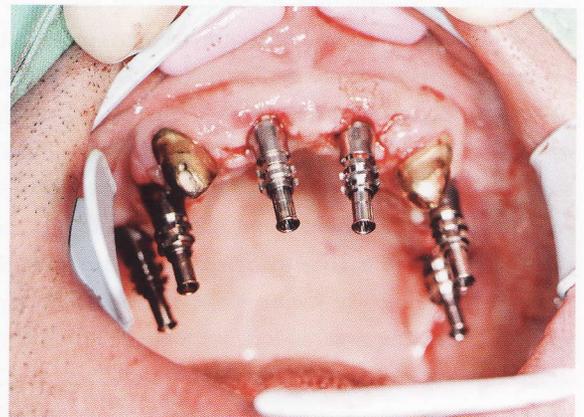


Abb. 13: Implantationsergebnis



Abb. 10: Erweiterte Teleskopprothese.

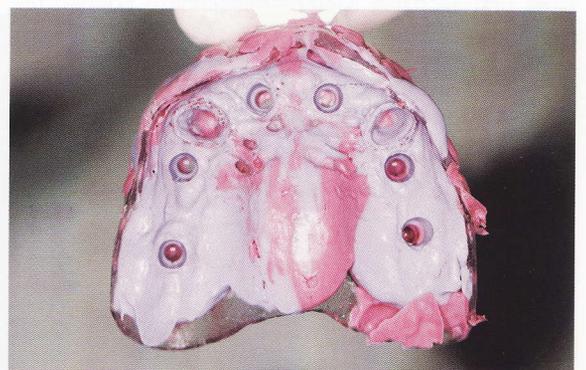


Abb. 14: Implantatabformung



Abb. 15: Provisorische Versorgung ...



Abb. 19: ... einen korrekten Eindruck der Position.



Abb. 16: ... in situ.

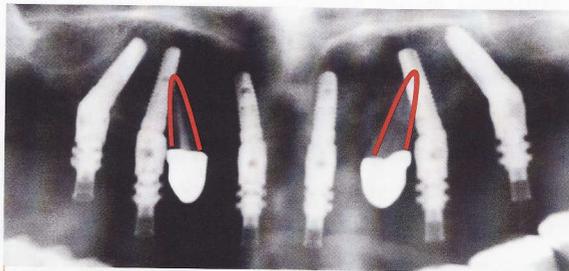


Abb. 17: Die 2D-Röntgenkontrolle täuscht hinsichtlich der Implantatlagen.

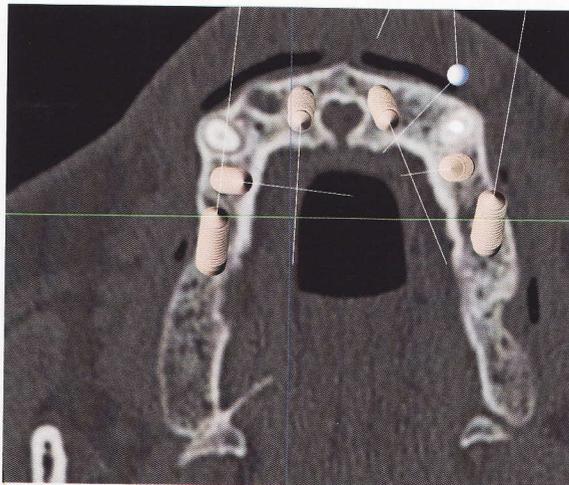


Abb. 18: Erst die 3D-Ansichten vermitteln ...

Dieser Beitrag wird in der Ausgabe Dezember 2012 der DIGITAL_DENTAL.NEWS fortgesetzt.

Das Literaturverzeichnis steht unter der Rubrik Inhalte > Aktuelle Ausgabe unter www.ddn-online.net zum Download bereit.

Dr. med. dent.
Christoph Blum
Bad Ems, Deutschland



- 2003-2008 Studium an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
- 2009 Stabsarzt d. R. der Bundeswehr
- 2009-2010 Weiterbildungsassistent für Oralchirurgie an der Paracelsusklinik in Bad Ems
- 2010-2012 Weiterbildungsassistent für Oralchirurgie an der MKG der St. Lukas Klinik in Solingen
- 2012 Leitung der Praxis für Oralchirurgie und Belegabteilung an der Paracelsusklinik in Bad Ems

Kontakt
info@oc-blum.de