Digitale Mini-Implantat getragene Suprakonstruktionen – Design und Workflows

Dr. Jan H. Willmann, Prof. Dr. Benedict Wilmes, Prof. Dr. Dieter Drescher, Düsseldorf

Abstract

Die fortschreitende technische Entwicklung der Intraoralscanner und der 3D-Drucktechnologien erfasst nahezu alle Bereiche der kieferorthopädischen Diagnostik und Therapie. Um diese neuen Technologien in der Praxis effizient anwenden zu können, bedarf es der Entwicklung und kritischen Evaluation neuer Gerätedesigns und klinischer Workflows. Dieser Artikel beschreibt die digitalen Workflows für die Nutzung Mini-Implantat getragener kieferorthopädischer Apparaturen sowie die wesentlichen Merkmale des digitalen Gerätedesigns.

Einleitung

Die Kieferorthopädie befindet sich mitten im digitalen Wandel. Wurde gestern noch abgeformt, wird heute gescannt; die Bracketplatzierung erfolgt virtuell, und die Alignerbehand-lung ist schon lange eine digitalisierte Domäne. Diese Beispiele zeigen, dass viele Arbeitsabläufe bereits erfolgreich digitalisiert werden konnten. Auf der anderen Seite gibt es Bereiche, in denen diese Entwicklung noch jung ist und in der Praxis noch nicht leicht umsetzbar erscheint. Einer dieser Bereiche ist der digitale Workflow im Rahmen der Nutzung von Mini-Implantaten und der dazugehörigen Herstellung der Suprakonstruktionen.

Die Herstellung der Geräte erfolgte bislang zumeist im Rahmen eines klassischen Laborprozesses mit Anpassen der Bänder, Abformung, Herstellung eines Arbeitsmodells und folgender Fertigung der Apparatur unter Verwendung konfektionierter Bauteile.¹⁻³

Aufgrund der rasanten Entwicklung der intraoralen Scantechnologie und deren Verfügbarkeit sowie den Fortschritten im Bereich der additiven Fertigung wurden digitale CAD/CAM-Workflows beispielsweise für die Herstellung von GNE-Apparaturen und Retainern beschrieben. Die Anwendung dieser Technologien zur Herstellung Implantat getragener Suprakonstruktionen erfolgte im zweiten Schritt. Im Rahmen dieser Test- und Entwicklungsphase wurde die Erfahrung gemacht, dass

A. das individuelle Design der Geräte recht aufwendig ist,

- B. das Investment in Soft- und Hardware mit viel Einarbeitungszeit verbunden ist
- C. und die Ausarbeitung mittels Selective Laser Melting (SLM, additiven Fertigungsweg für Metallteile) produzierter Teile viele Laborressourcen bindet.

Um die Vorteile dieser Technologien und die damit herstellbaren Geräte allgemein zugänglich machen, erfolgte die Gründung des Startups "TADMAN" aus der Universität Düsseldorf heraus. Dabei lag der Fokus nicht allein in der Umsetzung bereits bekannter Geräte in die digitale Umgebung, sondern vielmehr sollte die Chance genutzt werden, das Design unter Nutzung digitaler Entwurfsmethoden und der additiven Fertigung zu individualisieren und optimieren. Alle hier vorgestellten Geräte bauen auf der bekannten Benefit Mini-Implantatserie (PSM, Gunningen, Deutschland) auf.

Beneslider und Mesialslider

Der Beneslider ermöglicht eine kooperationsunabhängige Distalisation oberer Molaren. In seiner klassischen Form besteht der Slider aus einer Basisplatte mit einem runden Stahldraht als Führungsbogen (PSM, Gunningen, Deutschland).

Die digitalen TADMAN Slider weisen zur Optimierung der Zahnbewegung einen vergrößerten rechteckigen Querschnitt auf (Abb. 1). Das programmierte Torquespiel erlaubt eine kontrollierte Führung der Molaren durch den Alveolarfortsatz. Neben der Querschnittsänderung sorgt auch die für die Fertigung verwendete CoCrW-Legierung (E-Modul: 220 GPa) im Vergleich zu federhartem Stahl (E-Modul: 180 GPa) für eine deutliche Erhöhung der Formstabilität der 3D-gedruckten TAD-MAN Slider.



Darstellung eines Mesialsliders mit modifizierter Querschnitts geometrie zur Erhöhung der Sliderstabilität

Die konventionelle Beneplate (PSM, Tuttlingen, Deutschland) bietet zwar den Vorteil, den variierenden Abstand zwischen frei Hand inserierten Mini-Implantaten auszugleichen. Als Nachteil erweist sich jedoch die flächige Bedeckung der Mini-Implantate, die die Hygiene erschwert und die Entstehung einer Plagueakkumulation begünstigt. Die auf paramedian inserierten Mini-Implantaten verankerten TADMAN Slider verfügen hingegen über individuell gefertigte Abutments, die eine vollständige Reinigung der periimplantären Region erleichtern (Abb. 2).

Mini-Implantate im anterioren Gaumen weisen eine sehr hohe Erfolgsquote auf. Vergleichsstudien zwischen median und paramedian inserierten Mini-Implantaten konnten hinsichtlich der Langzeitstabilität keinen Unterschied aufdecken. Da die paramediane Insertion in technischer Hinsicht Vorteile bietet, wird diese im digitalen Workflow nach Möglichkeit präferiert. 8-9

Sowohl der TADMAN Mesialslider als auch der TAD-MAN Beneslider bieten verschiedene Konfigurationsmöglichkeiten. Für Patienten, die konventionell mittels



Modifizierte Sliderkopllung mit verbesserter Zugänglichkeit der Mini-Implantate für die Reinigung



Darstellung der Konfigurationsoptionen eines digitalen TADMAN Benesliders. Linke Seite mit Bonded Tubes, rechte Seite mit Shells und Molarentubes

einer Multibracket-Apparatur behandelt werden, bietet sich dich Möglichkeit, den Slider mit Shells und bukkalen Molarentubes zu bestellen (Abb. 3). Für Behandler, die eine Behandlung ohne Bänder oder Shells präferieren oder die Apparaturen mit Alignern kombinieren wollen, bietet sich die Konfiguration der sogenannten Bonded Tubes an. (Abb. 3)

Molarenkopplung

Die Kopplung zwischen Führungsdraht (Schiene) und Zahn erfolgt mittels des neu entwickelten Versalocks (Abb. 4). Diese Neuentwicklung beruht auf der klinischen Erfahrung, dass sich konventionelle Palatinalschlösser im Gebrauch leicht verformen und daher bereits nach kurzer Zeit keine ausreichende Torquekontrolle mehr bieten. Werden konventionelle Schlösser auf der palatinalen Seite gedruckter Molarenshells befestigt, führt dies nahezu immer zu okklusalen Vorkontakten, die von den Patienten schlecht toleriert werden.

Um diese Probleme zu vermeiden und auch um eine additive Fertigung zu ermöglichen, wurde das rigide Versalock-System entwickelt. Die Kopplung zwischen Zahn und Gerät erfolgt auf Höhe des Widerstandszentrums und unterstützt auf diese Weise eine körperliche Zahnbewegung. Zudem erlaubt das flexible Design eine Verlängerung der Distalisations- oder Mesialisierungsstrecke, falls die Führungsschiene nicht ausreichend Bewegungsstrecke zulässt (Abb. 5)





Zukünftig bietet das TADMAN Versalock-System auch die Möglichkeit, mit klassischen Geräten wie dem TPA oder der Quadhelix kombiniert zu werden.

Hybrid-Hyrax und TPA

Auch die Hybrid-Hyrax und der implantatgetragene TPA konnten verbessert werden (Abb. 6,7). Dank des Fertigungsmaterials sind die Geräte sehr rigide und können mit Hilfe des digitalen Designs optimal an die individuelle Gaumenanatomie adaptiert werden.



Modifizierte Hybrid-Hyrax mit rigiden Verbindungsarmen und der Möglichkeit der zusätzlichen Anbringung von Klasse III Haken im Rahmen der maxillären Protraktion



3D gedruckter TPA, mit modifzierter Kopplung zur Erleichterung der Implantatreinigung sowie Erhöhung der Rigidität durch Querschnittsveränderung

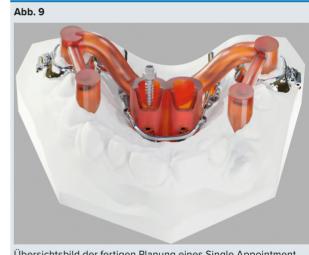
Wie auch bei den Slidern oder anderen Geräten kann beim Einsatz der Hybrid-Hyrax auf den Vorgang des Separierens und des Bänderanpassens verzichtet werden. Das Entfallen dieser Schritte wird sowohl von Patienten als auch den Behandlern sehr positiv bewertet.

Workflows

Grundsätzlich bieten sich in der Praxis zwei unterschiedliche Workflows an: der einzeitige sogenannte "Single Appointment Workflow" sowie der zweizeitige "Two Appointments Workflow".

Single Appointment Workflow

Der TADMAN Single Appointment Workflow bietet den Vorteil, Mini-Implantate und Suprakonstruktion in einer Sitzung einsetzen zu können (Abb. 8,9).



Übersichtsbild der fertigen Planung eines Single Appointment Workflows, Slider und Insertionsguide werden auf Basis der Implantatpositionierung designt







Darstellung des Single Appointment Workflows im Rahmen der Insertion eines digitalen Benesllders; von links nach rechts: a) Insertion der Mini-Implantate mittels Insertionsguides, b) Position der Mini-Implantate nach Insertion, c) Einbringung des Benesliders in einer Sitzung

Die Planung der Implantatposition erfolgt anhand des digitalen Modells unter Zuhilfenahme einer FRS-Aufnahme (Abb. 10). In komplexen Fällen, wie beispielsweise bei Patienten mit verlagerten Zähnen oder Lippen-, Kiefer-, Gaumenspalten, können die Implantate auch mithilfe eines DVTs positioniert werden. 10-11 Da in aller Regel das digitale Modell und das FRS für eine präzise Positionierung ausreichen, müssen für die Planung und Herstellung der Geräte keine zusätzlichen Termine anberaumt werden.

Die auf diese Weise virtuell positionierten Implantate dienen als Grundlage für den stereolithografischen Druck des Insertionsquides und den SLM-Druck der Suprakonstruktion. Die Insertionsguides ermöglichen auch dem im Umgang mit Mini-Implantaten noch nicht sehr erfahrenen Behandler einen sicheren Zugang zu diesen Therapieoptionen. Mit Hilfe der Guides ist eine sichere und parallele Insertion der Mini-Implantate gewährleistet.

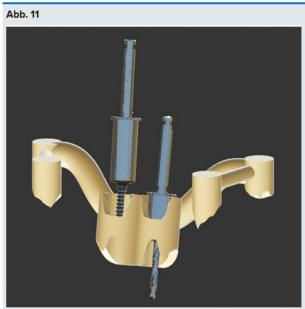
Bei Patienten oberhalb einer Altersgrenze von 12-14 Jahren empfiehlt sich die Einbringung einer Vorbohrung. Da die Benefit Mini-Implantate über selbstbohrende Gewinde verfügen, bedarf es lediglich einer Schwächung der palatinalen Kortikalis. Die Vorbohrtiefe sollte dazu auf 2 bis maximal 4mm beschränkt werden. Um die Vorbohrung exakt am geplanten Ort einbringen zu können, wird der Digital Motion Bohrer in Verbindung mit dem Insertionsquide verwendet (Abb. 11).

Abb. 10

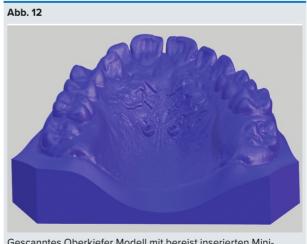
FRS / Modell basierte Positionierungsplanung der Mini-Implan-

Two Appointments Workflow

Sollen die Implantate erst nach ihrer Insertion gescannt werden, kommt der Two Appointments Workflow zur Anwendung. Im digitalen Scan muss die Position der Implantate eindeutig bestimmt werden können, um als Grundlage für das Design der Suprakonstruktion dienen zu können (Abb. 12). In manchen Fällen werden die Implantate von den Scannern aufgrund ihrer reflektierenden Oberflächen nicht korrekt erfasst. In dieser Situation bietet sich die Nutzung eines mattierenden Scan-Sprays an. Bei manchen intraoralen Scannern kann es



Übersicht über die Insertionsinstrument im digitalen Workflow, Digital Motion Vorbohrinstrument sowie Digital Motion Kling mit Mini-Implantat (Digital Motion, PSM, Gunningen, Deutschland)



Gescanntes Oberkiefer Modell mit bereist inserierten Mini-Implantaten, Scan durchgeführt mit Trios (3Shape, Kopenhagen, Dänemark) ohne zusätzliche Mattierungsmaßnahmen

vorkommen, dass deren Rekonstruktionsalgorithmen die Implantatköpfe fälschlicherweise eliminieren. Hier kann es hilfereich sein, den Scankopf aus möglichst vielen Richtungen auf die Implantatköpfe zu richten. Bei einem sehr schmalen Gaumen kann alternativ auf sogenannte Scanbodys zurückgegriffen werden (Abb. 13). Das Einsetzen des Gerätes erfolgt bei diesem Workflow in einer zweiten Sitzung. Insbesondere für Behandler, die einen sicheren Einstieg in die Behandlung mit Minilmplantaten suchen, empfiehlt sich eine Insertion mit Guide und das Einsetzen des Gerätes in einer zweiten Sitzung, um die Abläufe Schritt für Schritt sicher kennenzulernen.

Zusammenfassung

Der vollständige digitale Workflow, von der Insertionsplanung bis hin zum Gerätedesign, konnte auch für die kieferorthopädische Implantologie implementiert werden. Schon jetzt ist offensichtlich, dass die neuen Workflows und Gerätedesigns erhebliche Vorteile für die klinische Anwendung bringen. Von unseren Patienten wird der digitale Workflow außerordentlich positiv aufgenommen. Insbesondere der Verzicht auf orthon-



dontische Bänder, das Separieren und das Entfallen der Silikonabformungen werden sehr positiv wahrgenommen.

Literatur

- Wilmes B, Drescher D. A miniscrew system with interchangeable abutments. Journal of clinical orthodontics: JCO 2008; 42: 574-580; quiz 595
- Wilmes B, Drescher D. Application and effectiveness of the Beneslider: a device to move molars distally. World J Orthod 2010: 11: 331-340
- Wilmes B, Nienkemper M, Drescher D. Der Beneslider zur Distalisierung im Oberkiefer. Informationen aus Orthodontie & Kieferorthopädie 2013; 45: 42-50
- Willmann JH, Chhatwani S, Drescher D. Blender Freeware als dentales CAD-Programm. Kieferorthopädie 2018; 32: 161-165
- Graf S, Cornelis MA, Hauber Gameiro G et al. Computer-aided design and manufacture of hyrax devices: Can we really go digital? Am J Orthod Dentofacial Orthop 2017; 152: 870-874. doi:10.1016/j.ajodo.2017.06.016
- Graf S, Vasudavan S, Wilmes B. CAD-CAM design and 3-dimensional printing of mini-implant retained orthodontic appliances. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2018; 154: 877-882. doi:10.1016/j.ajodo.2018.07.013
- Karagkiolidou A, Ludwig B, Pazera P et al. Survival of palatal miniscrews used for orthodontic appliance anchorage: a retrospective cohort study. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2013; 143: 767-772. doi:10.1016/j.ajodo.2013.01.018
- Nienkemper M, Willmann JH, Drescher D. Long-term stability behavior of paramedian palatal mini-implants: A repeated cross-sectional study. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics 2020; 157: 165-171
- Nienkemper M, Willmann JH, Becker K et al. RFA measurements of survival midpalatal orthodontic mini-implants in comparison to initial healing period. Progress in Orthodontics 2020; 21: 5. doi:10.1186/s40510-020-0305-x
- De Gabriele O, Dallatana G, Riva R et al. The easy driver for placement of palatal mini-implants and a maxillary expander in a single appointment. Journal of clinical orthodontics: JCO 2017; 51: 728-737
- Eigenwillig P, Chhatwani S, Ludwig B. Digitaler Workflow bei der Anwendung von Miniimplantaten. Kieferorthopädie 2017; 31: 411-416