

Navigationstechnik in der Implantologie – passgenaue Umsetzung der computergestützten Implantatplanung

Die Navigationstechnik in der Implantologie beinhaltet eine computergestützte 3-D-Planung auf der Grundlage eines 3-D-Röntgenbildes und die anschließende direkte Übertragung der Planungsdaten auf den Patienten. Der chirurgische Eingriff kann ohne Darstellung des Knochens „unblutig“ und möglichst mit direkter prothetischer Sofortversorgung erfolgen. Hinsichtlich ihrer Möglichkeiten stellt die Navigation einen „Quantensprung“ in der Implantologie dar. Über erste klinische Erfahrungen mit der neuen Technologie wird nachfolgend berichtet.

Die computergestützte Chirurgie umfasst die präoperative Planung und Simulation sowie die intraoperative Navigation¹³. Während die Computernavigation in anderen Bereichen der Medizin, z. B. in der Neurochirurgie oder in der Orthopädie (Wirbelsäulenchirurgie, Hüftgelenks-Endoprothesen etc.) bereits seit Jahren eine wichtige Hilfe darstellt^{2,4,10}, ist der Einsatz in der Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie bislang wenig verbreitet¹³. Verschiedene Faktoren spielten dabei eine Rolle, zunächst z. B. zu große Abweichungen von bis zu 5 mm bei Bohrvorgängen, dann mangelnde Übertragbarkeit von vielversprechenden Phantommodellen auf den klinischen Einsatz und schließlich mangelnde Anwenderfreundlichkeit nicht ausgereifter Geräte und Programme¹³.

In jüngster Zeit wurden nun einige erste Anwendungsberichte von in der Entwicklung befindlichen, teilweise auch klinisch



Abb. 1: Ausgangssituation: unilaterale Freie Endlücke im rechten Unterkiefer

schon einsatzfähigen Systemen publiziert^{1,2,7,8,9,10,12}, meist am Phantommodell, manche auch schon in der klinischen Anwendung.

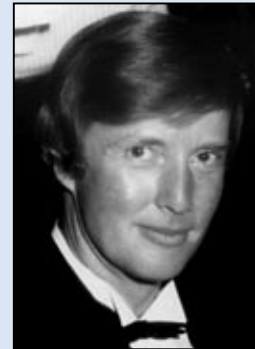
Im Gegensatz zu den schon länger existierenden reinen computergestützten Planungsprogrammen^{5,6,11,14}, die dann indirekt über eine konventionelle chirurgische Schablone umgesetzt werden, ermöglicht ein Navigationssystem die Umsetzung der Planung direkt und zielgenau am nichtfixierten Patienten.

Prinzip der Navigation

Alle derzeit beschriebenen Systeme^{1,2,6,7,8,9,10,12} weisen das gleiche Grundprinzip auf, d. h. die gleiche Vorgehensweise und ähnliche Systemkomponenten.

Vorgehensweise Step by Step

An einartikulierten Modellen erfolgt ein Wax up (Abb. 2), es wird eine CT-Schablone vorbereitet (Abb. 3). Mit der Schablone wird eine dreidimensionale Röntgenaufnahme, ein CT (Computertomogramm) oder DVT (Digitales Volumetomogramm) vom Radiologen angefertigt (Abb. 4), die digitalen Daten werden via CD oder Internet an den Behandler übergeben und in den Planungscomputer ein-



Prof. Dr. Dr. Dr. Helmut H. Lindorf

Studium der Medizin und Zahnmedizin mit Promotion zum Dr. med. und Dr. med. dent. Universität Erlangen-Nürnberg

Facharztausbildung zum Arzt für Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie und plastische Operationen Universität Erlangen-Nürnberg und Denver/USA

1980 Habilitation zum Dr. med. dent. habil.

1980 Gastprofessur in Denver/USA

1981 Niederlassung in Nürnberg mit Belegabteilung Klinikum Hallerwiese

1983 Ermächtigung zur Weiterbildung von Zahnärzten im Gebiet der Oralchirurgie

1986 Ernennung zum Professor

1988 Internationaler wissenschaftlicher Beirat des Journal of Craniofacial Surgery

1995 Liste der führenden Medizinerforscher

2001 Diplomatenstatus des International Congress of Oral Implantologists

Leiter des N-I-Z, Nürnberger Implantologie Zentrum

98 wissenschaftliche Veröffentlichungen, zahlreiche Vorträge

Eine Monographie

Zahlreiche Patente und Gebrauchsmuster für chirurgische Instrumente zur Durchführung neuer Operationsmethoden

Arbeitsschwerpunkte: Implantologie (BDIZ), Dysgnathiechirurgie



Dr. Renate Müller-Herzog

Studium der Zahnmedizin mit Promotion zum Dr. med. dent. Universität Erlangen-Nürnberg Seit 1983 Ausbildungs- und Weiterbildungsassistentin in Praxis Prof. Dr. Dr. Lindorf, Nürnberg, später angestellte Zahnärztin 1987 Gebietsbezeichnung Oralchirurgie Seit 1997 Gemeinschaftspraxis mit Prof. Dr. Dr. Lindorf, Dr. B. Janus und Dr. E. Körner in Nürnberg Zahlreiche wissenschaftliche Veröffentlichungen und Vorträge Jahrespreis der Arbeitsgemeinschaft Kieferchirurgie gemeinsam mit Prof. Dr. Dr. Lindorf Arbeitsschwerpunkte: Chirurgische Zahnerhaltung; Parodontologie; Implantologie



Abb. 2: Prothetisches Wax up zunächst in normaler Okklusion. Bei der Planung zeigt sich später, dass es nicht realisierbar ist und eine Versorgung im Kreuzbiss erfolgen muss



Abb. 3: Anfertigung der CT-Schiene auf dem Modell. Die Hufeisenschiene mit 8 keramischen Referenzierung-Markerkugeln wird parallel zur Okklusionsebene angebracht

chung und Führung durch das Navigationssystem durchgeführt (Abb. 10–13). Bewegungen von Patient und Handstück werden in Echtzeit mit der Planung in Deckung gebracht. Implantationsort, Achsenrichtung und Bohrtiefe werden über den Monitor mit optischen und akustischen Ausrichtungs- und Warnsignalen kontrolliert, d. h. das System „assistiert“ dem Behandler. Definitionsgemäß handelt es sich dabei also nicht um einen „Operationsroboter“, sondern um einen „Manipulator“⁴⁴, der zu jedem Zeitpunkt der Kontrolle des Operateurs untersteht.

Im Idealfall wird die Planung so exakt umgesetzt, dass in geeigneten Fällen ein vorbereiteter provisorischer Zahnersatz sofort eingegliedert werden



Abb. 4: Erstellung des Dental-CT mit eingesetzter Referenzierungsschiene. Die Patientin beißt auf Watterollen auf, um den exakten Sitz der Schiene zu gewährleisten

kann^{8,9}. Dabei wird nach der Planung mit Laborimplantaten eine Modelloperation durchgeführt (Abb. 6 und 7), auf der vom Zahntechniker der provisorische Zahnersatz bereits präoperativ angefertigt wird (Abb. 8). Abdrucknahmen, Bissregistrierungen etc. entfallen also intra- oder postoperativ.

Systemkomponenten

Für den komplexen Vorgang der Navigation werden folgende Systembausteine benötigt:

Es müssen sog. „Landmarks“ oder Referenzierungsmarker^{2,4,13} eingeführt werden, damit eine Transformation der Koordinatensysteme vom CT auf die Kiefersituation möglich ist. Diese Marker, mindestens drei in nicht linearer Anordnung, können z. B. in eine CT-Schablone eingearbeitet werden (Abb. 3), wobei die Zu-

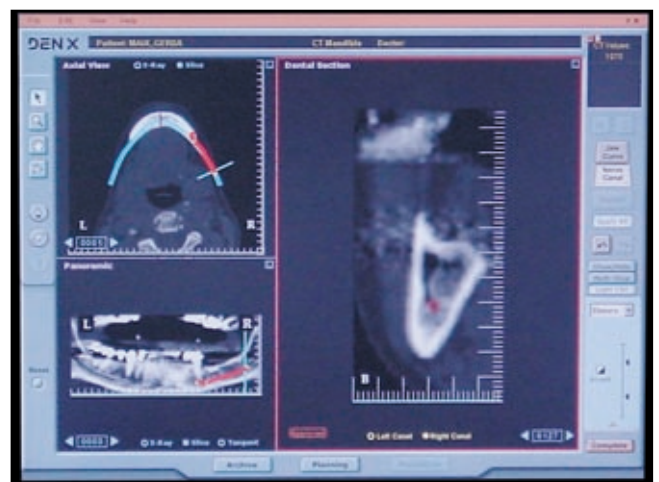


Abb. 5: Auswertung des CT mit dem Planungsprogramm: Markierung der gefährdeten anatomischen Strukturen, hier Nervus alveolaris inferior

gegeben. Dann wird eine virtuelle dreidimensionale Planung der Implantate unter Berücksichtigung der prothetischen Zielsetzung und optimalen Nutzung der anatomischen Strukturen erstellt (Abb. 5).

Die CT- und Planungsdaten müssen nun mit den Patientendaten abgeglichen werden. Dieser Vorgang, die sog. Referenzierung, ist notwendig, um die digital gewonnene Information zu jeder Zeit in die Realität am Patienten 1:1 umsetzen zu können – auch wenn sich der Patient bewegt.

Der chirurgische Eingriff wird vom Behandler wie gewohnt, aber unter Überwa-



Abb. 6: Umsetzung der Planung am Phantom (Kunststoffmodell). An der Schiene ist die Leuchtdiodenplatte zur Referenzierung und späteren Registrierung der Patientenbewegungen angebracht, mit dem Winkelstück sind zwei weitere Leuchtdiodensysteme zur Registrierung der Pointerposition fest verbunden

ordnung zum Patientensitus absolut sicher und eindeutig sein muss. Bei gering bezahnten oder unbezahnten Kiefern müssen ggf. Marker, z. B. aus Titan implantiert werden^{4,6}, um diese Zuordnung zu sichern – ähnlich wie dies aus der Neurochirurgie bekannt ist. Gegenüber dem „Goldstandard der Schraubenmarker“¹³ eleganter wäre die Nutzung anatomischer Landmarks (Pinless-Verfahren)⁴, d. h. die Abgreifung von Punkten der Knochenoberflächen, die aber die derzeit verfügbaren Systeme noch nicht realisieren können.

Für die Referenzierung werden die Marker nacheinander mit einem Pointer² aufgesucht und so die virtuellen Planungs- und tatsächlichen Kieferdaten abgeglichen. Außerdem müssen die Patientenbewegungen permanent dreidimensional registriert werden, was z. B. über eine Infrarot-Leuchtdiodenplatte (Referenzplatte) geschieht, die ebenfalls starr mit dem Patientenkiefer verbunden sein muss (Abb. 6 und 9). Schließlich müssen die Bewegungen des chirurgischen Winkelstücks dreidimensional registriert werden, um dieses dirigieren zu können. Hierzu sind weitere Leuchtdiodenvorrichtungen am Winkelstück erforderlich (Abb. 6 und 9).

Oberhalb des OP-Tisches sind zwei oder drei Digitalkameras in einem mechanisch festen Verbund so angebracht,



Abb. 8: Auf den Laborimplantaten bereitet der Zahntechniker ein Kunststoffprovisorium vor, das unmittelbar intra OP angepasst und eingegliedert werden kann

dass jede Kamera freie Sicht auf alle Leuchtdioden an der Patienten-Referenzplatte und am Winkelstück hat. Aus den Kamerabildern kann so jederzeit die räumliche Position von Patient und Winkelstück errechnet werden (Abb. 10).

Das Planungsprogramm ermöglicht analog zu den bekannten reinen Planungsprogrammen die Erfassung der anatomisch bedeutsamen Strukturen (Abb. 5), dreidimensionale Darstellung des Knochens und der gängigen Implantattypen und beinhaltet Planungshilfen, z. B. Parallelisierungshilfen oder ähnliches. Eine Darstellung der prothetischen Planung z. B. durch Titanhülsen oder Bariumsulfatkonturen im CT ist dabei unerlässlich, um die chirurgische Implantatplanung nicht ins Blaue hinein, sondern auf die prothetische Planung ausgerichtet durchführen zu können.

Das Navigationsprogramm arbeitet nach dem Pointer-System und liefert über optische und akustische Anzeigen und Warnsysteme eine Information über Implantationsort, Achsenrichtung und Bohrtiefe (Abb. 11–13). Die Präzision der Umsetzung wird bei den bekannten Systemen mit ca. 1 mm angegeben^{1,2,10,13}, beinhaltet sind dabei die Ungenauigkeiten des CT-Datensatzes, des Referenzierungssystems und der Infrarotortung von Patient und Pointer¹³.

Navigation mit dem Image Guided Implantology (IGI)-System

Das Navigationssystem der Fa. DenX Ltd. arbeitet mit den oben beschriebenen Systemkomponenten und der erläuterten Vorgehensweise.

Grundlage ist ein dosisreduziertes CT mit 1-mm-Schichten oder ein DVT. Als Landmarks dienen derzeit acht normierte Keramikugeln, die fest in eine Hufeisenschiene aus Kunststoff eingearbeitet sind. Nach dem Wax up auf dem einartikulierten Modell wird vom Zahntechniker darüber eine Kunststoffschiene für den zu behandelnden Kiefer angefertigt. Zur Darstellung der Prothetikkonturen im CT werden die Oberflächen der Schiene mit Bariumsulfat behandelt. Auf dieser Schiene, die sehr exakt und reproduzierbar auf dem Restgebiss sitzen muss, wird die Hufeisenschiene parallel zur Okklusionsebene angebracht (Abb. 3). Die CT-Schichten werden parallel zu dieser Ebene gefahren (Abb. 4). Auf diese Weise wird die Überlagerung der Landmark-Kugeln z. B. durch Metallartefakte vermieden und die Kugeln sind im CT leichter auffindbar. Das mit der Schiene erstellte CT wird als Datensatz (DICOM) auf CD geliefert. Eine Bild-darstellung beim Radiologen erfolgt nicht.

Im Planungscomputer werden zunächst die CT-Schichten kontrolliert, die geeigneten Schnitte ausgewählt und die Referenzkugeln aufgesucht. Die anatomischen Risikostrukturen, z. B. der Nervus alveolaris inferior werden markiert (Abb. 5). Anschließend können die Implantate dreidimensional geplant werden – unter Berücksichtigung der anatomischen Strukturen und prothetischen Vorgaben, wobei die Schienenmarkierung mit Bariumsulfat, aber auch die Markerkugeln selbst als Orientierung dienen. Dabei gibt das CT bereits einen Hinweis auf die zu erwartende Knochenstruktur am geplanten Implantationsort, d. h. es können bereits Aussagen

über die Möglichkeit einer Sofortbelastung der Implantate gemacht werden³.

Nach Abschluss der Planung und Speicherung der Daten wird die Referenzierung durch Antippen der Kugeln durchgeführt. Die Leuchtdioden-Referenzplatte wird dabei starr mit der Schiene verbunden. Anschließend kann die Schiene im geplanten OP-Bereich weggekürzt werden, um den chirurgischen Zugang zu ermöglichen. Der absolut feste, reproduzierbare Sitz der Schiene darf durch das Kürzen nicht beeinträchtigt werden, damit die Zuordnung der CT- und Planungsdaten zum realen Kiefer und die Registrierung der Patientenbewegungen präzise erfolgen. Andernfalls ist mit erheblichen Abweichungen zu rechnen.

Der Kamerabalken wird ca. 85 cm über dem erfassten OP-Feld von 80 x 80 cm aufgestellt, die direkte Sicht der Kameras auf die Referenzplatte und das Winkelstück mit den fest angebrachten Leuchtdiodensystemen darf nie behindert sein. Eine Umsetzung der Planung zunächst am Kunststoffmodell im Sinne einer Modelloperation ist möglich. Neben der Überprüfung der Daten wird so dem Zahn-techniker auf den Laborimplantaten die Vorbereitung eines provisorischen Zahnersatzes ermöglicht, der unmittelbar intraoperativ eingesetzt werden kann (Abb. 8 und 15).

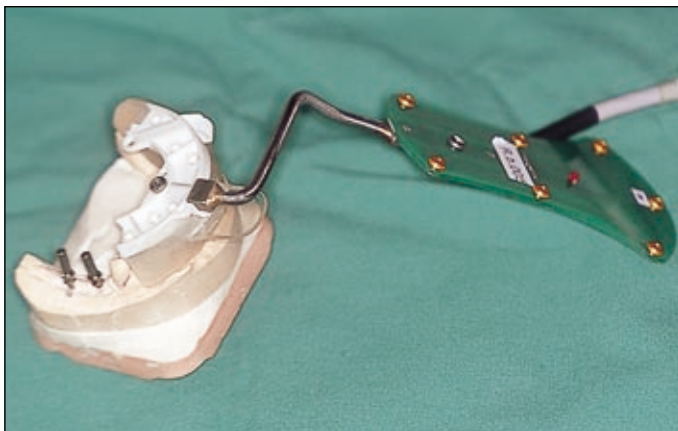


Abb. 7: Die Referenzierungsschiene wird im OP-Bereich gekürzt. Zwei Modellimplantate werden am Kunststoffmodell entsprechend der Planung unter Navigation gesetzt. Dieser Vorgang kann auch zur Kontrolle der Planung dienen

Bei der Navigation liefert der Monitor dann eine dreidimensionale Darstellung des Bohrvorgangs und als Zielhilfen ein Fadenkreuz zum Aufsuchen des Implantationsortes, eine Kugeldarstellung zur Ausrichtung der Achsenrichtung des Bohrvorgangs sowie eine Darstellung der Bohrtiefe (Abb. 11–13). Alle optischen Kontrollsysteme arbeiten bei Abweichungen mit der Warnfarbe rot und bei korrekter Position mit grüner Darstellung, zusätzlich gibt es akustische Warnsignale.

Der chirurgische Eingriff erfolgt möglichst atraumatisch „unblutig“, d. h. ohne Aufklappung (Abb. 16). Zunächst wird mittels Fadenkreuz der Implantationsort aufgesucht (Abb. 11), markiert und die Schleimhaut ausgestanzt. Die einzelnen Schritte beim Aufbereiten des Implantatbettes werden mit den gewohnten Bohrern durchgeführt. Optische Anzeigen und akustische Warnsignale z. B. bei Erreichen der Bohrtiefe (Abb. 13) führen den Operateur. Bei Gefahr der Verletzung der in der Planung markierten Risikostrukturen stoppt der Bohrvorgang automatisch.

Unmittelbar nach der Implantation kann dann das vorbereitete Laborprovisorium eingegliedert werden (Abb. 15). Auf Grund des geringen OP-Traumas sind postoperative Schwellung und Schmerzen gegenüber der Implantation unter Sicht

mit Aufklappung der Operationsregion deutlich reduziert.

Die Präzision wird vom Hersteller mit 0,1 bis 0,2 mm Messgenauigkeit angegeben. Studien am Phantommodell¹ ergaben eine Präzision der Navigation von ca. 1 mm. Die maximale Abweichung betrug 1,2 mm, in 95 Prozent lag die Abweichung bei maximal 1 mm¹. Klinische Präzisionsdaten wurden noch nicht erhoben.

Klinisches Anwendungsbeispiel mit dem IGI-System

Für die klinische Anwendung wurde ein „Standardfall“ ausgewählt. Die 61-jährige Patientin wies eine unilaterale Freierücke im rechten Unterkiefer regio 46 bis 48 auf (Abb. 1). Die Zähne 47 und 48 sowie eine Residualzyste regio 46 waren ca. 18 Monate zuvor entfernt worden.

Geplant wurde die transgingivale Insertion von zwei ITI®-Schraubenimplantaten (Fa. Straumann) regio 46, 47 mit dem Ziel einer rein implantatgetragenen Suprakonstruktion (Abb. 2) und möglichst Sofortversorgung mit einem vorbereiteten Kunststoffkronenblock in leichter Infrakklusion.



Abb. 9: Beim chirurgischen Eingriff muss die Schiene mit angebrachter Referenzplatte fest und exakt auf dem Restgebiss sitzen. Sie registriert die Patientenbewegungen und gewährleistet die Zuordnung der CT-Daten. Über die beiden mit dem Winkelstück verbundenen Leuchtdiodensysteme werden Bewegungen des Patienten im Raum registriert. Die Kamerasicht auf diese Systeme darf nicht verstellt sein

Der Restzahnbestand bot gute Voraussetzungen für die Verankerung der Referenzierungsschiene (Abb. 3). Das CT (Abb. 4) wies eine ausreichende Qualität auf, die Markierung des Canalis mandibularis gelang problemlos (Abb. 5). Bei der Planung zeigte sich dann, dass die prothetische Vorgabe mit Wax up in normaler Okklusion von der Anatomie her nicht realisierbar war (Abb. 2). Da auch im linken Unterkiefer eine Kreuzbissituation

vorlag, wurde die Planung im rechten Unterkiefer ebenfalls auf eine Kreuzbiss-situation hin abgeändert. Einige Erfahrung ist dabei erforderlich, um die Durchtrittsstelle der Implantate trotzdem in die Zone der fixierten Schleimhaut zu legen, da im Planungs-CT diese Information nicht enthalten ist.

Geplant wurden zwei parallele Implantate mit 8 mm Länge und 4 mm Durchmesser. Bereits im CT war erkennbar, dass

in regio 47 eine relativ grobmaschige, wenig dichte Spongiosastruktur vorlag, so dass eine Sofortversorgung nur unter großem Vorbehalt und eher zu Demonstrations- und Kontrollzwecken geplant wurde.

Dazu wurde die Planung in einer Modelloperation zunächst am Kunststoffmodell realisiert (Abb. 6 und 7) und auf diesen Laborimplantaten vom Zahntechniker ein provisorischer Kunststoffkronenblock vorbereitet (Abb. 8).



Abb. 10: Der Chirurg orientiert sich an den optischen und akustischen Signalen vom Monitor. Die beiden Kameras im Kamerabalken beobachten jede räumliche Bewegung von Patient und Winkelstück im OP-Feld



Abb. 11: Das Navigationssystem führt den Bohrvorgang des Chirurgen: Das Fadenkreuz links unten markiert den geplanten Implantationsort, die Kugeldarstellung in der Mitte die Achsenrichtung und die Grafik rechts die Bohrtiefe. Grüne Darstellung signalisiert Übereinstimmung mit der Planung. Rechts oben ist der Bohrvorgang im Schnittbild dargestellt, dieses kann durch Drehung dreidimensional betrachtet werden



Abb. 12: Bei Abweichung von der Planung warnt das System mit roter Darstellung. Hier wird z. B. eine Abweichung der Achsenrichtung in der Kugeldarstellung angezeigt



Abb. 13: Bei Erreichen der geplanten Tiefe warnt die Grafik rechts unten optisch durch rote Darstellung, zusätzlich wird ein deutlicher Warnton hörbar

Die beiden Implantate wurden transgingival ohne Aufklappung inseriert (Abb. 16 und 17), das Provisorium wurde – wie vorab vermutet – zwar zu Kontrollzwecken angepasst, aber dann nicht eingegliedert (Abb. 15), da die Primärstabilität der Implantate als zu niedrig für eine Sofortbelastung eingestuft wurde. Der postoperative Heilungsverlauf war komplikationslos, es traten keine Schwellung und keine postoperativen Schmerzen auf.

Ergebnisse der Anwendung

Unsere mit einem Prototyp des IGI-Systems durchgeführten ersten klinischen Anwendungsversuche zeigten, dass ein intensives Training aller an der Versorgung Beteiligten erforderlich ist.

Relativ problemlos und überzeugend war die Planungsphase, d. h. die Auswertung des CTs und Planung der Implantation. Die Vorteile eines solchen Programms, bei der Planung prothetische Vorgaben und gegebene anatomische Strukturen in Einklang bringen zu können, liegen auf der Hand. Bei der konventionellen Vorgehensweise mittels Bohrschablone nach prothetischem Wax up ohne Kenntnisse der Knochensituation durch den Zahntechniker wäre die Planung intraoperativ nicht realisierbar gewesen. Die dreidimensionale Planung bietet also bessere Chancen, Implantate optimal zu platzieren.

Zur Markerproblematik werden derzeit verschiedene alternative Lösungen diskutiert und entwickelt, insbesondere für den unbezahnten oder gering bezahnten Kiefer. Die Hufeisen-Marker-Schiene wie im Fallbeispiel eignet sich in der beschriebenen Form nur für die Versorgung von Schalt- oder Frendlücken bei ausreichender Fixierung am Restgebiss. Verschiedene andere Optionen, z. B. die Fixierung von Schienen über Knochenschrauben oder einfacher die direkte Implantation von Markern⁶ werden derzeit erprobt. Ideal wäre die Implantation klei-



Abb. 14: Nach dem Bohrvorgang überprüft der Chirurg Implantationsort und Achsenrichtung klinisch durch Einsetzen von Pins



Abb. 15: Das vorbereitete Provisorium wird zu Kontrollzwecken angepasst. Es wird in diesem Fall nicht eingegliedert, da eine Sofortbelastung nicht indiziert ist. Es wird aufbewahrt und kann nach unbelasteter Einheilung eingesetzt werden



Abb. 16: Die Implantate wurden transgingival ohne Aufklappung gesetzt und heilen ungedeckt ein

ner Titanmarker in Regionen, die bei der Implantation nicht stören, z. B. im Oberkiefer palatinal beidseits, in der Fossa canina und der Spina nasalis, im Unterkiefer mental und im Bereich der Linea obliqua externa. Diese Marker könnten sogar belassen werden und für spätere Versorgungen erneut genutzt werden⁶. Ein Abgleich der Daten anhand rein anatomischer Landmarks (Pinless-System)⁴ ist auf absehbare Zeit noch nicht möglich.

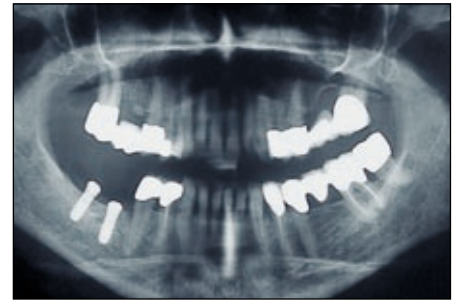


Abb. 17: Abschlusskontrolle: Orthopantomogramm nach navigationsgesteuerter Implantation von zwei ITI®-Schraubenimplantaten regio 46, 47

Der Verzicht auf eine Markerschiene würde auch den OP-Zugang erleichtern. Der Eingriff mit Navigation ist sowieso etwas erschwert, da alle Komponenten Platz beanspruchen und die Sicht der Kameras auf das OP-Feld nie behindert werden darf („irgendwas ist immer im Weg“⁶). Bei Unterbrechung des Sichtkontaktes der Kamera zeigt der Monitor ein Standbild, also nicht mehr die Situation in Echtzeit, was zu Fehlern führen kann.

Die vom Hersteller bzw. in der Modellstudie¹ angegebene Präzision konnten wir bei unseren ersten Anwendungen nicht erreichen. In unserem klinischen Fallbeispiel wich das distale Implantat bei korrekter Achsenrichtung leicht in sagittaler Richtung vom Implantationsort ab, das mesiale Implantat zeigte eine Abweichung der Achsenrichtung am korrekten Ort. Festgestellt wurden die mehr als 1 mm betragenden Differenzen anhand des vorbereiteten Provisoriums. Für die klinische Anwendung, d. h. die prothetische Versorgungbarkeit der Implantate, waren die Abweichungen nicht relevant.

Hauptursache war unserer Meinung nach das Schienenreferenzierungssystem, d. h. der Datenabgleich. In unserem Fallbeispiel lag der Fehler wohl in einem nicht ausreichend exakten Sitz der Referenzierungsschiene bei der Modell-OP, da es durch mehrfaches Aufsetzen und Abnehmen der sehr fest sitzenden Schiene zur Abnutzung des Kunststoffmodells kam. Intraoperativ war der Sitz der Schiene dann nicht zu beanstanden. Die Abweichung könnte demnach auch bei der Mo-

dell-Operation und nicht unbedingt bei der klinischen Implantatinsertion aufgetreten sein.

Diskussion

Die Vor- und Nachteile der Navigation können in jeder Behandlungsphase gegenüber gestellt werden:

Planungsphase

Das Dental-CT verursacht höhere Strahlenbelastung und Kosten als eine Panorama-Schichtaufnahme, birgt aber mehr Informationsgehalt und verursacht relativ wenig Streustrahlung auf Auglinse und Schilddrüse. Noch mehr Vorteile bringt die Verwendung eines DVT, wo mit geringster Strahlenbelastung ein ungeglätteter, dem klinischen Befund tatsächlich entsprechender Datensatz erstellt wird⁶.

Der Zeitaufwand der computergesteuerten Planung ist deutlich höher, aber es kann präoperativ abgeklärt werden, ob das Knochenangebot mit der prothetischen Planung korreliert, d. h. ob die aus prothetischer Sicht angestrebte Implantatposition realisierbar ist. Augmentationsbedarf wird vorab erkennbar und planbar. Neue Techniken, z. B. die Implantation „am Nerv vorbei“ (Lateral Bypass-Operation)⁶, Zygoma-Implantate ohne direkte Darstellung¹³ oder die optimale Nutzung vorhandener Knochenstrukturen, z. B. von Kieferhöhlensepten, werden möglich.

Behandlungsphase

Der Aufwand ist deutlich höher als beim konventionellen Vorgehen. Die Möglichkeit der exakten Umsetzung der Planung unter atraumatischer OP-Technik möglichst mit vorbereiteter Sofortversorgung macht den Einsatz der Navigation allerdings sehr erstrebenswert. Auch die Indikationserweiterung durch neue Techniken und die Erhöhung der Sicherheit könnten in Zukunft die hohen Investitionen hinsichtlich Kosten sowie Schulungs- und

Trainingsaufwand rechtfertigen.

Datenaustausch

Die Daten können zur Dokumentation von Planung und Behandlung archiviert werden^{10,12}. Ein Austausch der Daten z. B. via Internet kann zur Konsultation von Kollegen und z. B. zum Informationsaustausch zwischen Chirurg, Prothetiker und Zahn-techniker beim Team-Approach erfolgen^{10,12}. Diesen Vorteilen steht natürlich wieder der höhere Aufwand gegenüber.

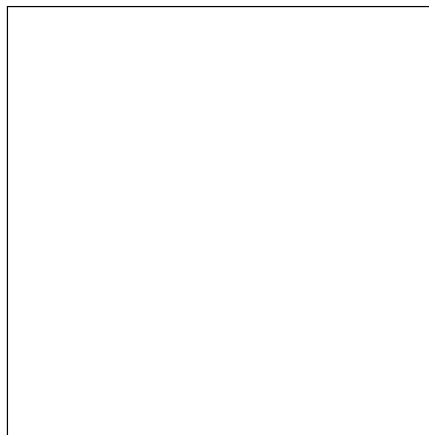


Image der Navigation

Zuletzt ist noch zu bedenken, dass der Patient zwar deutlich höhere Kosten in Kauf nehmen muss, andererseits von besserer Planung, einer atraumatischen OP-Technik und Sofortversorgung auch objektiv profitiert. Subjektiv ist der Patient durch die Navigationstechnik sehr beeindruckbar. Die dreidimensionale Darstellung der Planung trägt dazu ebenso bei wie das Gefühl der Sicherheit, d. h. man fühlt sich nicht mehr „von der Hand des Operateurs allein abhängig“. Das Image der Navigationstechnik ist somit sehr positiv.

Zusammenfassung und Ausblick

Die computergestützte dreidimensionale Planung auf der Grundlage eines dreidimensionalen Röntgenbildes verbessert

heute schon erheblich die Möglichkeiten der modernen Implantologie. Im Einzelfall muss natürlich eine Abwägung von höherem Aufwand, Kosten und Strahlenexposition gegenüber den zu erwartenden Vorteilen bei Planung und Behandlung erfolgen.

Die direkte Umsetzung der Planung mittels Navigation halten wir für sehr erstrebenswert. Dabei dürfte in Zukunft durch ständige Entwicklungsarbeit die klinische Anwendbarkeit der Systeme zunehmend erleichtert und so auch für den Praktiker attraktiv werden.

Zielvorstellung ist die optimale Platzierung von Implantaten durch einen minimalen atraumatischen Eingriff nach optimaler Planung „von der Prothetik her“ unter Berücksichtigung der optimalen Nutzung der anatomischen Strukturen. Idealerweise kann so eine Sofortversorgung mit einem vorbereiteten provisorischen Ersatz durchgeführt werden.

Auch bei Nutzung der Navigationstechnik trägt der Behandler jederzeit das volle chirurgische Risiko⁶. Auf die chirurgische Erfahrung wird also auch durch den Einsatz derartiger Systeme nicht verzichtet werden können. Gerade in der Hand des erfahrenen Chirurgen aber wird die Navigationstechnik in der Implantologie in den nächsten Jahren sicher an Bedeutung gewinnen.

Unser besonderer Dank gilt Herrn ZTM Wittmann (Labor Dietzel & Rösch, Forchheim) für die zahntechnischen Arbeiten im vorgestellten Fall.

Die Literaturliste kann bei der Redaktion angefordert werden.

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. Dr. Dr. H. Lindorf

Dr. R. Müller-Herzog

Fürther Str. 4a

90429 Nürnberg

Tel.: 0911 2870770

Fax: 0911 269851

E-Mail: info@professor-lindorf.de