

5 Diskussion

Die Auswahl der an der Studie beteiligten Patienten erfolgte zufällig. Alle erfüllten die Kriterien, mit dem RoboDent-System behandelt werden zu können und waren in den beteiligten Praxen und Kliniken in Behandlung. Außerdem wurden alle Patienten über alternative Behandlungsmethoden aufgeklärt.

Aus den Begründungen der Patienten, warum sie sich für RoboDent entschieden haben, geht hervor, dass die Sicherheit einen für den Patienten wichtigen Faktor darstellt. Durch postoperative Befragung konnte die Akzeptanz der Navigation ermittelt werden. Das Verfahren zeichnet sich durch eine breite Akzeptanz und eine hohe Zufriedenheit der Patienten aus.

Für einige Patienten ist eine möglichst schnelle Funktionswiederherstellung ein Grund für die Behandlung mit RoboDent. Auch die Studien von Petropoulos et al zeigen, dass die Sofortbelastung dazu beitragen kann, die Dauer der Behandlung zu verkürzen und Praxisbesuche und Kosten zu reduzieren [147].

Es sind bisher keinerlei Studien zur Patientenakzeptanz der navigierten Implantologie bekannt.

Das RoboDent-System ist ein anerkanntes und in Deutschland nach MPG zugelassenes Behandlungssystem für navigierte Implantologie. Es ist das mit Abstand meistverkaufte Navigationssystem für Implantologie weltweit. Einsatzmöglichkeiten ergeben sich sowohl in Praxen als auch in Kliniken. Es zeichnet sich durch eine hohe Benutzerfreundlichkeit und Praxistauglichkeit aus. Die Integration in die normale Behandlungsumgebung ist in vollem Umfang möglich, da das System auf einer mobilen Station untergebracht ist. RoboDent ist das erste derartige Komplettsystem weltweit. Die Methode wurde bereits in Studien von Meyer et al und Schermeier et al untersucht und man kam zu dem Ergebnis, dass die im RoboDent-System verwendete Technik eine hohe Präzision aufweist. Dies gilt sowohl für die Datenverarbeitung als auch für die intraoperative Navigation [38, 148].

5.1 Aufbau und Auswertung der Fragebögen

Der Aufbau der Fragebögen erfolgte nach einem einfachen Prinzip. Allen Behandelnden und Patienten wurden die gleichen Fragebögen vorgelegt. Alle Angaben wurden subjektiv gemacht.

Die geometrische Bewertung der Implantatposition wurde nicht erfasst. In einer dieser Studie folgenden prospektiven Studie zur navigierten Implantatologie mit dem RoboDent-System werden Daten erfasst, die Aussagen über die genaue Lokalisation der Implantate machen. Dies war zum jetzigen Zeitpunkt nur subjektiv möglich, da keine der Praxen und Kliniken bereits über die neue Softwareversion 1.7 verfügten. Mit ihr wird es möglich sein, die präoperative Planung computergesteuert mit der tatsächlichen Implantatposition geometrisch zu vergleichen.

5.2 Implantate und Implantatpositionen

Durch die Planung von Implantaten am Computer ist es präoperativ möglich, die exakte Position dreidimensional darzustellen. Die Verwendung hochwertiger Bilddaten ist Voraussetzung für die hohe Genauigkeit, wie sie mit dem RoboDent-System erreicht wird. Fortin et al untersuchten in einer Studie die Genauigkeit einer Planungssoftware. Eine präoperativ angefertigte Schablone diente als Führungshilfe bei der Bohrung. Nach qualitativer Auswertung mittels dem Kendall-Korrelations-Koeffizient und einer mengenmäßigen Auswertung mittels Kappa Konkordanz-Koeffizient für quantitative Daten, kam man zu dem Ergebnis, dass navigierte Systeme für die präoperative Planung der Implantatgröße und das Erkennen anatomischer Besonderheiten besonders zuverlässig sind [149]. Kramer et al untersuchten in in vitro Studien die Genauigkeit von navigierter und herkömmlicher Implantatsetzung. Es wurden jeweils zwanzig Implantate in Oberkiefermodelle inseriert. Die navigiert gesetzten Fixturen wiesen hinsichtlich der Position eine höhere Genauigkeit auf [150].

Die Genauigkeit der Insertion war nach den Aussagen der Operateure in unserer Studie sehr hoch, was sich auch mit den Untersuchungen von Wanschitz et al deckt. In Studien untersuchten sie die Präzision eines neu entwickelten Navigationssystems für Dentalimplantate. Fünf Kadaverunterkiefer wurden vor und nach der Implantation mit hochauflösenden CT gescannt und vermessen. Als chirurgische Planungssoftware wurde das in Wien entwickelte Programm VISIT verwendet. Die geplante und tatsächliche Implantatposition wurde verglichen. Die Gesamtgenauigkeit betrug bei diesem Versuch 0.96 ± 0.72 mm (range 0.0-3.5 mm) [151].

In Studien von Siessegger et al kam ein auf Infrarotlicht basierendes Navigationssystem zum Einsatz (Vector Vision 2, BrainLAB, München). Ziel war der Vergleich der Genauigkeit von konventioneller Implantation und Navigation. Alle Eingriffe wurden an komplizierten klinischen Fällen durchgeführt (z.B. nach Knochenaugmentation). Die Verwendung des Navigationssystems führte, so die Autoren, im Vergleich zur herkömmlichen Technik, zu besseren Ergebnissen [152].

Die Implantation im Oberkiefer stellt besondere Anforderungen. Die Exaktheit des SMN-Systems (Zeiss, Oberkochen) zum navigierten Bohren und nachfolgender Implantation im Oberkiefer wurde in einer Studie von Gaggl et al untersucht. Es wurden sechzig Bohrungen an

zehn Kunststoffmodellen durchgeführt. Nach Registrierung der Modelle wurde versucht, die Bohrung so nah wie möglich an den Boden des maxillären Sinus zu platzieren. Die mittlere Abweichung des Abstandes zum Sinusboden betrug 0,25 mm, was eine hohe Präzision der CT-basierten Navigation während der Implantatbohrung zeigt [153].

Bahat kam in Studien zu dem Ergebnis, dass die Verwendung von Röntgenschablonen dazu verhilft, Implantate prothetisch sinnvoll im Knochen platzieren zu können [154]. In vielen Fällen wird eine solche Röntgenschablone später für den operativen Eingriff modifiziert und zur Bohrschablone umgestaltet. Entfernt man den lingualen Anteil der Schablone und löst die radioopaken Stifte heraus, lässt sich die Schiene intraoperativ zur Kontrolle der Bohrrichtung nutzen. Die Bohrschablone enthält Führungskanäle, die der späteren Implantatausrichtung entsprechen. Die Genauigkeit der Implantatinsertion wird hierdurch verbessert. Dies geht aus Untersuchungen von Zinner et al hervor, welche die Anfertigung solcher Schablonen im Unterkiefer beschreibt [155].

Auch in anderen Bereichen der Medizin, z.B. bei Operationen am komplizierten Pelvis, kann erfolgreich mit optisch kontrollierten Instrumenten gearbeitet werden. In Untersuchungen von Peters et al wurde die Computernavigation mit Medivision (Oberdorf, Schweiz) durchgeführt, die Software war SurgiGATE 2.1. Ziel war eine Insertion möglichst langer Schrauben. Als Vergleich diente die herkömmliche Technik ohne Navigation. Die Studie zeigt, wie durch die navigierte Schraubeninsertion die Genauigkeit verbessert und längere Schrauben gesetzt werden konnten. Hier bietet die Computernavigation entscheidende Vorteile, da insbesondere mit zunehmender Schraubenlänge der Eintrittspunkt und die strenge Achsengenauigkeit immer schwerer vom Operateur zu beurteilen sind [156].

Die Darstellung computertomographischer Daten am PC macht es möglich, Implantate im Vorfeld virtuell zu planen und die optimalen Lokalisationen im Knochen zu finden. Durch ein solches System wird es auf einfache Weise möglich, Implantate an bestimmten Positionen zu inserieren [157]. Auch das RoboDent-System, welches ausschließlich mit hochwertigen CT- oder DVT- Bilddaten arbeitet, die es erlauben die Implantate im Voraus dreidimensional virtuell zu planen, führt zu sehr guten Ergebnissen bei der Implantatlokalisierung. Zu diesem Schluss führten auch Studien von Watzinger et al. Der Einsatz eines computergestützten Navigationssystems wurde untersucht und die Planung mit der Umsetzung verglichen. Die Navigation ist ein wertvolles Hilfsmittel in der Implantatchirurgie [34].

Die Genauigkeit von Systemen wie RoboDent wurde in einigen Studien untersucht. Um die maximalen Abweichungen zwischen Planungsposition und klinischer Position der Implantate zu vergleichen, wurden Bilddaten prä- und postoperativ verglichen. Die bekannten Studien zur Genauigkeit gehen von einer maximalen Abweichung von <1 mm aus [33, 151, 158].

Auch die Daten dieser Studie zeigen eine hohe Sicherheit bei der Planungsumsetzung. Es ist jedoch auch intraoperativ jederzeit für den Operateur möglich, die Planungsumsetzung zu ändern. Dies kann beispielsweise aus Gründen der Primärstabilität indiziert sein. Die Studie zeigt, dass es mit der navigierten Implantation möglich ist, Implantate schnell und unkompliziert zu planen und dann exakt an zuvor geplanten Lokalisationen zu setzen.

Durch den Einsatz computergestützter Navigationssysteme kann eine hohe Genauigkeit zwischen Planungsposition und tatsächlicher Position erreicht werden. Dies erlaubt es dem Operateur, die Implantate exakt an zuvor berechneten Positionen zu inserieren. Die Arbeit wird dadurch erleichtert und sicherer gegenüber herkömmlichen Verfahren. Ein weiterer Vorteil ist, dass es möglich wird, die implantatgetragene Prothetik bereits präoperativ anzufertigen.

Ziel der modernen Implantologie ist es stets gewesen, Behandlungen genauer und sicherer zu machen. So wurde sowohl in der Diagnostik durch den Einsatz von CT/ DVT oder Röntgenschablonen, als auch in der Chirurgie durch Bohrschablonen die Behandlung verbessert [159]. Die Verlässlichkeit solcher Systeme steht Studien von Fortin et al zufolge außer Frage. Die Möglichkeit des Operateurs, jederzeit den Operationsablauf zu ändern, bietet ein breites Feld von Möglichkeiten [149].

Sobald mehr als ein Implantat zum Einsatz kommt, spielt auch die Ausrichtung der Implantate untereinander eine entscheidende Rolle. Dies ist vor allem im Oberkieferseitenzahnbereich zu beachten, wo die gewünschte Implantatposition meist schwer zu erreichen ist [41].

Laut den Ergebnissen von Walton et al führen Neigungswinkel von Fixturen in einem Bereich von $> 6,5$ Grad lingualer Abweichung und bis zu $6,5$ Grad fazialer Abweichung zu einer Zunahme der Reparaturanfälligkeit der Suprastrukturen. Die Autoren konnten in ihren Untersuchungen jedoch keinen Zusammenhang zwischen dem Inter-Implantat-Winkel und der Wartungshäufigkeit zeigen [160].

In Studien von Khoury wurden dazu bereits Versuche mit Parallelisierungshilfen durchgeführt. Man kam zu dem Ergebnis, dass Implantate sich mit Hilfe eines solchen Instruments parallel zueinander ausrichten lassen. Auf diese Weise lässt sich die okklusale Belastung optimieren und eine sicherere prothetische Versorgung erreichen [161]. Der Einsatz derartiger Hilfsmittel wird beim RoboDent-System obsolet. Die Ausrichtung der Implantate erfolgt virtuell am Computer durch ein Parallelisierungstool. Dieses dient dazu die optimalen statischen Ausrichtungen der einzelnen Implantatpfeiler im Verhältnis zur späteren Prothetik zu berechnen. So kann bereits im Vorfeld anhand der Bilddaten im DICOM-Format mit der RoboDent-Software eine optimale Ausrichtung der Implantate entlang ihrer prothetisch zuvor geplanten Achsen erfolgen. Individuelle okklusale Verhältnisse werden bei der Umsetzung berücksichtigt. Eine physikalisch günstige Pfeilerparallelität gewährleistet optimale Druckableitung und beugt Fehl- und Überbelastungen vor. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch in vitro Studien von Kramer et al. Die Implantatposition, die Neigung und die Insertionstiefe wurden nach konventioneller und navigierter Insertion gemessen und verglichen. Die durchschnittlichen Abweichungen waren bei navigierter Umsetzung deutlich geringer. Dies gilt in axialer und transversaler Richtung. Die in vitro Anwendung eines Navigationssystems erhöht die Genauigkeit bezüglich Position, Neigung und Tiefe [150].

5.3 Stanzung vs. Aufklappung

Die moderne prächirurgische Diagnostik wie die des RoboDent-Systems, ermöglicht heute bereits im Vorfeld des implantologischen Eingriffs eine exakte Bestimmung der anatomischen Verhältnisse und des Implantatbetts [162]. Die Insertion der Implantate durch Aufklappung eines mukoperiostalen Lappens ist laut der Studien von Gaggl et al nicht immer nötig, insbesondere wenn zuvor durch die präoperative Diagnostik ein ausreichendes Knochenangebot diagnostiziert wurde [80].

In der hier ausgewerteten Studie wurden die Patienten sowohl durch Stanzung als auch durch Aufklappung operiert (vgl. Abb. 24 Seite 72).

Die Ergebnisse der Studie haben gezeigt, dass die Aufklappung wie auch die Stanzung zuverlässige Verfahren der Implantologie darstellen. Der Einsatz beider Techniken ist in allen Kieferabschnitten möglich. Auch die Anzahl der gesetzten Implantate hatte keinen Einfluss auf

die Art der Operationstechnik. Außer Knochenaugmentation ergaben sich aus der Studie keine Kontraindikationen für die Stanzung.

Die Insertion von Implantaten über Mukosastanzlöcher bietet gegenüber der Aufklappung zahlreiche Vorteile für Behandler und Patienten. Der Eingriff kann minimalinvasiv erfolgen, was mit verminderter Blutung und geringster Traumatisierung der Gewebe und Knochen einhergeht. Dies geht auch aus den Untersuchungen von Al-Ansari et al hervor. Es wurden insgesamt 20 Implantate an 7 männlichen Patienten im Ober- und Unterkiefer durch Stanzung gesetzt. Bei allen Patienten verlief die Heilung komplikationslos [75].

Die Stanzung dient einer Verkürzung der Behandlungsdauer. Wird die Operation durch Stanzung durchgeführt, zeigt sich Gaggel zufolge eine Verkürzung der beruflichen und sozialen Beeinträchtigung der Patienten [80]. Dies deckt sich mit den Ergebnissen dieser Studie.

Die in Studien von Campelo und Camara erwähnte mangelnde Einsicht auf den Knochen wird beim RoboDent-System obsolet, da eine CT-gestützte prächirurgische Diagnostik und ein durch Navigation kontrollierter Eingriff erfolgen [79].

Das Risiko eines Hämatoms oder einer Schwellung sowie das Auftreten von Schmerzen und eventuellen postoperativen Komplikationen werden deutlich reduziert (siehe auch Abbildungen 27-29; Seiten 74, 75). Campelo und Camara zufolge stellt die Stanzung ein minimalinvasives Verfahren dar, welches dazu dient, intraoperative Komplikationen zu minimieren. Das Risiko eines Hämatoms oder einer Schwellung sowie das Auftreten von Schmerzen und eventuellen postoperativen Komplikationen werden durch den Einsatz von RoboDent, kombiniert mit Schleimhautstanzung, deutlich reduziert. Die Ergebnisse unserer Studie decken sich in einigen Punkten mit Untersuchungen von Campelo und Camara. Es wurden 770 Implantate über Stanzung gesetzt. Die Operationen wurden jedoch nicht navigiert durchgeführt. Die Autoren sehen in der Stanzung ein minimalinvasives Verfahren, welches, wenn es korrekt angewendet wird, dazu verhilft Komplikationen zu minimieren. Die Stanzung kann dazu beitragen, die postoperativen Beeinträchtigungen für die Patienten zu reduzieren, da eine Nahtentfernung meist obsolet ist (vgl. auch Abb. 32,33 Seite 77) [79].

Die Schonung der interdentalen Papillen kommt den Patienten vor allem im Frontzahnggebiet, wo die Ästhetik eine wichtige Rolle spielt, zugute, was die Untersuchungen von Wheeler et al zeigen [163].

Die Art der im Einzelfall anzuwendenden Anästhesieart ist abzuwägen. Es zeigt sich jedoch, dass in den meisten Fällen durch die Lokal- bzw. Leitungsanästhesie, sowohl bei Aufklappung, als auch bei der Stanzung, eine ausreichende Schmerzausschaltung erreicht wird (siehe Abbildungen 30 und 31; Seite 76).

Vorteile des RoboDent-Systems machen die Implantatinsertion über Mukosastanzungen sicher, da die Implantatrichtung durch die anatomischen Informationen aus den CT/ DVT Daten abgesichert sind. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass eine lappenlose Operation im Hinblick auf die Beeinträchtigungsdauer des Patienten zu bevorzugen ist, wenn es die klinische Situation zulässt und keine zusätzlichen augmentativen Maßnahmen erfolgen müssen (Vergleiche auch Abbildungen 32, 33; Seite 77). Die niedrige Komplikationsrate spricht für die Anwendung der Schleimhautstanzung. Diese Ergebnisse decken sich auch mit denen von Gaggl et al. Die Autoren kamen in Untersuchungen an 12 Patienten beim Einsatz von Distraktionsimplantaten mittels Stanzung ebenfalls zu guten Ergebnissen. Das Verfahren zeichnet sich hinsichtlich der Narbenbildung und der Komplikationsrate als besonders atraumatisch aus [81].

5.4 Gefährdete Strukturen

Chirurgische Komplikationen wie Sensibilitätsstörungen, Hämatome, Mandibulafraktur sowie die Devitalisierung von Nachbarzähnen können, so Goodacre et al, bei einer Versorgung mit Implantaten auftreten. Bei allen Implantaten im Ober- und Unterkiefer besteht die Gefahr der Verletzung benachbarter Strukturen [164]. Dagegen haben die Ergebnisse der ausgewerteten Studie gezeigt, dass mit Hilfe der navigierten Implantation das Risiko einer ungewollten Verletzung potentiell gefährdeter Strukturen nahezu gegen Null geht, da es in keinem der 246 Fälle zu intraoperativen Komplikationen kam (siehe Kapitel 4.7). Dies zeigt, dass die navigierte Implantation sicher ist und dazu beiträgt, Risiken für den Patienten zu minimieren.

Aus den Ergebnissen von Ellis und Hawker sowie aus Studien über die Inzidenz von Nervenausfallerscheinungen von Walton geht hervor, dass bei herkömmlichen Implantationsverfahren Komplikationen durchaus auftreten. In Studien berichten sie über Schädigungen des Nervus mandibularis, die zwar meist nur temporär auftreten, für den Patienten jedoch eine starke körperliche und psychische Belastung darstellen. Eine

Nervenschädigung bedarf der Behandlung. Da die Nervenregeneration sich über einen sehr langen Zeitraum erstreckt, können Aussagen über dauerhafte Schäden meist erst nach einigen Monaten gemacht werden [131, 138, 139].

Untersuchungen von Nazarian et al und Wismeyer et al an 110 Patienten, welche im Unterkiefer mit Implantaten versorgt wurden ergaben, dass 11% der Patienten in den ersten Tagen über Nervenirritationen des Nervus mandibularis klagten [133, 165].

Des Weiteren besteht bei der Implantation im Oberkiefer die Gefahr einer Perforation der Sinusböden. Wenn nicht zum Zwecke eines Sinuslifts, ist die Eröffnung der Kieferhöhlen zu vermeiden. Die durch die Mund-Antrum-Verbindung eröffnete Kieferhöhle gilt nach 24 Stunden als infiziert und die Gefahr einer Sinusitis maxillaris besteht.

Aus unserer Studie geht hervor, dass die Verletzung der Kieferhöhlen, sowie der Unterkieferkortikalis mit navigierter Implantation vermeidbar sind.

Auch Gaggl und Schulz kamen in Studien zu guten Ergebnissen mit dem Einsatz einer CT-basierter Navigation. Die CT-basierte Navigation macht die Implantation sicherer und hilft Risiken zu vermeiden [153].

In seltenen Fällen, wo die Patienten an starkem Knochenabbau leiden, besteht das Risiko einer Fraktur der Mandibula durch das Auftreten der Kaukräfte [142]. Da in der RoboDent-Operationsplanung jedoch eine genaue Analyse des Knochenangebots durchgeführt wird, können, wenn nötig, augmentative Maßnahmen erfolgen, um ein ausreichendes Implantatlager zu schaffen.

Im Rahmen eventueller Regressansprüche durch Patienten ist der Behandler mit der CT/ DVT-basierten Planung und der zugelassenen medizinischen Hard- und Software des RoboDent-Systems auch aus forensischer Sicht voll abgesichert. In vielen Fällen kann solch eine Planungssicherheit dazu beitragen, rechtliche Untersuchungen zu vermeiden, wie Worthington in Studien zeigen konnte [143]. Durch die genaue Dokumentation kann der Behandelnde seinen Erfolg nachweisen.

Aus den Untersuchungen von Wanschitz et al zur Präzision eines Navigationssystems für Dentalimplantate geht, wie auch aus unserer Studie hervor, dass dieses Verfahren sicher ist. Es

kam bei den Bohrungen zu keinerlei Verletzungen des Mandibularkanals oder der mandibulären Kortices (vgl. auch Kap.4.5, Seite 70-71) [151].

Weitere Studien über das Auftreten von Komplikationen in der navigierten Implantologie, insbesondere mit dem RoboDent-System, stehen noch aus.

5.5 Primärstabilität der Implantate

Durch die navigierte Implantation konnten die Fixturen in das Gebiet mit dem besten Knochenangebot inseriert werden. Dies ist wichtig, um eine ausreichende Stabilität zu gewährleisten. In der Studie wurden keine Vorgaben zum Implantattyp gemacht, da von den Operateuren für die jeweilige Indikation unterschiedliche Implantate verwendet werden. So variieren die angewendeten Implantate in Typ, Länge oder Durchmesser. Die Implantation an unterschiedlichen Lokalisationen oder Knochenstrukturen erfordert laut Takacs verschiedene Implantattypen und genaueste Planung, um eine maximale Stabilität zu erreichen [166].

Alle 1202 in dieser Studie gesetzten Implantate unterschiedlicher Hersteller wurden von den Behandelnden klinisch als primärstabil beurteilt und konnten im Knochen belassen werden.

Die Überlebenswahrscheinlichkeit eines Implantats hängt zu einem großen Teil von seiner Stabilität im Knochen ab. Die Primärstabilität beim Setzen der Implantate ist ein mechanisches Phänomen, welches durch das lokale Knochenangebot und dessen Dichte bestimmt wird. Des Weiteren setzt Meredith die richtige Implantatauswahl und eine korrekte chirurgische Technik voraus. Außerdem trägt eine hohe Primärstabilität dazu bei, die Knochenregeneration zu verbessern [108]. Aus Studien von Friberg et al. geht eine Implantatfehlerrate von 32% bei Implantaten, die keine ausreichende Primärstabilität aufwiesen, hervor [88]. Dies unterstreicht die Wichtigkeit dieses Faktors bei der Implantateinheilung.

Aus diesem Grund sind präoperative Messungen durchzuführen, um die Primärstabilität zu gewährleisten. Messungen der Knochendichte erfolgten in dieser Studie während der RoboDent-Operationsplanung. Sie wird anhand der CT/ DVT-Bilddaten berechnet und im Planungsmodul des Navigationssystems angezeigt. So kann die Knochendichte bei der

Positionsplanung der Implantate berücksichtigt werden. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die Implantate in Regionen mit ausreichendem Knochenangebot inseriert werden.

Wie schon Quiry et al berichteten, unterstützt die Computertomografie den Operateur bei der Planung der genauen dreidimensionalen Position im Kieferknochen [91].

Es zeigt sich, dass durch die exakte Planung anhand CT oder DVT und Durchführung der Operationen mit einem Navigationssystem ein hohes Maß an Primärstabilität erreicht werden kann. Nur auf diese Weise kann eine optimale Einheilung der Implantate gewährleistet werden. Das Risiko eines Implantatverlusts wird reduziert.

Der Operationsablauf lässt sich bei der RoboDent-Behandlung jederzeit vom Operateur verändern. Falls die gewünschte Primärstabilität in kritischen Fällen nicht erreicht wird, kann ein anderes Implantat größeren Durchmessers oder eine andere Position durch den Behandler gewählt werden.

5.6 Prothetik entsprechend der Planung

In der Planungsphase der RoboDent-Behandlung können die Implantate anhand einer dreidimensionalen Darstellung der Kieferanatomie auch prothetisch sinnvoll geplant werden. Ziel dieser Planung ist es, die optimale prothetische Versorgung wenn möglich bereits präoperativ anfertigen zu lassen. Die Implantate können untereinander optimal ausgerichtet werden um den Anforderungen der späteren Kräfte standzuhalten. Diese Form der prothetikorientierten Implantatplanung wirkt sich positiv auf die Belastung der Implantate in Okklusion aus. Um dies umzusetzen werden von anderen Autoren zahlreiche Hilfsmittel empfohlen.

Die Verwendung von Röntgenschablonen verhilft dazu, Implantate prothetisch sinnvoll im Knochen platzieren zu können. Dies geht aus Untersuchungen von Bahat hervor [154]. In vielen Fällen wird eine solche Röntgenschablone später für den operativen Eingriff modifiziert und zur Bohrschablone umgestaltet. Entfernt man den lingualen Anteil der Schablone und löst die radioopaken Stifte heraus, lässt sich die Schiene intraoperativ zur Kontrolle der Bohrrichtung nutzen. Die Bohrschablone enthält Führungskanäle, die der späteren Implantatausrichtung entsprechen. Die Genauigkeit der Implantatinsertion wird hierdurch verbessert, wie Zinner et al in ihren Studien feststellten [155].

Die Herstellung von Röntgen- und Bohrschablonen verläuft einfach und schnell. In Verbindung mit einem CT-basierten Navigationssystem kann auch der Fehler, der in der operativen Freihand-Umsetzung liegt, weiter reduziert werden. Eine schonende und genauere Insertion im Verhältnis zur späteren Prothetik wird möglich. Naitoh et al beschreiben in einer Studie den Einsatz einer nach CT-Daten hergestellten chirurgischen Schablone. Beim Setzen von einundzwanzig Implantaten im Unterkiefer wurde mit der verwendeten Schablone eine hohe Genauigkeit in der Umsetzung der Planung erreicht [30].

Die 1993 eingeführte SimPlant-Software verbindet die CT-Bildgebung mit CAD. Vor Einführung dieser Software wurde die Implantatplanung mit Ausdrucken oder Kopien der reformatierten CT-Bilder durchgeführt. Transparente Overlays simulierten die Implantate. SimPlant nutzt die CT-Rohdaten aus dem Scan, unterstützt von Computergrafik, und bietet so eine ausgezeichnete Planungsbasis. Das Programm erlaubt dem Planenden verschiedene Ansichten des reformatierten CT-Bildes ebenso wie eine Inspektion der Knochenanatomie und des Alveolarkammes. Knochenweite und -breite können von beliebigen Punkten aus gemessen werden. Anhand der gewonnenen Daten erfolgen die Implantatauswahl nach Länge und Durchmesser sowie die Wahl geeigneter Abutments. Die Neigung des geplanten Implantats lässt sich auf dem Monitor verändern. So kann unter Beachtung der natürlichen Zähne, anderer Implantate oder anatomischer Strukturen eine optimale Position gefunden werden, wie Rosenfeld und Mecal in ihren Studien beschreiben [167].

Anhand der vom Techniker gefertigten Wax-Up-Situation kann jedes Implantat in der gewünschten Position zur späteren prothetischen Versorgung inseriert werden. Durch die anschließende Duplizierung der Wax-Up-Situation und Überführung in Kunststoff wird es möglich, die Zahnaufstellung bereits in die Diagnostik mit einzubeziehen, da die Schiene während der CT/ DVT- Aufnahmen in situ verbleibt. Um für die prothetische Versorgung eine möglichst günstige Ausgangssituation der Implantate zu schaffen, muss in der prothetischen und chirurgischen Planungsphase rechtzeitig das Verhältnis zwischen Knochenangebot und der späteren Restorationsposition analysiert werden. Eine sorgfältige Implantationsplanung inklusive Wax-Up und Schablonentechnik ist für eine erfolgreiche prothetische Versorgung unerlässlich, was Witkowski nach Untersuchungen bildgebender Verfahren darstellt [159, 168]. Die vorliegende Studie hat gezeigt, dass es bei einer Vielzahl der Patienten möglich war, die präoperative prothetische Planung auch umzusetzen (siehe Kapitel 4.8; Abbildung 34, Seite 78). Die Patienten, bei denen eine Änderung erfolgte, konnten zum Teil alternativ versorgt werden.

Die genaue chirurgisch-prothetische Planung ist besonders wichtig, um späteren Fehlbelastungen vorzubeugen. Die Okklusion ist eine wichtige Determinante für Erfolg oder Misserfolg eines Implantats. Eine genaue Evaluation der okklusalen Verhältnisse muss bei jeder prothetischen Versorgung erfolgen und in der Umsetzung des Zahnersatzes Berücksichtigung finden, wie Saba berichtete [169]. Aus klinischen Langzeitstudien von Lindquist et al über einen Zeitraum von 6 Jahren geht hervor, dass Überbelastungen einen Grund für den Verlust von Implantaten darstellen können [65]. Die Wartungsanfälligkeit einer falsch belasteten Restauration ist um ein vielfaches höher und mit zusätzlichen Kosten ist zu rechnen, wie Untersuchungen von Walton et al ergaben [160].

Für eine Erhaltung des Alveolarfortsatzes spielt die Höhe der Belastung eine entscheidende Rolle. Optimal belastete Implantate wirken einem Knochenabbau entgegen und fördern die Remodellierung der Knochensubstanz, wie Melson und Lang in ihren Untersuchungen zeigen konnten [170]. Obwohl über das Zusammenspiel von Implantatoberfläche und Knochen in der Vergangenheit bereits einige Studien veröffentlicht wurden, sind Aussagen aus Studien über das biomechanische Verhalten von Implantaten in Verbindung mit der Biologie des Knochens bisher meist zu einseitig und berücksichtigen nicht die vielgestaltige Kräfteentwicklung während des physiologischen Kauaktes [43, 171]. Die meisten hierzu durchgeführten Studien beziehen sich zudem auf einzelne Implantate. Es bekannten Ergebnissen geht jedoch hervor, dass die Belastungsrichtung einen großen Einfluss auf Erfolg oder Misserfolg hat. So sehen auch Ueda et al ein Auftreten von unphysiologischen Belastungszunahmen an den schräg belasteten Implantaten in ihrer Studie [44].

5.7 Prothetische Sofortversorgung

Mit dem Navigationsgerät ist es möglich, auf dem Technikmodell bereits vor der Operation des Patienten, die Implantatsetzung zu simulieren und damit eine prothetische Suprakonstruktion in geeigneten Fällen bereits präoperativ herzustellen. Wenn möglich, wurde in dieser Studie die Prothetik bereits präoperativ gefertigt. Dies dient der Verkürzung der Behandlungsdauer und hat einen positiven Einfluss auf das Wohlbefinden der Patienten. In Fällen, in denen es zu intraoperativen Änderungen durch den Operateur kommt oder der Patient plötzlich andere Versorgungswünsche vorbringt, muss die Versorgung entsprechend umgearbeitet und angepasst werden. Deshalb hat hier eine genaue Einschätzung der Situation zu erfolgen, damit nicht durch Umarbeitungen der Prothetik Zeitverlust und zusätzlich Kosten auftreten.

Diese Art der Rückwärtsplanung wird auch von Zitzmann in Studien zur Patienten- und prothetisch orientierten Implantatplanung beschrieben und als ein wichtiges Element einer erfolgreichen Behandlung angesehen [70].

Aus der Möglichkeit, die provisorisch oder definitive prothetische Versorgung bereits prächirurgisch anzufertigen, ergeben sich neue Behandlungskonzepte. Nach genauer Diagnostik und mit ausreichender Primärstabilität können sofort belastete Implantate gesetzt werden. Moderne Konzepte der Implantologie gehen zunehmend in Richtung einer Verkürzung der Behandlungsdauer.

Aus den Ergebnissen der in dieser Arbeit ausgewerteten Studie geht hervor, dass die Patienten immer kürzere Behandlungszeiten fordern. Die sofortige Funktionswiederherstellung und der daraus resultierende Komfort spielen ebenso eine Rolle wie die Intoleranz gegenüber Prothesen und die verkürzten Behandlungszeiten. Dieses Konzept wurde auch in Studien von Balshi et al, wo Patienten unter keinen Umständen auf festen Zahnersatz verzichten wollten, angewendet [172].

Untersuchungen von 186 sofortbelasteten Implantaten an Ober- und Unterkiefer zahnloser Patienten wurden von Ganeles et al durchgeführt. 161 dieser Implantate wurden sofort belastet. Die Patienten wurden mit einer befestigten Prothese versorgt. Nach Auswertung der Ergebnisse waren 99% der sofortbelasteten Implantate klinisch und radiologisch integriert. Die Studie zeigt, dass es möglich ist, Implantate am zahnlosen Kiefer sofort zu belasten und sehr gute Ergebnisse zu erzielen [173].

Klein et al gehen davon aus, dass sich dieses Konzept auch auf andere Bereiche der Kopfregion anwenden lässt. Ziel ihrer Studien war die Verkürzung der Behandlungsdauer.

Mit Hilfe eines medizinisch anerkannten Robotersystems wurden Implantate zur Aufnahme von Ohrprothesen inseriert. Die Implantatpositionen wurden anhand von CT-Daten geplant und anschließend mit einer hohen Genauigkeit eingesetzt. Es kam zu keinerlei chirurgischen Komplikationen, und sofortiges Einsetzen der Prothesen nach der Implantation war möglich [5].

Der zeitliche Aspekt ist bei der Implantatversorgung ein wichtiger Faktor. Im Gegensatz zur herkömmlichen Behandlung mit drei- bis viermonatiger Heilungsphase, wird durch Sofortbelastung die Zahl der Patientenbesuche reduziert. Zu diesem Ergebnis kam auch eine Studie von Chee und Jivraj, in der durch Sofortbelastung die Frequenz der postoperativen Praxisbesuche minimiert werden konnte [114].

Auch in unserer Studie wurden Sofortbelastungskonzepte durchgeführt (vgl. Kap.4.9). Dadurch bleibt den Patienten ein zweiter chirurgischer Eingriff zur Freilegung der Implantate erspart. Dieses Konzept führen einige Autoren noch weiter [174].

Die Kriterien für eine Sofortbelastung sind streng. Deshalb ist eine sorgfältige und strikte Patientenauswahl in diesen Fällen indiziert [115]. Zu den Ein- und Ausschlusskriterien der Sofortbelastung von Implantaten zählen unter anderem eine gute Patientencompliance, gesunde Nachbarzähne, keinerlei Entzündungen der Implantationsstelle, sowie ein ausreichendes Knochenvolumen mit guter Knochendichte (vgl. Kapitel 1.7.1).

Auch in unserer Studie konnte bei einer Reihe von Patienten keine Sofortbelastung erfolgen (vgl. Abbildung 36, Seite 80). Gründe wie unzureichende Knochenqualität, Atrophie oder erfolgte Augmentationen lassen keine Sofortbelastung zu. In Fällen, wo es zur Planungsänderung kommt und eine prothetische Sofortversorgung umgearbeitet werden muss, kann dies noch während der Operation erfolgen, um direkt auf eventuelle Änderungen einzugehen. Umfangreichere Änderungen können nur durch den Zahntechniker erfolgen, was eine Verlängerung der Behandlung bedeutet.

Diese einphasigen Verfahren wurden bereits in mehreren Studien von Kosinski et al und Engstrand et al nachgewiesen. Die Autoren berichten von Erfolgsquoten von bis zu 99%. Es können die verschiedensten Implantattypen und Suprakonstruktion zum Einsatz kommen. Die

meisten derzeitigen Untersuchungen zu Sofortbelastung von Implantaten beziehen sich jedoch auf die interforaminale Unterkieferregion [175, 176].

Studien zufolge kann durch die sofortige Funktion des Implantats die Einheilung verbessert werden. Die Belastung und daraus resultierenden Bewegungen des Implantats dürfen 100 μm nicht überschreiten, da der positive Effekt auf den Gewebeumbau dann verloren geht und anstelle von Knochen Bindegewebe entsteht, wie die Untersuchungen von Brunski ergeben [177, 178].

Henry und Rosenberg sehen die kontrollierte Sofortbelastung von interforaminal im Unterkiefer gesetzten Implantaten als ein klinisch zuverlässiges Verfahren an. Der Einsatz verschiedener Implantatsysteme ist möglich [110].

Eine prothetische Sofortversorgung kann entweder durch ein Langzeitprovisorium oder eine definitive Versorgung erfolgen. Es ist möglich, verschiedenste Arten prothetischer Versorgungen zur Sofortbelastung zu nutzen. Dies stimmt mit den Ergebnissen von Glauser et al überein [179, 180].

5.8 Problembeschreibung

Die Arbeit mit dem RoboDent-System erfordert eine exakte Planung anhand hochwertiger Bilddaten. Aus diesem Grund ist der Behandelnde auf die Anfertigung eines CT/ DVT angewiesen. Des Weiteren erfolgt die Herstellung von Wax-Ups und individuellen Navigationsschienen, die intraoperativ am Patienten angebracht werden müssen.

Durch diesen Mehraufwand entstehen für den Patienten zusätzliche Kosten.

Die lange Kette der Einzelfaktoren bei der RoboDent-Planung darf außerdem keine Detailfehler enthalten, da sonst das Behandlungsergebnis gefährdet wird. Dies geht aus den Untersuchungen von Kniha hervor [181].

Metson et al vergleichen in ihrer Studie die Navigation mit elektromagnetischer und optischer Detektion. Im Bereich der Sinuschirurgie wurde deutlich, dass beide Systeme zur intraoperativen Erkennung der Instrumente gut geeignet waren. Jedoch haben beide auch ihre Nachteile. So führt z.B. das Vorhandensein metallischer Objekte im Operationsfeld zu Interferenzen bei der elektromagnetischen Erfassung. Die Wahl eines optischen Systems hingegen bedarf durchgehend freier Sicht zwischen Infrarotkamera und Operationssitus [182].

In Studien wurde gezeigt, dass die Strahlenbelastung eines 14-Bild-Zahnfilm-Röntgenstatus oder eines Orthopantomogramms deutlich unter der eines CT liegt. Die Verwendung eines CT erhöht die Belastung deutlich. Die Strahlenbelastung durch ein DVT liegt ebenfalls klar unter der eines CT (siehe auch Tabelle 1, Seite 14) [16, 17, 19].

Hashimoto et al verglichen in einer Studie das 3DX mit einem Multidetektor-CT (CT der neuesten Generation) anhand der Bildqualität und der Strahlenbelastung für den Patienten. Die Ergebnisse zeigten, dass das 3DX im Vergleich zum Multidetektor-CT bessere Bilddaten zur Bestimmung oraler Strukturen (Schmelz, Dentin, Pulpenkavum o.ä.) liefert. Hinsichtlich der Strahlenbelastung für den Patienten war das 3DX dem Multidetektor-CT ebenfalls überlegen. Die mittleren Strahlendosen zur Bildgebung beim Multidetektor-CT betragen ein Vielfaches der Strahlendosen des 3DX. Dies zeigt nach Ansicht der Autoren die Effizienz des 3DX zur Diagnose und Untersuchung von Hartgeweben in der maxillofazialen Region [24].

Die Anfertigung eines CT hat eine höhere Strahlenbelastung für den Patienten zufolge als die Standardverfahren der Röntgendiagnostik. Nicht jede implantologische Praxis verfügt über ein

DVT, welches in der Strahlenbelastung dem OPG ähnlich ist. Jedoch ist die Anzahl der DVT-Standorte in Deutschland steigend. Um ein maximales Knochenangebot zu nutzen ist es wichtig, eine gesicherte Diagnose über das vorhandene Knochenangebot zu erhalten. Die Nutzung eines dentalen CT in der Implantologie bietet eine Reihe von Vorteilen. Aus diesem Grund haben solche Verfahren seit mehreren Jahren einen festen Platz in der Diagnostik und Planung. Hochwertige Bilddaten bieten dem Behandelnden die Möglichkeit einer dreidimensionalen Visualisierung und der Beurteilung der Kieferstrukturen. Dies wird durch Untersuchungen von Kniha et al bestätigt [181].

So gilt es den Patienten davon zu überzeugen, dass sich der Gang zum jeweiligen CT/ DVT-Standort und der größere Aufwand für ihn lohnen, da diese Daten für eine sichere Implantation notwendig sind.

5.8.1 Probleme bei der Navigation und der Bildgebung

Der Einsatz der Navigation erfordert vom Behandler ein Umdenken und eine Einarbeitungszeit, da der Umgang mit den zusätzlichen Systemkomponenten einige Aufmerksamkeit bei der Arbeit erfordert. Das System arbeitet mit einer optischen Navigationskamera. Deshalb ist während der gesamten Einsatzzeit auf ein freies Strahlenfeld der Infrarotkamera zu achten. Glaskugelreflektoren dürfen nicht verdeckt werden, da sonst eine Lageerfassung durch die Navigationskamera nicht mehr möglich ist und eine Neukalibrierung zu erfolgen hat.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Schulung des Assistenzpersonals. Auch die Assistenz muss sich mit den neuen Gegebenheiten vertraut machen. Der am Patienten angebrachte Registrierflügel schränkt die Bewegungsfreiheit ein. Dies erfordert eine Änderung der gewohnten Handgriffe. Vougioukas et al zufolge ist die Navigation auch ein wertvolles Hilfsmittel, welches intellektuelle und manuelle Fähigkeiten des Chirurgen fördert aber nicht dazu dienen soll solche Fähigkeiten zu ersetzen [183].

Die Navigationsschienen werden bei teilbezahnten Patienten durch die Restzähne gehalten. Bei zahnlosen Patienten werden die Schienen entweder durch IPI's oder Minischrauben befestigt. Der Halt der Navigationsschiene ist für reproduzierbare Einstellungen unerlässlich. In einigen

Fällen zeigen sich Probleme mit der Verankerung. In zahnlosen Kiefern, wo die Verankerung über provisorische Implantate erfolgt, kommt es nach Kniha häufiger zu Problemen mit der Fixierung (siehe auch Kap. 4.13) [181].

Die Bildgebung, die Navigationsschiene und das Navigationsgerät können zu möglichen Problemen bei der navigierten Implantatsetzung führen. Nach Watzke und Kalender stellen Artefakte und Streustrahlen ein wesentliches Problem bei der Diagnostik dar [184].

Diese, durch metallische Werkstoffe hervorgerufenen Effekte, werden vor allem bei der Computertomographie bemängelt.

Die Identifizierung bestimmter Strukturen kann laut unseren Ergebnissen auch beim DVT erschwert sein (vgl.Kap.4.11, Abb.38).

Probleme bei der RoboDent-Planung, von denen in der vorliegenden Studie berichtet wurde, lassen sich auf Benutzerfehler zurückführen. Nach einiger Übung mit dem RoboDent-System können derartige Probleme reduziert werden.

Die eingeschränkte Mobilität kann in Zukunft durch eine kleinere Reflektorgeometrie verbessert werden, um so dem Operateur intraoperativ mehr Bewegungsspielraum zu geben.