

Digitalisierung in aller Munde?

Aktuelle Möglichkeiten in der Kieferorthopädie

Ein Beitrag von Dr. Andreas M. W. Detterbeck, Bogen, und Prof. em. Dr. Ursula Hirschfelder, Erlangen

Die Digitalisierung der Medizin und in deren Folge der Begriff „Digital Health“ haben mittlerweile Einzug in alle Bereiche der Medizin und Zahnmedizin gehalten, auch in die Kieferorthopädie. So stehen inzwischen zahlreiche digitale Technologien zur Verfügung, die darauf abzielen, den Komfort diagnostischer und therapeutischer Methoden für den Arzt und die Patienten weiter zu verbessern und somit die Prozesseffizienz zu steigern. Der nachfolgende Beitrag soll über die aktuellen Möglichkeiten der Digitalisierung in der Kieferorthopädie im Jahr 2019 informieren.

Diagnostik

Neben einer eingehenden klinischen Befundung ist es in der Kieferorthopädie notwendig, ausführliche kieferorthopädische Anfangs-, Zwischen- und Schlussbefunde anhand einer extra- und intraoralen Fotodokumentation, einer Modellanalyse, der Auswertung von Röntgenbildern wie Fernröntgenseitenbilder (FRS) und Panoramanschichtaufnahmen sowie bei gegebener Indikation von Handröntgenaufnahmen zu erstellen. Diese Unterlagen können mittlerweile komplett digital erfasst und durch geeignete Software weiterverarbeitet werden.

Digitale Fotografie und 3-D-Modelle

Selbstverständlich werden standardisierte Patientenfotos seit vielen Jahren digital aufgenommen, mit etablierten Methoden digital vermessen und anschließend elektronisch archiviert. Dies garantiert eine unmittelbare Verfügbarkeit und hohe Qualitätsstandards für den Praxisalltag.

Darüber hinaus gewinnen strahlungsfreie lichteoptische 3-D-Scans des Gesichts zunehmend an Bedeutung, die durch zahlreiche technologische Features effizient erstellt und valide vermessen werden können [4] (Abb. 1). Durch die 3-D-Darstellung werden exakte diagnostische Messungen der Gesichtsstrukturen möglich, die bislang aufgrund der Beschränkung auf zwei Dimensionen nicht gleichwertig evaluiert werden können. Zu bedenken sind allerdings die zeitlichen und personellen Ressourcen, die den routinemäßigen Einsatz dieser modernen Technologie derzeit noch etwas limitieren.

Gipsmodellscanner

Inzwischen ist eine große Auswahl verschiedener praxiserprobter Scanner für Gipsmodelle im Fachhandel erhältlich. Der Einsatz dieser digitalen Technologie macht es möglich, die Modelldokumentation „platzsparend“ zu archivieren und durch geeignete Software dreidimensional zu vermessen. Obwohl die verschiedenen Anbieter eine ausreichende Validität der digitalen Messwerte zusichern, ist eine forschungsbasierte Einschätzung der Validität weiterhin nötig.

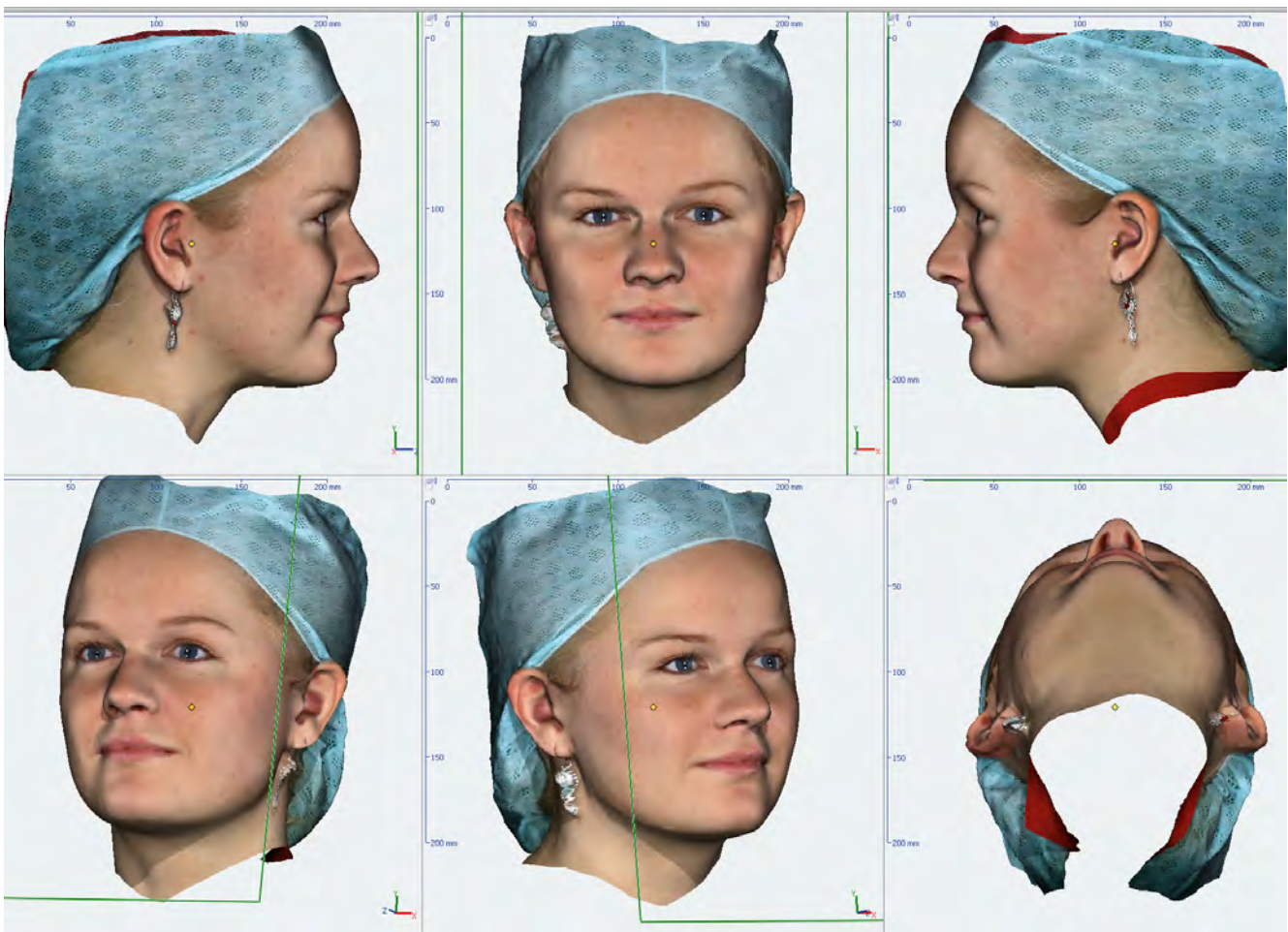


Abb. 1 Darstellung eines dreidimensionalen Face-Scans

Ein weiterer Vorteil dieser computer-gestützten Darstellungs- und Auswertungsform der Kiefermodelle (Abb. 2) ist die unmittelbare Zuordnung der elektronischen Daten zu der digitalen Patientenakte. Damit wird auch eine unmittelbare Vergleichbarkeit von therapeutisch bedingten Veränderungen realisiert. Diese Option ist bereits heute nahezu als Standard der modernen Kieferorthopädie zu bezeichnen. Sie erleichtert die wichtige Kommunikation zwischen Arzt und Patient beziehungsweise dessen Eltern deutlich. Somit tragen die bereits vorhandenen digitalen Strukturen schon aktuell dazu bei, Aufklärungsgespräche effizienter zu gestalten.

Intraoralscanner

Die Nutzung eines Intraoralscanners macht die Herstellung von Gipsmodellen bereits heute vielfach unnötig; dies wird zukünftig in noch größerem Umfang der Fall sein. Die

für den Patienten häufig unangenehme Abformung ist dann nicht mehr erforderlich. Zudem wird das zahntechnische Labor durch die obsolet gewordenen Gipsarbeiten entlastet. Durch diese digitale Technik entfällt somit ein kompletter Arbeitsschritt, wengleich sich der personelle Zeitaufwand am Patienten aktuell noch gering erhöht. Zudem ist zu erwähnen, dass sich die intraorale Scantechnologie derzeit in einer rasanten Fortentwicklung befindet, sodass zeitnah weitere große technische Fortschritte zu erwarten sind.

Wichtig ist es, den derzeitigen Standard in der kieferorthopädischen Lehre und Forschung zu beachten. Das bedeutet, dass aus diagnostischer und forensischer Sicht eine Abformung des gesamten Kiefers einschließlich der apikalen Basis und der Umschlagfalten erforderlich ist. Ferner ist es von Bedeutung, dass eine dreidimensionale Orientierung der intra-

oralen Situation gegeben ist, wie sie nach konventionellen, rechtssicheren Richtlinien zu erfolgen hat. Dies ist teilweise nicht von allen auf dem Markt erhältlichen intraoralen Scannern gewährleistet. Die digitale Analyse dieser generierten Modelle ist jedoch bereits seit längerer Zeit software-gestützt valide möglich und praxiserprobt.



Abb. 2 Hochauflösende Darstellung eines digitalen Modells

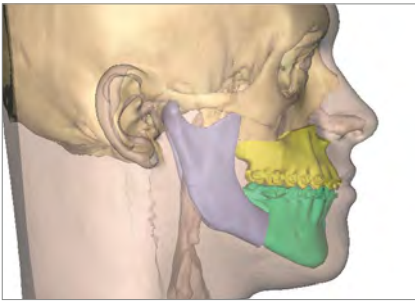


Abb. 3 Überlagerung von Hart- und Weichgewebe mit operativer Planung



Abb. 4a Intraoraler Scan



Abb. 4b Digitale Planung der optimalen Bracketposition auf dem dreidimensionalen Patientenmodell

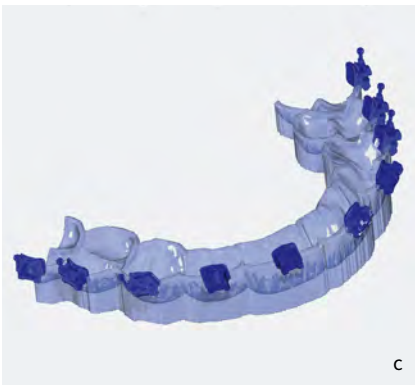


Abb. 4c Softwaregestützte Simulation der 3-D-Übertragungsschiene

Abb. 4d Physisch hergestellte Übertragungsschiene mit eingesetzten Brackets

Röntgenbilder

Die Nutzung bereits etablierter digitaler Röntgentechniken zur Anfertigung der eingangs erwähnten diagnostischen Röntgenaufnahmen bietet den Vorteil einer Reduktion der Strahlendosis bei gleichzeitig ökologisch günstigeren Anwendungsstrukturen. Der Einsatz dieser digitalen Verfahren zählt demzufolge bereits zum Goldstandard in der Kieferorthopädie.

Mit der Einführung und Fortentwicklung der Computertomografie (CT) und der digitalen dentalen Volumentomografie (DVT) in der Zahnheilkunde ist es seit mehr als 20 Jahren möglich – parallel zur Entwicklung lichtoptischer Verfahren –, digitale Datensätze relevanter dento-fazialer Strukturen des Schädels und der Kiefer überlagerungsfrei ohne Verzerrung anatomisch exakt abzubilden, multiplanar zu rekonstruieren und softwaregestützt räumlich zu visualisieren sowie dreidimensional reproduzierbar zu vermessen [5,6,11]. Dies bedeutet einen großen Fortschritt für das Fachgebiet der Kieferorthopädie im Rahmen der kraniofazialen Differenzialdiagnostik sowie zur detaillierten

Diagnostik von Zahnverlagerungen. Die diagnostischen Möglichkeiten erstrecken sich auf die Hart- und Weichgewebe des Schädels. Dadurch hat sich die diagnostische und therapeutische Sicherheit in der Kieferorthopädie erheblich erhöht, sodass eine optimierte kieferorthopädische Behandlungsplanung bereits heutzutage realisiert werden kann.

Ein weiterer vielversprechender Ansatz in der digitalen 3-D-Diagnostik liegt in der Erzeugung multiplanarer 2-D-Schnittbilder und dreidimensionaler Oberflächenrekonstruktionen von Weich- und Hartgeweben mittels strahlungsfreier Magnetresonanztomografie (MRT). Dies wird in Zukunft bei vergleichbarer diagnostischer Aussagekraft in Relation zu CT- und DVT-basierten Volumenaufnahmen Realität werden [2,3]. Hierzu bedarf es jedoch weiterer praxistauglicher Entwicklungen auf dem technologischen Sektor. Insgesamt sind jedoch auch bezüglich der MRT die Kosten, der technische und personelle Aufwand sowie der Nutzen für die tägliche Praxis sorgfältig gegeneinander abzuwägen und wissenschaftlich zu untermauern.

Überlagerung von 3-D-Datensätzen

Durch die Nutzung dreidimensionaler Datensätze (Modelle, Gesichtsscan, DVT-/CT-/MRT-Daten) in zeitlich determinierten Intervallen kann der Verlauf der Behandlung zukünftig sicher kontrolliert und gegebenenfalls computergestützt quantifiziert werden (Abb. 3). Die Schwierigkeiten, bei Heranwachsenden geeignete Referenzstrukturen für die Überlagerung zu finden, bleiben bestehen. Die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten moderner digitaler Technologien haben das diagnostische Spektrum in der Kieferorthopädie insgesamt jedoch wesentlich erweitert und bieten bereits heute ein sicheres Fundament für zahlreiche therapeutische Entscheidungen.

Therapie

Aber auch in der kieferorthopädischen Therapie bietet sich mit den Möglichkeiten moderner digitaler Technologien ein erheblicher Mehrwert an therapeutisch wichtigen Informationen. Die nachfolgenden Schilderungen beziehen sich hier teil-

weise exemplarisch auf die Nutzung der Software OnyxCeph³ 3.2.47 von Image Instruments.

Digitales Ziel-Set-up (3-D)

Die kieferorthopädische Behandlungsplanung ist aufgrund der Individualität und Variabilität jedes Einzelfalls sehr unterschiedlich und vielfach sehr komplex. Daher ist es nicht selten hilfreich, die Konsequenzen der angestrebten Therapie vorab anhand eines Ziel-Set-ups zu simulieren, um den Umfang der geplanten Zahnbewegungen im Vorfeld besser zu überblicken. Ein Ziel-Set-up am konventionell erstellten Gipsmodell kann selbstverständlich realisiert werden, ist allerdings mit einem hohen zeitlichen labortechnischen Aufwand verbunden. Anhand digitaler Modelle kann das Ziel-Set-up mit deutlicher Zeitersparnis für den Kieferorthopäden simuliert und im Sinne einer geometrisch optimierten Zahnanordnung unter vorgegebenen Randbedingungen eingestellt werden. Trotz allem handelt es sich dabei wie bei konventionellen Verfahren nur um eine Vorab-Einschätzung, die im Individualfall nicht genauso eintreffen muss. Eine oder mehrere digitale Zwischendokumentationen sind zur Sicherung des Behandlungsergebnisses daher unumgänglich.

Digitale Bracketpositionierung

Die exakte Positionierung von Brackets ist essenziell für ein hochwertiges Behandlungsergebnis, das heißt die Einstellung einer bestmöglichen Okklusion. Hierzu stehen prinzipiell zwei konventionelle kieferorthopädische Verfahren zur Verfügung:

1. Direkte Klebeverfahren, bei denen einzelne Brackets nach definierten Kriterien direkt auf den jeweiligen Zahn appliziert werden. Die Kontrollmöglichkeit der exakten Positionierung ist bei der Wahl dieser Methodik abhängig von der jeweiligen Zahnstellung und kann insbesondere im Seitenzahnbereich erschwert sein.
2. Indirekte Klebeverfahren, bei denen die Brackets bei konventionellen Technologien exakt auf dem Gipsmodell positioniert und mittels einer

labortechnisch hergestellten Übertragungsschiene beim Patienten indirekt aufgeklebt werden.

Dank der Möglichkeiten digitaler Vorbereitungsprozesse können die Brackets bei letzterem Verfahren auf einem virtuellen 3-D-Modell ohne labortechnischen Zwischenschritt exakt positioniert und eine passende Übertragungsschiene elektronisch berechnet werden (**Abb. 4a bis c**). Diese Übertragungsschiene kann mittels eines 3-D-Druckers und eines speziellen, flexiblen und für die Anwendung am Patienten zugelassenen Kunststoffes ausgedruckt werden. Die Brackets müssen dann nur noch in der Schiene positioniert (**Abb. 4d**) und auf die Patientenzähne übertragen werden. Dies ist für die Behandlungszeit am Stuhl und damit auch für den Patienten mit einer deutlichen Zeitersparnis verbunden. Der Vorbereitungsprozess, der fachzahnärztliche Kompetenz erfordert, ist natürlich weiterhin nötig.

Individuell auf digitaler Basis gefertigte Bögen

Die Individualisierung der Bogenform für den einzelnen Patienten spielt eine große Rolle für die Langzeitstabilität der Behandlung. Softwaregestützt können die einzelnen Bögen exakt berechnet und mithilfe eines Biegeroboters maschinell auf der Basis digitaler Daten hergestellt werden [9]. Eine Individualisierung ist sowohl für die konventionelle als auch für die linguale kieferorthopädische Therapie möglich. Diese computerbasierten technologischen Möglichkeiten setzen medizinisch-kieferorthopädische Fachkompetenz voraus.

Aligner auf digitaler Basis

Immer häufiger wird von Patienten der Wunsch nach einer unsichtbaren und zugleich effizienten Therapie geäußert. Insbesondere erwachsene Patienten, die sich zur Durchführung kieferorthopädischer Maßnahmen entschließen, fühlen sich durch eine festsitzende Multibracketapparatur in ihrer Lebensqualität eingeschränkt.

Hier bietet sich bei leichten bis moderat ausgeprägten Zahnfehlstellungen

die Therapie mit durchsichtigen Schienen an, sogenannten Alignern. Bei der Herstellung der Aligner kann der digitale Prozess seine Vorteile gänzlich ausspielen: Der Intraoralscanner ermöglicht die digitale Erfassung des Mundstatus und mittels VTO (Visualized Treatment Objective, sichtbar gemachtes Behandlungsziel) kann der Kieferorthopäde eine weitgehend genaue Vorhersage und Simulation des Behandlungsergebnisses vollziehen und softwaregestützt die nötigen Zwischenschritte kalkulieren und vorbereiten. Diese Zwischenschrittmuster können exportiert und mithilfe eines 3-D-Druckers physisch hergestellt werden. Anschließend wird anhand dieser virtuell erstellten Modelle die Schiene individuell gefertigt. Es ist auch möglich, diesen Planungs- und Herstellungsprozess an Fremdfirmen auszulagern. Es entspricht allerdings eher den ethischen Grundsätzen der wissenschaftlich fundierten Kieferorthopädie, die Schienen nach ausführlicher (digitaler) Befunderhebung unter Kontrolle des Arztes herzustellen.

Zu beachten ist, dass die Alignertherapie prinzipiell dieselben Risiken birgt wie andere aktiv-mechanisch zahnbewegende Therapieformen, nämlich die Gefahr der Initiierung von apikalen und/oder lateralen Wurzelresorptionen. Der behandelnde Kieferorthopäde sollte die Planung daher streng überwachen, kontrollieren und individuell modifizieren.

Virtuelle, digital gesteuerte Bracketentfernung

Mittels geeigneter Software am Ende einer Behandlungsphase mit festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen können die Brackets virtuell, das heißt computergestützt, entfernt werden. Anschließend erhält man eine digital berechnete intraorale Situation ohne Brackets. Es besteht dann die Möglichkeit, anhand der virtuellen Entbänderungsmodelle je nach Bedarf noch Feinkorrekturen mit einer anschließenden Alignertherapie zu planen. Die damit zusammenhängenden Leistungen werden allerdings nicht durch öffentliche Versicherungsträger finanziert.

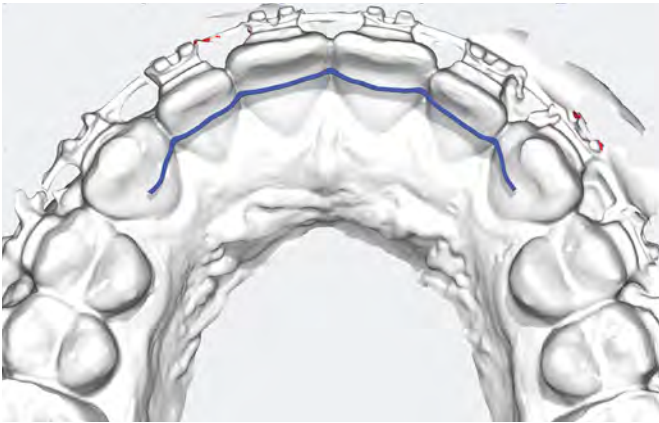


Abb. 5a Digitale Planung eines Oberkieferretainers

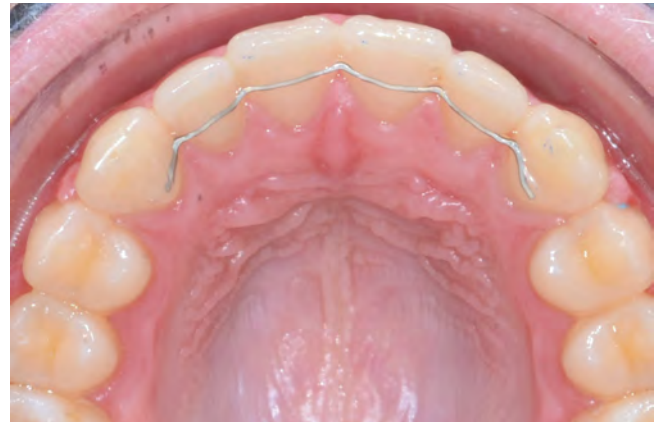


Abb. 5b Klinische Umsetzung des Kleberretainers

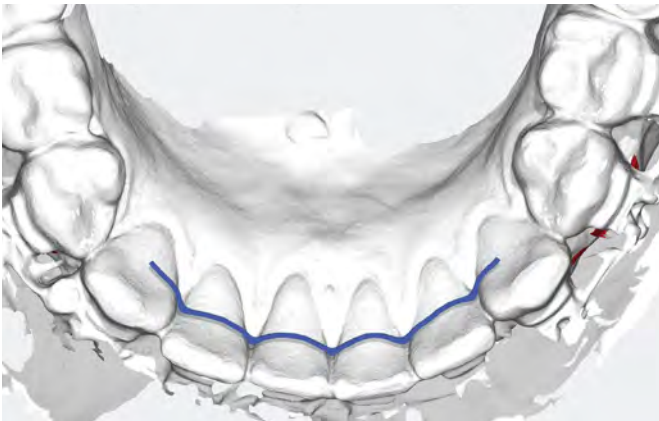


Abb. 5c Digitale Planung eines Unterkieferretainers



Abb. 5d Klinische Umsetzung des Kleberretainers

CAD-Retainer

Nach Abschluss der kieferorthopädischen Therapie wünschen sich sowohl Patient als auch Behandler ein möglichst stabiles Behandlungsergebnis. Kleberretainer an den Lingual- beziehungsweise Palatinalflächen im Frontzahnbereich haben sich dafür in Kombination mit lockeren Zahnspangen als etabliertes und weit verbreitetes Mittel [1] durchgesetzt. Insbesondere der tertiäre Engstand im Unterkieferfronteckzahnbereich in der Adoleszenz kann dadurch weitgehend verhindert werden. Allerdings besteht gerade für Oberkieferkleberretainer ein erhöhtes Verlustrisiko, das vielfach auf anatomische Gegebenheiten zurückzuführen ist.

Durch die Planung der Retainerposition am digitalen Modell kann diese ohne labortechnische Zwischenschritte exakt bestimmt werden. Mittels CAD/CAM-Fertigung kann anschließend der Klebedrath hergestellt und mit einem Positionierungs-

schlüssel im Mund eingesetzt werden (Abb. 5a bis d). Durch dieses Fertigungsverfahren ist der Retainer besonders präzise, weist aber trotzdem eine ausreichende Stabilität auf. Eine aktuelle Studie vermutet auch einen positiven Effekt von CAD/CAM-Retainern auf die Mundgesundheit gegenüber konventionellen Retainern [7]. Der CAD/CAM-Retainer weist somit diejenigen Eigenschaften auf, die aus klinischer Sicht erwünscht sind: eine einfache Herstellung, eine sehr gute Passung bei hoher Stabilität sowie eine gute Reinigungsfähigkeit.

Chirurgische Vorteile und interdisziplinäre Zusammenarbeit

Platzierung von Mini-Implantaten

Mini-Implantate erlangen in der Kieferorthopädie eine zunehmende Bedeutung für eine skelettale Verankerung, zum Beispiel, um unerwünschte Gegenkräfte bei

geführten Zahnbewegungen im Rahmen der kieferorthopädischen Behandlung mit Multibracketapparaturen zu vermeiden. Zur optimalen Planung der Positionierung der Schrauben kann die gewünschte Schraubenart aus einer digitalen Implantatbibliothek ausgewählt und anhand eines überlagerten Datensatzes aus Intraoral-/Modellscan und FRS beziehungsweise CT-/DVT-Volumendaten platziert werden (Abb. 6).

OP-Planungen

Üblicherweise werden für interdisziplinäre Planungen von Dysgnathie-Operationen neben zahlreichen weiteren diagnostischen Verfahren kephalometrische Analysen zur Planung und Evaluation der Therapie verwendet. Aufgrund der Zweidimensionalität gehen allerdings relevante Informationen verloren. Durch die Nutzung der digitalen Analysen (Modelle, 3-D-Bildgebung, Gesichtsscan) ergeben

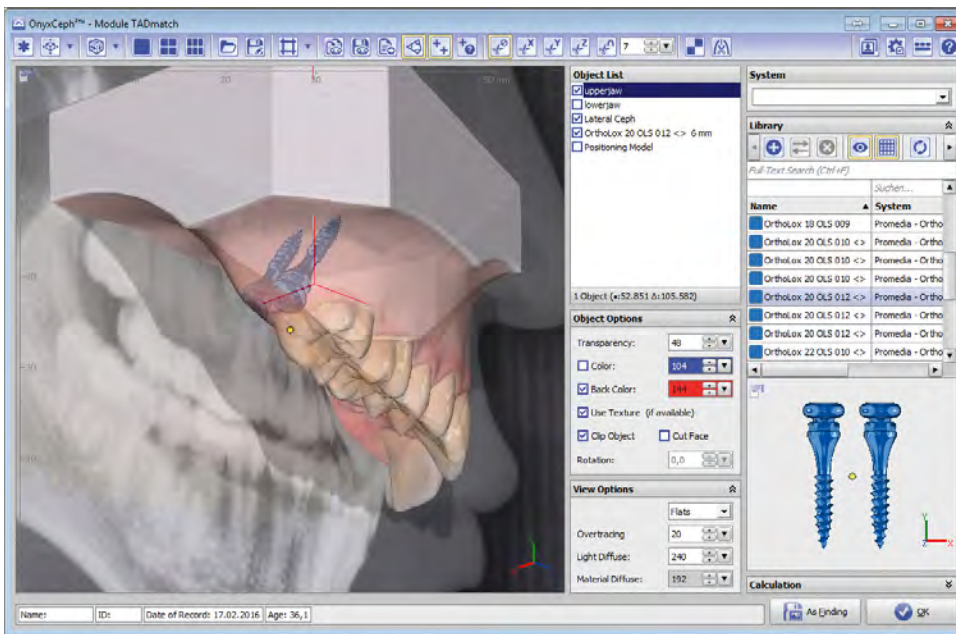


Abb. 6
Simulation der Schraubenposition
im 3-D-Modell mit radiologischer
Überlagerung

sich vielfältige Möglichkeiten dreidimensionaler Überlagerungen im Rahmen der virtuellen Therapieplanung (vgl. Abb. 3). Dies erhöht die Planungssicherheit für das verantwortliche Behandlungsteam (Kieferorthopäde/Mund-Kiefer-Gesichtschirurg). Sogar die Herstellung sogenannter Cutting-Guides ist möglich. Dadurch wird dem Operateur intraoperativ die ideale Schnittlinie vorgegeben [8].

Transplantationen von Zahnkeimen

Die Transplantation von patienteneigenen Zähnen ist eine hervorragende Möglichkeit, um Lücken im Front- und Seitenzahnbereich infolge von Aplasien permanenter Zähne oder einem traumatischen Zahnverlust im Rahmen kieferorthopädischer Behandlungen zu versorgen und damit implantatgetragene Suprakonstruktionen zu vermeiden. Eine sehr spannende Möglichkeit für zukünftige interdisziplinäre Anwendungen digitaler Untersuchungsmethoden ist die autologe Transplantation von Zahnkeimen wie von Strbac et al. [10] beschrieben: Hierbei wird vorab von dem zur Transplantation vorgesehenen Zahnkeim ein DVT-/CT-/MRT-basierter 3-D-Datensatz erstellt. Anhand dieses Datensatzes wird der Zahnkeim dreidimensional segmentiert, anschließend über einen 3-D-Drucker aus einem biokompatiblen Material ausge-

druckt und dann in die Alveole eingepasst. Somit kann die Alveole sehr gut für die Transplantation des eigentlichen autologen Zahnkeims vorbereitet werden.

Ausblick

Zusammenfassend erscheint es realistisch, dass durch die zunehmende Digitalisierung der Zahnmedizin auch ein weiterer Schritt in Richtung „Digital Health“ in der Kieferorthopädie stattfinden wird.

Es ist davon auszugehen, dass sich durch den rasanten Fortschritt digitaler Technologien auch der Konkurrenzdruck unter den Herstellern erhöhen wird, sodass sich in Zukunft vermutlich auch die mit der Digitalisierung verbundene finanzielle Belastung für die kieferorthopädische Praxis und die Patienten reduzieren wird.

Es bleibt zu vermuten, dass sich die angesprochenen digitalen Verfahren aufgrund ihrer vielfältigen klinisch relevanten Vorteile auch in der Kieferorthopädie weiter durchsetzen werden, zumal damit auch eine Steigerung der Effizienz und Qualität für das Gesundheitssystem zu erwarten ist.

Zudem wird die Digitalisierung kieferorthopädischer Daten durch die allgemeine Globalisierung der Welt immer wichtiger werden. Digitale Patientendaten können

schon heute schnell und unkompliziert weltweit geteilt werden. So wird der postalische Versand physischer Kiefermodelle aus Gips immer seltener nötig werden. Der kollegiale Austausch, aber auch die Erstellung von Gutachten könnten durch die Zustellung digitaler Unterlagen schneller und effizienter vonstattengehen. Zu klären bleibt allerdings die Rechtsfähigkeit digitaler Kiefermodelle, das heißt die Anerkennung seitens der Zahnärztekammern, der Kassenzahnärztlichen Vereinigungen und der Gerichte. Selbstverständlich müssen die aktuellen Richtlinien des Datenschutzes im Rahmen eines Datentransfers streng beachtet werden.

Bei den dreidimensionalen bildgebenden Untersuchungsverfahren bleibt zu hoffen, dass sich der Trend zur strahlungsfreien MRT-Anwendung in der Kieferorthopädie weiter etablieren und diese zukünftig unter Umständen zumindest für bestimmte kieferorthopädische Indikationsstellungen auch als erstattungsfähige Leistung anerkannt wird.

Korrespondenzadresse:
Dr. Andreas M. W. Detterbeck
Wittelsbacherstraße 17
94327 Bogen
verwaltung@kfo-bogen.de
www.kfo-bogen.de

Literatur bei den Verfassern