

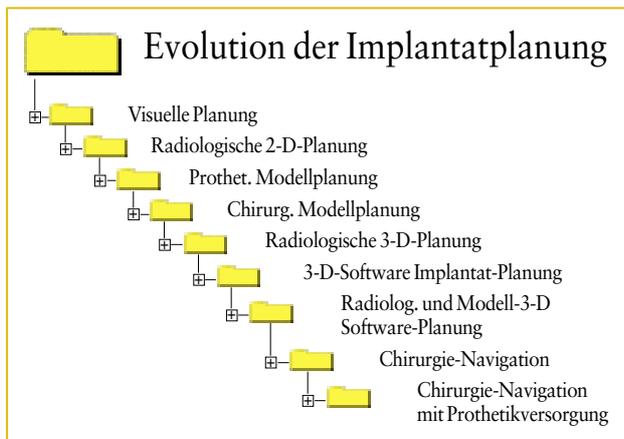
Implantatnavigationserfahrungen nach einem Jahr Anwendung

Implantatnavigation wird als neues Verfahren kontrovers diskutiert. Nach einem Jahr Erfahrung mit einem Navigationssystem kann eine erste Wertung erfolgen. Die Entwicklung der Navigation kann als wegweisend für die Qualität der implantologischen Therapie angesehen werden, doch steht die Methode erst am Anfang. Probleme und Entwicklungsvorschläge werden beschrieben.

DR. DR. PETER A. EHRL/BERLIN

Die Implantologie hat sich als anerkannte wissenschaftliche Methode durchgesetzt und zu einem hohen Reifegrad entwickelt. Mit den herkömmlichen Vorgehensweisen der Implantatplanung und dem operativen Vorgehen können umfangreiche Rekonstruktionen des Kauorgans erreicht werden, die je nach Erfahrung des Behandlers und Sorgfalt der Planung einen hohen Präzisionsgrad erreichen können. Dabei stellt es sich immer wieder heraus, dass auch bei Vorliegen guter Voraussetzungen nicht immer das optimale Ergebnis erreicht werden kann. Das Problem liegt dabei darin, einen möglichst genauen Befund (klinisch, Modellplanung, 2-D-radiologisch, 3-D-radiologisch) möglichst exakt in eine Planung und diese möglichst pla-

nungsgetreu in das operative und später das zahnprothetische Vorgehen umzusetzen. Herkömmliche Verfahren benutzen vor allem Schienen mit Übertragungskörpern (meist Hülsen), welche die Korrelation zwischen Befunden und operativem Vorgehen herstellen. Die Grafik 1 zeigt die bisherige und z. T. noch zukünftige Entwicklung. Die bekannten Verfahren erfordern einen hohen technischen Aufwand und bringen bei der operativen Durchführung Probleme im Handling mit sich. Ziel einer Weiterentwicklung der Präzision und Vereinfachung des Vorgehens könnte es also sein auf der Basis möglichst genauer dreidimensionaler Daten eine virtuelle Planung der Implantat- und Kronen-Position durchzuführen und diese Planung so exakt wie möglich in das operative Vorgehen umzusetzen. Der Vorteil eines solchen Vorgehens liegt für den Patienten vor allem in einer Risikominderung und einer klaren Vorstellung des erreichbaren Ergebnisses. Positive Nebeneffekte sind das minimale Weichgewebstrauma, da die üblichen chirurgischen Erfordernisse der Übersicht über das Operationsgebiet wegfallen und – daraus resultierend – sowohl eine Abkürzung des operativen Eingriffes und der postoperativen Folgeerscheinungen (Schwellung, Schmerzen/Grafik 2).



Grafik 1

Ziele der Implantatnavigation

1. Risikominderung
2. Minimales Weichgewebstrauma
3. Verkürzung der operativen Phase
4. Exakte Ergebnisplanung der Prothetik

Insgesamt:

Höhere Qualität (Sicherheit, Funktion und Ästhetik) und größerer Komfort

Grafik 2

Material und Methode

Um das beschriebene Ziel zu erreichen bedarf es folgender Komponenten:

- eine genaue, dreidimensionale Erfassung der anatomischen Hart- und Weichgewebssituation
- eine Definition des gewünschten zahnprothetischen Ergebnisses („Set up“, virtuell bzw. als Modellsituation).
- ein rechnergestütztes Planungsprogramm.
- ein Gerät, um das gewünschte Ergebnis auf den Patienten zu übertragen.

Es stand seit 01-2002 das IGI - (image guided implantology) System zur Verfügung.*¹

Das System besteht aus:

- Planungsrechner
- Operationsrechner

¹ Hersteller: DEN X Advanced Dental Systems, Hauptstr. 27, 56604 Bad Honnef



Abb. 3: Das Gerät des IGI, bestehend aus Corpus mit 2 PC, Bildschirm, Halterung mit 2 Positionskameras, Anschlüsse für Handstück- und Schienensensoren, Fussschalter.

– einem Sensorsystem, das eine Übertragung der Bohrerposition in Echtzeit auf einen Bildschirm erlaubt und den Operateur beim Eingriff führt. Dies besteht aus einer exakt reponierbaren intraoralen Schiene mit Sensor, Kameras und einem innengekühlten Winkelstück mit Sensoren.

Abbildungen 3 bis 5 zeigen die Systemkomponenten. Das Vorgehen erfordert eine Logistik, die über die üblichen Vorgehensweisen in einer zahnärztlichen Praxis hinausgehen. In Abb. 6 ist das in eine implantologische Gesamtkonzeption eingebettete spezifische Vorgehen mittels Implantatnavigation zu sehen.

Spezifische Schritte einer bildgeführten Implantation

Nachfolgend wird genauer auf die einzelnen Arbeitsschritte einer Implantatnavigation eingegangen. Wir unterscheiden eine Vorbereitungs-, eine Planungs- und eine eigentliche Operations-(Navigations-)phase. In der Vorbereitungsphase werden Modelle von Ober- und Unterkiefer angefertigt und in Interkuspidationsposition gesetzt. Auf dem Modell des Operationskiefers muss nun eine Referenzschiene angefertigt werden, welche die Position der zu ersetzenden Zähne mit – möglichst – radioopaken Zähnen wiedergibt und die einen Referenzkörper trägt, der mit dem Kamerasystem des Systems korrespondiert. Nach Kontrolle durch den Operateur wird die Schiene bei einer computer- oder volumetomographischen Aufnahme eingesetzt. Die in die vorgefertigte Schiene eingesetzten Titankugeln dienen dabei als Referenzkörper.



Abb. 4: Handstück mit Sensoren.



Abb. 5: Schiene mit Sensoren.

renzkörper. Der Operateur erhält anschließend über ein definiertes Format (DICOM) auf CD gebrannte Daten, die er in das Planungsprogramm einliest. Der Operateur ist jetzt in der Lage dreidimensional die Anatomie zu erfassen und gefährdete Strukturen, insbesondere den N. alv. inf., zu markieren. In Abhängigkeit von den anatomischen Strukturen und der Darstellung der radioopaken Zähne kann so die optimale Implantatposition gefunden werden. Mit den so gefundenen Daten, der im Mund des Patienten eingesetzten Referenzschiene, dem IGI-System mit dem sensorbewehrten Winkelstück kann jetzt der operative Vorgang durchgeführt werden. Dies bedeutet, dass der Operateur in Echtzeit am Monitor in einer 3-D-Darstellung sehen kann, wo und in welcher Richtung er sich gerade mit dem Fräsgerät befindet. Abbildung 7 zeigt die spezifisch navigationsbedingten Einzelschritte in einer grafischen Darstellung.

Der Einsatz des Systems musste sich nun im täglichen Praxisablauf bewähren. Wie immer bei der Neueinführung von Behandlungsweisen zeigten sich erst hier die wahren Vor- und Nachteile.

Die Lernphase

Jede Neuerung ist mit einer Lernphase verbunden. Dies ist zwar nicht erheblich für den späteren Routinebetrieb, doch zeigen die in dieser Phase gemachten Erfahrungen, worauf besonderes Augenmerk gelegt werden muss. Für den Behandler liegen die entscheidenden Aufgaben in der virtuellen Planung und dem operativen Vorgehen. Die virtuelle Planung erfordert ein dreidimensionales Grundver-

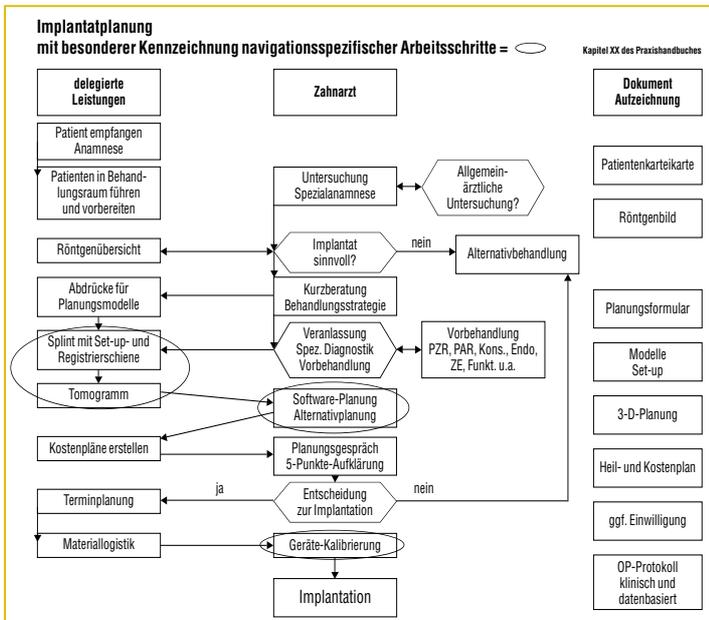


Abb. 6

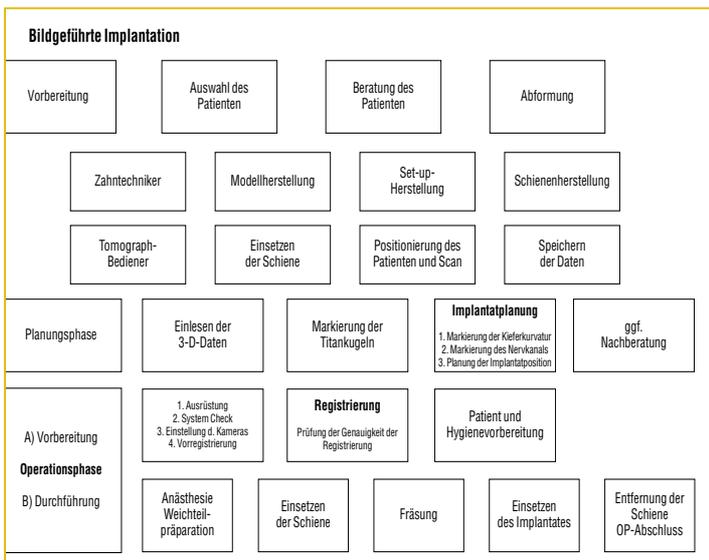


Abb. 7

ständnis, das jedem Zahnarzt zu eigen sein dürfte, und der Umsetzung der diagnostischen Daten im Planungsprogramm. Dieses Programm muss so gestaltet sein, dass es den Anwender logisch nachvollziehbar und durch programmvorgesebene Einzelschritte durch die Planung führt. Das erzielbare Endergebnis ist entscheidend von der Qualität der Planung abhängig. Die Planung der Implantatposition in Abhängigkeit von der anatomischen Situation ist dabei schnell erlernt, insbesondere wenn bereits eine gewisse Erfahrung im Umgang mit dreidimensionalen Planungen vorhanden ist. Der Rückgriff auf Daten eines Volumetomogramms war dabei für uns eine wichtige Voraussetzung, weil erst durch die Einfachheit, Genauigkeit und Strahlenreduktion dieses Systems eine breitere Anwendungshäufigkeit gegenüber den Patienten vertretbar erschien. Fehler traten hier lediglich anfangs dadurch auf, dass Abstände zu natürlichen Zähnen oder weiteren Implantaten nicht ausreichend eingehalten wurden. Dies ist durch das System intraoperativ korrigierbar. Die Pla-

nung additiver Augmentationstechniken ist mit der Software nicht möglich. Die Anwendung ist daher bei einphasigem Vorgehen nicht möglich. Allerdings wird in der Planung die Notwendigkeit eine Augmentation besser erkannt und bei zweiphasigem Vorgehen kann natürlich in der zweiten Operationsphase mit dem Navigationssystem geplant werden.

Etwas mehr Erfahrung war für die Planung der Implantatposition in Abhängigkeit von der nötigen Position der Suprakonstruktion erforderlich. Da während der Aufnahme der Mund durch die Interposition der Schiene geöffnet sein muss, wurden zunächst in die Schienen die Impressionen der Antagonisten eingearbeitet und mittels Bariumsulfat sichtbar gemacht. Dieses Vorgehen war zwar grob hilfreich, aber nicht in jedem Falle zuverlässig. Als Fortschritt erwies sich hier die Benutzung radiopaker Zähne, die – in der 3-D-Aufnahme sichtbar gemacht – dem Behandler eine bessere Vorstellung der nötigen Implantatposition gaben (Abb. 8a und b).

Eine provisorische Sofortversorgung ist - wenn gewünscht - damit besser vorbereitbar, die Präzision einer definitiven Sofortversorgung kann derzeit nicht erreicht werden. Es stellte sich jedoch heraus, dass die dreidimensionale Planung alleine bereits zu einer deutlichen Verbesserung des Therapieergebnisses führt. Intraoperative Spontanpositionierung – sicher noch weitgehend unus – werden damit seltener. Es wird daher angeregt, diese Programme losgelöst von der Operationsnavigation den Anwendern anzubieten. Der Einstieg in die Materie wird dadurch wesentlich erleichtert.

Das operative Vorgehen mit dem sensorbewehrten Winkelstück unter Positionskontrolle am Bildschirm erfordert eine Übungsphase und ein systematisches Einstudieren der Bewegungsabläufe. Hilfreich ist die Erfahrung mit ähnlichen Techniken wie z. B. intraoralen Kameras oder intraoralen CAD/CAM-Verfahren. Es ist zu empfehlen bei den

ersten bildgestützten Operationen diese am Modell vorher zu üben, ein Verfahren, das von der implantologischen Ausbildung ohnehin bekannt ist. Abb. 9 zeigt das Monitorbild in der Operationsphase.

Bei umsichtigem Vorgehen und Grundverständnis der Technik ist das Verfahren insgesamt schnell erlernbar und führt beim Behandler zu der gewünschten Sicherheit. Eher schon bereitet das nötige blinde Vertrauen in Computer und Fräsergerät eine mentale Umstellung. Aus Sicherheitsgründen ist allerdings dringend zu empfehlen dieses Vertrauen, durch den regelmäßigen Blick auf das Operationsgebiet zu bestätigen. Technisch mögliche und auch eingetretene Fehler im Ablauf werden so rechtzeitig erkannt.

Die Logistik

Der in Abbildung 7 gezeigte Ablauf macht klar, dass bei der Implantatnavigation viele Einzelschritte aufeinander ab-

gestimmt werden müssen. Dies erfordert nicht nur beim Behandler, sondern auch bei allen anderen Mitwirkenden ein Verständnis des Gesamtkonzepts der Navigation, das in einer Schulung vermittelt werden muss. Mitwirkende sind die Verwaltungsangestellte, die Operationsassistentin, der Techniker und der Radiologe. Die Verwaltungsangestellte muss den zeitlichen Ablauf und die Intervalle zwischen den Einzelschritten ebenso wie die abrechnungstechnischen Punkte kennen. Die Operationsassistentin muss sich neben der üblichen Logistik für das zu verwendende Implantatsystem mit den systemspezifischen Vorbereitungen vor dem Eingriff und der Pflege der Komponenten auseinandersetzen. Insbesondere die Einstellung des Systems (Check der Funktionstüchtigkeit nach Positionierung der Komponenten, Registrierung der Schiene und Prüfung der Genauigkeit) erfordern eine genaue Schulung. Wichtig sind auch die Patientenlagerung in Abhängigkeit von der Systempositionierung und die Einhaltung der Hygienekette. Da Registrierschiene und Sensoren mit Praxisgeräten nicht sterilisierbar sind, ist hier besondere Sorgfalt nötig und für eine sorgfältige Desinfektion zu sorgen. Abbildung 10 zeigt eine klinische Situation bei der Implantatnavigation.

Von Bedeutung ist die zunehmende Technikabhängigkeit. Allgemeingut dürften Verhaltensweisen sein, die z. B. bei Stromausfall oder Ausfall der Bohrmaschine bei jedem operativen Eingriff zu beachten sind. Jetzt sind auch Vorgehensweisen zu bedenken, die bei Ausfall eines Rechners, falscher Planung oder Versagen anderer Systemkomponenten ablaufen müssen. Die Erfahrung zeigte, dass derlei Unterbrechungen vorkommen können und in der Regel zu beheben oder zu umgehen waren. Das Umschalten von der Navigation auf herkömmliche Vorgehensweisen muss jedoch aus Sicherheitsgründen immer mit einkalkuliert werden.

Die Präzision

Das wichtigste Ziel der Implantatnavigation ist die Präzision. Es ist daher sinnvoll zu überdenken, welche Komponenten hierfür wichtig sind. Am leichtesten ist dabei die durch die Systemkomponenten vorgegebene Präzision zu bewerten, da diese durch das System messbar ist. Sie ist von Patient zu Patient unterschiedlich und bewegte sich zwischen 0,1 bis 0,4 mm, ggf. nach Nachkalibrierung. Mit zunehmender Übung pendeln sich die Werte im unteren Bereich ein. Die Präzision wird besonders durch die Reproduktion der Position der Schiene beeinflusst. Dementsprechend wichtig sind Präzision der Abformung, der Modellherstellung, der Schienenherstellung, der Positionierung der Schiene bei der 3-D-Aufnahme und schließlich beim operativen Vorgehen. Da bis auf den letzten Punkt diese Arbeitsschritte in der Regel nicht vom Operateur ausgeführt werden, erlangt die Schulung und das Problembewusstsein der Agierenden besondere Bedeutung. Auch die Präzision des Fräsgerätes bekommt eine größere Bedeutung. Defizite im Bereich des Bohrfutters im Winkelstück oder nicht maßstabgetreue Fräsen können die Präzision maßgeblich negativ beeinflussen. Hierauf ist so-



Abb. 8: Der Operateur kann während des Fräsens die Position des Fräskörpers in Echtzeit in allen Dimensionen beobachten. Bild 1 zeigt die Position des Winkelstücks mit Fräse im Zielkorb, Bild 2 die Position der Fräskörperspitze, Bild 3 die Richtung der Fräse und Bild 4 die erreichte Tiefe. Beim Verlassen des Zielkorridors wird sowohl optisch als auch akustisch gewarnt.



Abb. 9: Intraoperative Situation mit sensorbewehrtem Winkelstück und Schiene in situ.

wohl bei der Anschaffung als auch bei der Einschätzung der Abnutzungserscheinungen wiederverwendbaren Werkzeugs zu achten. Der zunächst erwartete Gewinn durch paraneurales Implantieren im Bereich des Mandibularkanales ließ sich nur selten realisieren. In der Regel lassen die Platzverhältnisse nicht zu neben dem N. alv. inferior noch einen Implantatkörper zu platzieren. Immerhin besteht eine deutlich größere Sicherheit in der Nähe des Nerves zu präparieren und Implantate zu setzen. Interessant ist auch ein Vergleich des gemessenen Knochenangebots. Ein erster Vergleich zwischen kalibrierter PSA (Sidexis), Volumentomogramm und Navigationsplanung (den X[®]) zeigte Unterschiede bis 1mm. Das Knochenangebot war jeweils in der Navigationsplanung am größten, sodass vermutet werden kann, dass das Implantatlager hier am besten ausgenutzt werden kann.

Compliance

Die Compliance der Patienten war trotz höherer Kosten überraschend gut. Für alle Patienten war dabei der Sicherheitsaspekt mit Abstand das wichtigste Kriterium, sich für die Durchführung der Implantation mit einem Navigationssystem zu entscheiden.

Der Punkt der Operationsverkürzung und geringerer postoperativer Folgeerscheinungen war weniger entscheidend. Weitere Punkte, wie z. B. die Demonstration des Behandlungsergebnisses am Bildschirm oder Modell sind positiv empfundene Nebeneffekte, die allerdings bei anderer Vorgehensweise ebenso erzielt werden können.

Beurteilung

Bei der Beurteilung der Implantatnavigation stellt sich zunächst die Frage, inwieweit die gesteckten Ziele erreicht werden können. Diese Frage lässt sich weitgehend bejahen, erreicht man doch auf jeden Fall eine größere Sicherheit und Präzision, also eine insgesamt höhere Qualität des Verfahrens der Implantation. Mängel bestehen eher in der Zuverlässigkeit der Gerätschaften. Schwieriger ist die Beantwortung der Frage, ob der Qualitätsgewinn den erforderlichen Aufwand rechtfertigt und – wenn dies nicht durchgängig der Fall sein sollte – bei welchen Voraussetzungen die Indikation für die Implantatnavigation gegeben ist. Navigation steht hier im Wettbewerb mit anderen Planungssystemen, insbesondere 3-D-basierten Hülsen-schienen. Hierzu ist zunächst der Aufwand zu definieren. Er setzt sich aus den Investitionskosten, den Schulungskosten sowie fallabhängigen Kosten und Zeitaufwand zusammen. Die Investitionen für ein betriebsbereites System betragen derzeit zwischen 45.000,- bis 80.000,- €. Die primäre Schulung ist in den Kosten enthalten, zu berücksichtigen sind sicher weitere interne Schulungen, die in der Anlaufzeit nötig sind. Laufende Kosten entstehen durch den Material- und Laborkostenaufwand für Planungsmodelle, Set ups und Registrierschienen sowie ggf. sonst nicht vorgesehene 3-D-Diagnostik. Berücksichtigt werden muss auch der laufende erhöhte Personalaufwand. Ein entscheidender Faktor ist der erhöhte Planungs-d.h. Zeitaufwand des Behandlers, also der teuersten Arbeitskraft im System, der durch die Verkürzung der operativen Phase nur bedingt wieder wett gemacht wird. Die Kalkulation wird fall- und praxisabhängig unterschiedlich ausfallen und dürfte sich in einem Spektrum von 300,- bis 2.000,- € je Fall bewegen.

Dies berücksichtigend lassen sich folgende Feststellungen treffen:

- Implantatnavigation bedeutet immer einen Qualitätsgewinn.
- die Indikation der Implantatnavigation wird neben den medizinischen Befunden daher immer auch den indivi-

duellen Qualitätsansprüchen des Patienten entsprechen müssen.

- Implantatnavigation ist medizinisch vor allem dann indiziert, wenn Risiken bestehen, also vor allem im Unterkieferseitenzahnbereich bei Alveolarkammatrophy.
- Implantatnavigation ist dann indiziert, wenn der operative Aufwand minimiert werden soll, also z.B. bei geringer Belastbarkeit des Patienten oder der Erfordernis kurzer Ausfallzeiten.
- Implantatnavigation ist dann indiziert, wenn umfangreiche implantatgestützte Rekonstruktionen vorgesehen sind, bei denen die Implantatposition aus funktionellen und ästhetischen Gründen eine besonders große Bedeutung besitzen. Die Effekte der Operationsverkürzung und der Verminderung der Operationsbelastung multiplizieren sich dann.
- Implantatnavigation steht heute erst am Beginn ihrer Entwicklung.

Auf der anderen Seite ist die Implantatnavigation dann weniger indiziert, wenn z. B. Sofort- oder verzögerte Sofortimplantationen in die vorgegebenen, anatomischen Strukturen der Alveolen geplant sind oder wenn im zahnlosen Kiefer prothesenstabilisierende Implantatmesostrukturen vorgesehen sind. Navigation im Zusammenhang mit Augmentationen ist problematisch. Der Gesamtzeitaufwand rechtfertigt in einfachen Fällen derzeit die Navigation nicht.

Abschließend ist festzustellen, dass der Weg in die Implantatnavigation richtig erscheint. Verbessert werden muss vor allem die Visualisierung der Gesamtplanung, das Handling und die Zuverlässigkeit.

Korrespondenzadresse:

Dr. Dr. Peter A. Ehrl

Zahnärzte am Spreebogen

Alt-Moabit 98, 10559 Berlin

Tel.: 30 39/90 22 20

E-Mail: ehrl@denthouse.com



Das Messgerät für den
qualitätsbewusstesten Zahnarzt bietet



Tel.: 0 62 51-6 84 43
Fax: 0 62 51-68 04 84

MEDIZINTECHNIK
GULDEN