



Marc Schätzle, Roland Männchen

Überlebensraten und Risikofaktoren von temporären skelettalen Verankerungen



Marc Schätzle

Dr. med. dent. et Odont. Dr.
E-Mail: marc.schaetzle@
zzmk.uzh.ch

Roland Männchen

Dr. med. dent.
Klinik für Kieferorthopädie
und Kinderzahnmedizin
Zentrum für Zahn-, Mund-
und Kieferheilkunde
Plattenstrasse 11
CH-8032 Zürich

INDIZES *Überlebensrate, Risikofaktoren, Verlust, skelettale Verankerung, systematische Literaturübersicht*

Die Verwendung von temporären skelettalen Verankerungen (Temporary Anchorage Devices = TADs) erweitert deutlich das Spektrum an skelettalen und dentalen Abweichungen, in denen eine rein kieferorthopädische Behandlung erfolgreich sein kann. Die Kenntnisse der verschiedenen Verlustraten, der Dynamiken des Verlusts über die Zeit und eventuelle Risikofaktoren sind ein entscheidender Faktor bei der Wahl des adäquaten TADs, da bei einem eventuell auftretenden vorzeitigen Verlust eine Änderung des Behandlungsplans schwierig bis unmöglich ist. Ein vorzeitiger Verlust während der kieferorthopädischen Behandlung kann weitreichende Änderungen des Behandlungskonzepts bedingen. Im schlimmsten Fall kann auch eine rein kieferorthopädische Lösung ausgeschlossen und somit ein interdisziplinärer Lösungsansatz (Kieferchirurgie oder Prothetik) nötig werden. Im Oberkiefer stellt das Gaumenimplantat verglichen mit den anderen TADs die deutlich beste Behandlungsvariante dar, während im Unterkiefer Miniplatten die erfolgversprechendsten Resultate liefern. Sowohl das Gaumenimplantat als auch Miniplatten ermöglichen eine sichere und effektive skelettale Verankerungsmöglichkeit mit hoher Erfolgswahrscheinlichkeit (> 90 %). Die Kenntnis möglicher Risikofaktoren, die zu einem vorzeitigen Verlust von TADs führen können, ist aber entscheidend für die kieferorthopädische Behandlungsplanung. Trotzdem darf man nicht vergessen, dass TADs keinerlei skelettale Wirkung haben. Deshalb muss beim wachsenden Patienten häufig der Einsatz von konventionellen Verankerungsstrategien wie beispielsweise Headgears, Aktivatoren oder Herbst-Apparaturen vorgezogen werden.

■ Verankerungsprinzipien

Schöne Zähne und ein ästhetisches Gebiss werden mit Erfolg, Vitalität und Attraktivität in Verbindung gebracht. Erwachsene Patienten mit hohen ästhetischen Ansprüchen finden deshalb heute zunehmend den Weg in die Zahnarztpraxis und wünschen sich ein attraktives Lächeln. Der Wandel der ästhetischen Ansprüche innerhalb unserer Gesellschaft beeinflusst so auch das Tätigkeitsgebiet des Zahnarztes, denn der Wunsch nach optimaler Ästhetik kann durch einen einzelnen zahnmedizinischen Fachbereich oft

nicht in idealer Weise erfüllt werden. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Spezialisten verschiedener Fachbereiche, wie zum Beispiel der Kieferorthopädie und der rekonstruktiven Zahnmedizin gewinnt so zunehmend an Bedeutung. Ungünstige Zahnmorphologie, asymmetrische Zahngrößen, Lücken, Nichtanlagen oder ein unharmonischer Zahnfleischverlauf können nur bedingt ausschließlich kieferorthopädisch behandelt werden, rein prothetische Korrekturen sind im Gegensatz dazu oft mit hoher Invasivität verbunden. In einer interdisziplinären Zusammenarbeit kann dagegen ein optimales Behand-

Manuskript

Eingang:
02.08.2010
Annahme:
20.08.2010

lungsergebnis für den betreffenden Patienten erzielt werden. Bei speziellen Fällen mit ausgeprägten skelettalen Dysgnathien kann sich diese Zusammenarbeit zusätzlich auf die Kieferchirurgie ausdehnen.

Vor der Einführung der temporären skelettalen Verankerung (TADs: Gaumenimplantate, Miniplatten, Onplants® und Minischrauben) war die Kieferorthopädie aber bereits bei moderaten dentoalveolären Abweichungen auf eine Zusammenarbeit mit der Kieferchirurgie angewiesen, da die Patientenmitarbeit und die damit verbundene Verankerung nicht immer garantiert werden konnten¹.

Der Begriff der Verankerung wurde von Angle² in die Kieferorthopädie eingeführt und bezeichnet das Maß der Widerstandskraft einer anatomischen Einheit auf eine applizierte kieferorthopädische Kraft. Die eigentlichen Prinzipien der kieferorthopädischen Verankerung wurden aber bereits in Newtons drittem Axiom (1687) beschrieben: „*Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse aequales et in partes contrarias dirigi (actio est reactio)*“. Wirkung und Gegenwirkung halten sich das Gleichgewicht und sind einander entgegengesetzt. Daraus folgt, dass der Widerstand der Verankerung größer als der des zu bewegenden Zahns sein muss, ansonsten muss mit unerwünschten Nebeneffekten gerechnet werden. Schon Angle formulierte die ideale Verankerungsart: „Die idealste Verankerung wäre natürlich eine unbewegliche Basis.“

Gewöhnlich orientiert sich die kieferorthopädische Verankerung an der biologischen Verankerung der Zähne. Das Widerstandspotenzial der Ankerzähne wird durch mehrere Faktoren beeinflusst: die Größe der Zahnwurzeloberfläche mit parodontalem Attachment, die Dichte und Struktur des Alveolarknochens und die Umbaurate des parodontalen Gewebes, Muskelaktivität / okklusale Kräfte, die kraniofaziale Morphologie und die Art der Zahnbewegung (Kippung / körperliche Bewegung)³. Um eine zahngestützte Verankerung zu optimieren, können entweder differenzielle Drehmomente⁴ angewandt, die Wurzeln in die knöcherne Kortikalis verschoben⁵ oder die Molaren distal inkliniert werden^{6,7}. Liegt eine ungenügende dentale Verankerung im Verhältnis zum angestrebten Behandlungsziel vor, werden zudem extraorale und intermaxilläre Apparaturen zur Verankerungsverstärkung eingesetzt.

Da extraorale und/oder intermaxilläre verankerungsverstärkende Apparaturen meist abhängig von der Patientenkooperation sind, die teilweise nicht immer optimal oder voraussagbar ist¹, stellen temporäre skelettale Verankerungen eine Alternative dar⁸. Diese werden im Knochen verankert und, im Gegensatz zu dentalen Implantaten, nach Abschluss der kieferorthopädischen Behandlung wieder entfernt. Temporäre skelettale Verankerungen, wie beispielsweise Onplants®, Miniplatten, Gaumenimplantate und Mini- oder Mikroschrauben, und ankylosierte Zähne sind zumindest teilweise in direktem Knochenkontakt und weisen kein normales parodontales Ligament auf. Folglich bewegen sie sich bei der Applikation einer kieferorthopädischen Kraft nicht⁹, können daher als „absolute Verankerung“ verwendet werden und sind unabhängig von jeglicher Patientenkooperation.

Die TADs wurden entwickelt, um die nicht vermeidbaren Nebeneffekte der konventionellen kieferorthopädischen Verankerungsapparaturen zu überwinden. Eine Verankerung mit TADs gewährt eine Unabhängigkeit von der Mitarbeit des Patienten¹⁰ (Ausnahme: Mundhygiene) durch Stabilisierung der Zähne der reaktiven Einheit oder durch das gänzliche Vermeiden einer dentalen reaktiven Einheit.

Normalerweise weisen kieferorthopädische Patienten eine komplette Dentition auf oder nur Extraktionslücken, die geschlossen werden sollten. Es steht für gewöhnlich kein zahnloser Alveolarknochen für die Insertion von TADs zur Verfügung. Diese müssen folglich in anderen topografischen Regionen platziert werden, in genügendem Abstand zum eigentlichen kieferorthopädischen Geschehen.

Erst durch die Einführung von längenreduzierten Gaumenimplantaten¹¹, einem resorbierbaren Implantatankern¹², orthodontischen Implantaten mit Schulterdesign¹³ (Orthosystem®, Institut Straumann AG, Basel, Schweiz) und der Grazer implantatgestützten Pendulum-Apparatur¹⁴ wurden Insertionsorte außerhalb des zahntragenden Alveolarknochens für die Kieferorthopädie zugänglich gemacht. Minischrauben mit reduziertem Durchmesser (< 2 mm) unterschiedlichster Länge^{15,16} und Titan-Pins¹⁷ werden in den zahntragenden Alveolarknochen zwischen die Zahnwurzeln gesetzt. L-förmige Miniplatten mit einem Arm, der durch die Umschlagsfalte in die orale Kavität reicht¹⁸, und „bollard“-Anker¹⁹ werden mit

Schrauben im supra- oder subapikalen Bereich fixiert. Lediglich das Onplant® (Nobel Biocare, Zürich, Schweiz) wird nicht in den Knochen inseriert, sondern subperiostal platziert, um sich so mit dem Knochen zu verbinden²⁰.

■ Verlustraten und Risikofaktoren

Die Kenntnis der verschiedenen Verlustraten, der Dynamiken des Verlusts über die Zeit und eventuelle Risikofaktoren stellen einen entscheidenden Faktor bei der Wahl des adäquaten TADs dar, da bei einem unter Umständen vorzeitigen Verlust eine Änderung des Behandlungsplans schwierig bis unmöglich ist. Ein vorzeitiger Verlust während der kieferorthopädischen Behandlung kann weitreichende Änderungen des Behandlungskonzepts bedingen. Im schlimmsten Fall ist es möglich, dass auch eine rein kieferorthopädische Lösung ausgeschlossen und somit ein interdisziplinärer Lösungsansatz (Kieferchirurgie oder Prothetik) notwendig wird.

Retrospektive Studien können keine kausalen oder zeitlichen Zusammenhänge mit dem Verlust von TADs evaluieren. Es ist lediglich möglich, potenzielle Faktoren zu eruieren (Risikoindikatoren), die aber bestätigt werden müssen. Für die Identifizierung von „wahren“ Risikofaktoren sind prospektive Langzeitstudien erforderlich. Ein wirklicher Risikofaktor ist eine Komponente, welche fehlerhafte Bedingungen auf der Basis von epidemiologischen Beweisen identifiziert. Ein solches Merkmal kann mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses assoziiert sein (hier: vorzeitiger Verlust der TADs), ohne zwangsläufig ein kausaler Faktor zu sein. Ein Risikofaktor kann auch durch eine Intervention beeinflusst werden, die zu einer verminderten Wahrscheinlichkeit eines Geschehens (Krankheit oder Verlust) führen kann²¹.

Bis heute gibt es keine randomisierten klinischen Studien (RKS), in denen alle Typen von TADs miteinander verglichen wurden. Es wäre wohl auch schwierig eine solche RKS, welche alle vier Verankerungstypen berücksichtigt, aus logistischer und auch aus ethischer Sicht durchzuführen, da Verankerungen meist fallspezifisch gewählt werden. Aufgrund des Fehlens von solchen RKS, wird ein niedrigeres Evi-

denzniveau herangezogen indem RKS, welche nur einzelne TADs mit konventionellen kieferorthopädischen Verankerungsapparaturen vergleichen und prospektive Kohortenstudien in einer Metaanalyse untersucht werden. Die Angabe der Verlust- und Überlebensraten von TADs ist nur sinnvoll, wenn die Verankerung mindestens für den größten Teil der Behandlung garantiert werden kann.

■ Gaumenimplantate

Im Gegensatz zu konventionellen dentalen Implantaten wies das ursprüngliche Gaumenimplantat ein Austrittsprofil mit einer 90°-Schulter auf. Dieses Design barg die Gefahr in sich, das Implantat schon bei niedrigen Eindrehmomenten zu überdrehen und das Gewinde auszureißen, was zu einem Verlust der Primärstabilität führte. Es ist offensichtlich, dass diese Eigenschaft des Implantats die Installation des Gaumenimplantats sehr techniksensitiv und vom Chirurgen abhängig machte²². In den letzten Jahren wurde ein neues Gaumenimplantat (Orthosystem®) mit einem leicht konkaven, tulpenförmigen Austrittsprofil entwickelt, bei welchem die Gefahr des Überdrehens deutlich reduziert ist.

Bis heute liegen aber lediglich Resultate einer einzigen prospektiven Kohortenstudie²³ vor, welche dieses Gaumenimplantat der neuen Generation untersuchte. Sie zeigen eine vielversprechende Überlebensrate von 93,3 % (Abb. 1). Unter Berücksichtigung aller Gaumenimplantatstudien am Menschen evaluierte eine Metaanalyse eine durchschnittliche Verlustrate von 10,5 % (95 % Konfidenzintervall 6,1 % bis 18,1 %)²⁴. Schließt man die beiden Studien aus, in denen die Autoren selbst feststellten, dass aufgrund der Lernkurve der Chirurgen die Verlustrate zu Beginn deutlich höher war, resultiert hingegen eine durchschnittliche Verlustrate von auch nur 6,7 % des älteren Orthosystems®. Die meisten Verluste ereigneten sich während der Einheilphase, was auf eine Behandlungsmodalität mit hoher Voraussagbarkeit für den alltäglichen Gebrauch hinweist (Abb. 1). Aus klinischer Sicht ist positiv hervorzuheben, dass Gaumenimplantate während der gesamten kieferorthopädischen Behandlung stabil bleiben und genügend Widerstand gegenüber kieferortho-



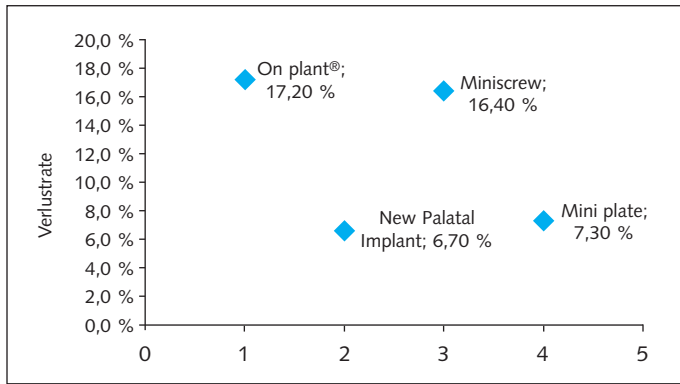


Abb. 1 Geschätzte Verlustraten der verschiedenen temporären skelettalen Verankerungen (adaptiert von Schätzle et al. 2010)³⁹.



Abb. 2a bis e Patientenbeispiel für Gaumenimplantat. Intraorale Aufnahmen der Anfangssituation (04. September 2002): 34-jähriger Patient mit massiven Schmelzhyoplasien aufgrund einer Antibiotikatherapie im Kleinkindalter. Es zeigt sich ein deutlicher Engstand in beiden Kiefern bei einem offenen Biss.

pädischen Kräften bieten, sobald sie einmal erfolgreich osseointegriert sind. Das Patientenbeispiel ist in den Abbildungen 2 bis 6 dokumentiert. Weder Wirts- noch umgebende Faktoren konnten bis jetzt als mögliche Risikoindikatoren oder Risikofaktoren identifiziert werden²⁵.

■ Miniplatten

Miniplatten zeigen ähnliche Erfolgsraten (92,7 %). Unter der Berücksichtigung, dass aber zwei Miniplatten für die Stabilisierung des Oberkieferzahnbogens gesetzt werden müssen, um den gleichen Effekt wie beim Gaumenimplantat zu erreichen, erhöht sich die



Abb. 3 Fernröntgenseitenbild (04. Sept. 2002). Skelettaler Hintergrund: Klasse I und hyperdivergenter vertikaler Aufbau. Behandlungsplan: Extraktion der Zähne 16, 26, 28, 36, 46, Distalisierung der Zähne 15, 25 unter Verwendung eines Gaumenimplantats, Lückenschluss mit festsitzenden Apparaturen, prothetische Versorgung der Zähne des Ober- und Unterkiefers.

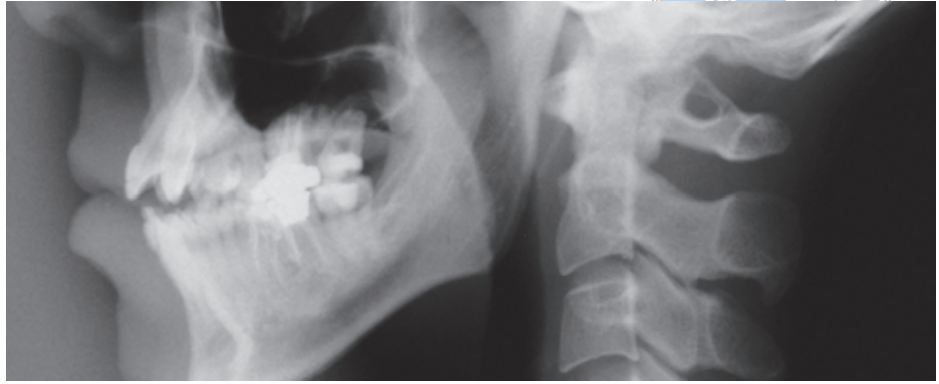


Abb. 4a bis e Intraorale Situation nach erfolgter kieferorthopädischer Behandlung (05. Januar 2007). Die aktive Behandlungszeit betrug zwei Jahre und drei Monate.



prospektive Misserfolgsrate aber auf 14,1 % [95 % Konfidenzintervall 10,5 bis 18,8 % (Abb. 1)]²⁴. Da Miniplatten gewöhnlich mit mindestens zwei Osseosyntheseschrauben verankert werden, weisen diese TADs ähnliche Risikofaktoren auf wie Minischrauben. Eine erhöhte Beweglichkeit ist im Unterkiefer proportional häufiger anzutreffen als im Oberkiefer²⁶.

Offenbar hat die umliegende Gingiva bzw. Mukosa einen entscheidenden Einfluss auf die Erfolgsrate von Miniplatten. Ein Durchtritt des zu belastenden Miniplattenarms an der mukogingivalen Grenze oder innerhalb der angewachsenen Gingiva ermöglicht einen fest anliegenden Weichteilverschluss und eine gute weichgewebige Heilung. Die dünne nicht keratini-

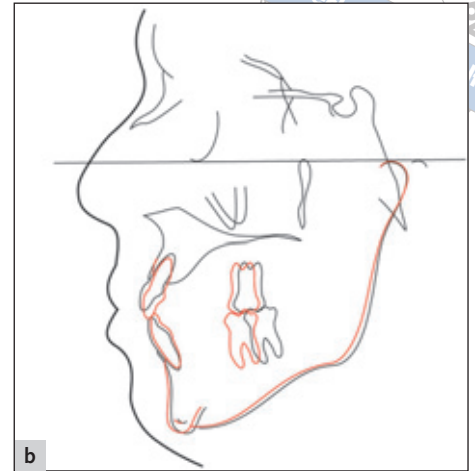
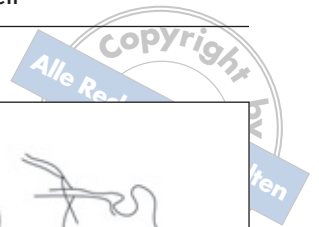


Abb. 5a und b Fernröntgenseitenbild (05. Januar 2007) und Überdeckung.



Abb. 6a bis e Intraorale Aufnahmen nach prothetischer Versorgung. (Fotos: Dr. I. Sailer, Klinik für Kronen- und Brückenprothetik, Teilprothetik und Zahärztliche Materialkunde, Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Universität Zürich, Schweiz).

sierte Mukosa hingegen stellt einen Risikofaktor für lokale Entzündungen dar, der zu einem vorzeitigen Verlust führen kann. Die Mundhygiene spielt dabei zusätzlich eine wichtige Rolle²⁶.

■ Onplants®

Über subperiostal platzierte Onplants^{®20} gibt es lediglich eine prospektive klinische Studie²⁷. Bedingt durch die Tatsache, dass das Onplant[®] nur durch den

Gewebedruck an Ort und Stelle gehalten wird, ist die zwingende Ortsstabilität während des Einheilprozesses nicht immer garantiert, was zu einer ungenügenden oder gar fehlenden Osseointegration führen kann. Ein schmaler und hoher Gaumen kann zudem einen ungenügenden Kontakt zwischen dem scheibenförmigen TADs und der knöchernen Oberfläche zur Folge haben. Dadurch kann sich das Onplant® während der Einheilung verschieben und in einem ungünstigen Winkel mit dem Knochen verwachsen, sodass es klinisch nicht verwendet werden kann. Das Onplant® ist daher stark von der chirurgischen Technik und der Anatomie der Insertionsstelle abhängig. Ein ungenügender Kontakt zur Knochenoberfläche und/oder eine nicht ausreichende Knochenadhäsion machen das Onplant® zudem äußerst empfindlich für die Kräfte, welche während des Einsetzens der Suprastruktur wirken²⁵. Die Studie weist eine Verlustrate von 17,2 % auf [95 % Konfidenzintervall 59 % bis 35,8 % (Abb. 1)]²⁴.

■ Minischrauben

Obwohl Minischrauben im kieferorthopädischen Alltag bereits sehr verbreitet und deren Insertion sehr populär ist, gibt es bis jetzt keine klaren klinischen oder diagnostischen Richtlinien für die Wahl des adäquaten Durchmessers der Schrauben respektive deren Länge. Das Patientenbeispiel ist in den Abbildungen 7a bis c dokumentiert. Die Verlustrate wurde in der Metaanalyse auf 16,4 % geschätzt [95 % Konfidenzintervall 13,4 % bis 20,1 % (Abb. 1)]²⁴. Auch hier muss beim Setzen von mehreren Minischrauben das kumulative Risiko, mindestens eines Schraubenverlusts bedacht werden. Sollten für ein Behandlungskonzept zwei Minischrauben benötigt werden, beträgt dieses Risiko schon 30,2 %, sind es vier Minischrauben, sogar 51,2 %. Mit anderen Worten wird bei jedem zweiten Patienten mit vier Minischrauben ein Problem auftreten. Dabei ist das Risiko im Unterkiefer noch einmal größer als im Oberkiefer. Häufig kann aber keine neue Minischraube an derselben Stelle inseriert werden, an der ein Verlust aufgetreten ist.

Bedingt durch die große Streuung innerhalb der Gruppen, konnte beim Vergleich von Minischrauben, Gaumenimplantaten und Miniplatten miteinander

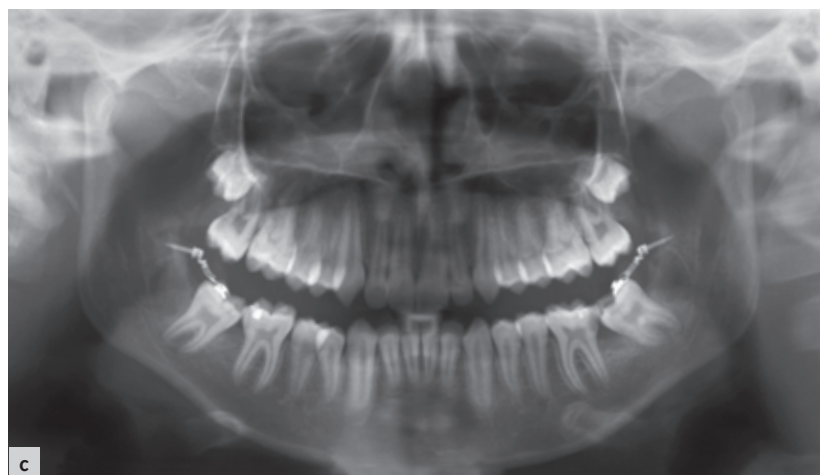
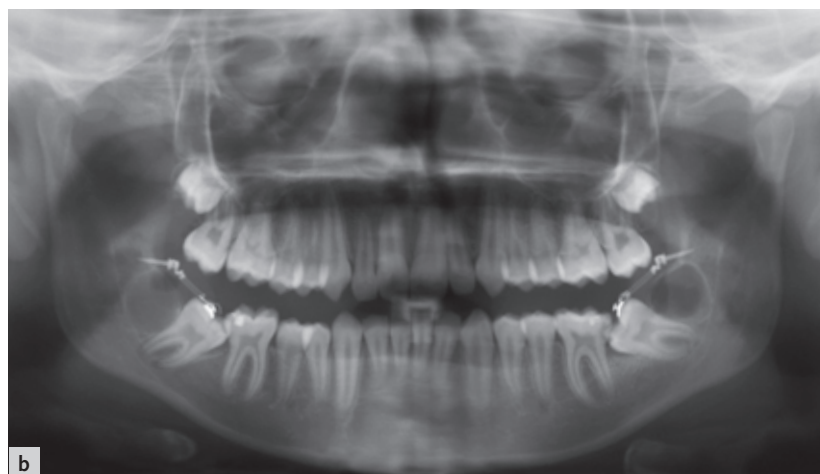


Abb. 7a bis c Patientenbeispiel für Minischraube. Aufrichtung mesial gekippter Molaren mithilfe von Minischrauben innerhalb von 2 ½ Monaten. Aufnahmen vom 06. Februar 2009 (a), 13. Februar 2009 (b), 22. April 2009 (c).

ander kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden. Gaumenimplantate und Miniplatten können im Gegensatz zu Minischrauben aber mit

einem Drehmoment belastet werden. Beim Vergleich der beiden drehmomentstabilen TADs mit den Minischrauben konnte aber ein statistisch signifikanter Unterschied eruiert werden, wobei die Minischrauben eine fast doppelt so hohe Verlustrate [Odds Ratio 1,9 (95 % Konfidenzintervall 1,1 % bis 2,8 %)] aufwiesen wie die drehmomentstabilen TADs²⁴.

Da auf Minischrauben keine Drehmomente appliziert werden können, müssen diese auf der idealen Linie einer einfachen Kraft platziert werden. Ist dies nicht möglich, kommt es häufig zu unkontrollierten Zahnkippen. Speziell bei der Mesialisierung von Bukkalsegmenten aufgrund von Nichtanlagen, tritt deshalb als Folge der (kontinuierlichen oder nachfolgenden) Wiederaufrichtung eine unkontrollierte Öffnung des Bisses auf. Mit drehmomentresistenten TADs kann dies hingegen mittels eines entsprechenden biomechanischen Setup verhindert werden.

Die Kenntnis der Dynamik des Verlusts über die Zeit ist ein entscheidender Faktor bei der Wahl der adäquaten TADs in der kieferorthopädischen Planungsphase. Eine Kaplan-Meier-Analyse von Wiechmann et al.²⁸ zeigte, dass Minischrauben meistens innerhalb der ersten 100 bis 150 Tage nach kieferorthopädischer Belastung verloren gehen. Zu diesem Zeitpunkt ist aber eine Änderung des Behandlungskonzepts schwierig bis unmöglich.

Die einzige Eigenschaft der Minischrauben, welche in der Metaanalyse als statistisch signifikanter Risikofaktor evaluiert werden konnte, ist der Durchmesser. Ein kleiner Durchmesser führt zu einer verminderten Überlebensrate. Änderungen in der Länge führten aber bis dato nicht zu einem statistisch signifikanten Effekt auf die Erfolgsrate der Minischrauben²⁸. Eine ungefähr zweifach erhöhte Verlustrate konnte für Schrauben mit einem Durchmesser von unter 1,2 mm verglichen mit Minischrauben mit einem Durchmesser von 2 mm oder mehr festgestellt werden²⁴. Es gibt aber einzelne Studien, die eine Tendenz aufwiesen, dass längere Schrauben besser halten als kürzere²⁹.

Die Primärstabilität einer Minischraube, welche eine Voraussetzung für die Osseointegration ist, wird nicht nur durch den Schraubendurchmesser³⁰, sondern auch durch die Knochensteifigkeit definiert³¹. Dies wird in der Korrelation zwischen Eindrehwiderstand (EDW) und Knochendichte³² verdeutlicht. In gewissen Fällen kann aber bereits kurz nach der

Schraubeninsertion ein Misserfolg verzeichnet werden. Dies kann durch eine fehlende oder insuffiziente Primärstabilität zustande kommen, wodurch ein ungünstiger Verlauf der Einheilung begünstigt werden könnte^{33,34}. Die Umfangsspannung (Hoop-Stress), welche während des Eindrehens der Minischraube generiert wird, verstärkt die Primärstabilität³¹. Diese Belastung kann aber auch zu groß werden, sodass eine Ischämie und Nekrosen im umliegenden Knochen entstehen. Bei der Verwendung von konischen Minischrauben von 1,6 mm Durchmesser und 8 mm Länge konnte ein idealer EDW von 5 bis 10 Ncm eruiert werden³⁵. Eindrehwiderstände über oder unterhalb des idealen Bereichs hatten eine bis zu zwölffache Wahrscheinlichkeit für einen vorzeitigen Verlust zur Folge. Bei zu hohen EDW wird daher ein Vorbohren empfohlen^{35,36}. Der erhöhte EDW könnte auch der Grund für die fünffach erhöhte Verlustrate im Unterkiefer gegenüber dem Oberkiefer sein^{28,37}. Die Kortikalis in der Mandibula ist dicker und dichter als in der Maxilla³⁸ und birgt daher die Gefahr einer ossären Überhitzung beim Eindrehen der Minischraube oder die Gefahr einer Ischämie.

Um mögliche Misserfolge zu verhindern oder frühzeitig zu erkennen, bieten einige Hersteller von Minischrauben mechanisch limitierende Torque-Schlüssel an. Alle erhältlichen Torque-Schlüssel wurden in einem standardisierten in vitro Setup verglichen. Es wurden verschiedene Schlüssel des gleichen Typs miteinander verglichen, unterschiedliche Typen einander gegenübergestellt und der Einfluss der Sterilisation untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass signifikante Unterschiede zwischen Torque-Schlüsseln eines einzigen Typs bestehen und dass der Sterilisationsprozess die Messgenauigkeit nachhaltig beeinflusst. Zudem weicht das angegebene kritische Drehmoment in einem unterschiedlichen, signifikanten Ausmaß vom korrekten Wert ab³⁹. Die Anwendung von Torque-Schlüsseln sollte daher mit Vorsicht erfolgen.

Obwohl bis jetzt noch keine kritische Kraftgröße für die Minischraubenbelastung identifiziert werden konnte, werden einige Minischrauben nach einer gewissen Zeit locker und können nicht mehr weiter belastet werden. Die applizierten Kräfte dürften aber keinen negativen Effekt auf den periimplantären Knochen haben oder die Langzeitprognose negativ beeinflussen. In tierexperimentellen Studien



mit dentalen Implantaten konnte gezeigt werden, dass kieferorthopädische Belastungen nicht zu einer Reduktion der Osseointegrationsrate führen, aber eine signifikante Steigerung des umgebenden Knochenbaus zur Folge haben^{9,40}. Bei zu hohen Kräften wurde allerdings ein Knochenverlust beobachtet oder die Implantate kippten in der Kraftrichtung. Diese Resultate stimmen mit experimentellen Studien über Minischrauben überein⁴¹ welche zeigten, dass zu hohe Kippmomente auf Höhe der Knochenseite zu Schraubenlockerungen führen können. Eine einmal gelockerte Minischraube hat gegenüber einer festen eine 25-fach erhöhte Verlustwahrscheinlichkeit. Es müssen aber weitere kontrollierte Studien durchgeführt werden, die auch den Hebelarm außerhalb des Knochens mitberücksichtigen, um die kritische Kraftgröße auf Knochenniveau genau eruieren zu können.

Zusätzlich sind Minischrauben unter kieferorthopädischer Belastung nicht ortstabil und können sich trotz scheinbarer klinischer Stabilität langsam verschieben^{42,43}. Daher sollte immer ein gewisser Sicherheitsabstand zu den benachbarten Strukturen (Nerven, Blutgefäße, Zahnwurzeln) eingehalten werden. Dies limitiert aber die Zahl möglicher Insertionsstellen und das Ausmaß an Zahnbewegung deutlich. Deshalb müssen Minischrauben im Verlauf der kieferorthopädischen Behandlung häufig neu positioniert werden, was wieder zu erhöhten kumulativen Verlusten führt. In Fällen, in denen der Kraftvektor während der Behandlung variiert werden muss oder große Wurzelbewegungen durchgeführt werden sollen, stellen das Gaumenimplantat und/oder Miniplatten die TADs der Wahl dar.

Sicherlich ist die chirurgische Entfernung eines Gaumenimplantats oder von Miniplatten invasiver als das einfache Ausdrehen einer Minischraube. Der Eingriff für beide TADs wird aber von den Patienten gut toleriert^{26,44} und die Schmerzintensität nach

Entfernung eines Gaumenimplantates ist geringer als nach einer Prämolarenextraktion⁴⁵. Die größere Flexibilität und die Möglichkeit, Drehmomente zu applizieren, bieten zusätzliche Vorteile der Miniplatten und Gaumenimplantate.

■ Schlussfolgerungen

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Verwendung von TADs das Spektrum an skelettalen und dentalen Abweichungen, in denen eine rein kieferorthopädische Behandlung erfolgreich sein kann, deutlich erweitert hat. Im Oberkiefer stellt das Gaumenimplantat – verglichen mit den anderen TADs – die eindeutig beste Behandlungsvariante dar, während im Unterkiefer Miniplatten die Erfolg versprechendsten Resultate liefern. Sowohl das Gaumenimplantat als auch Miniplatten ermöglichen eine sichere und effektive skelettale Verankerungsmöglichkeit mit hoher Erfolgswahrscheinlichkeit (> 90 %). Die Kenntnis möglicher Risikofaktoren, die zu einem vorzeitigen Verlust von TADs führen können, ist aber entscheidend für die kieferorthopädische Behandlungsplanung. Die Verlustdynamik ist ein weiterer entscheidender Faktor, da bei einem eventuellen vorzeitigen Verlust, eine Änderung des Behandlungsplans schwierig bis unmöglich ist. Es sind weitere prospektive Kohortenstudien mit klaren Selektionskriterien notwendig, um weitere Risikoindikatoren auf deren Relevanz prüfen zu können.

Trotzdem darf man nicht vergessen, dass TADs keinerlei skelettale Wirkung haben. Deshalb muss beim wachsenden Patienten häufig der Einsatz von konventionellen Verankerungsstrategien wie beispielsweise Headgears, Aktivatoren oder Herbst-Apparaturen vorgezogen werden.

■ Literatur

1. Nanda RS, Kierl MJ. Prediction of cooperation in orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1992;102:15-21.
2. Angle EH. Treatment of malocclusion of teeth. 7th ed. Philadelphia PA: SS White Dental Manufacturing Comp, 1907.
3. Diedrich P. Different orthodontic anchorage systems. A critical examination. *Fortschr Kieferorthop* 1993;54:156-171.
4. Burstone CJ. The segmented arch approach to space closure. *Am J Orthod* 1982;82:361-378.
5. Ricketts RM. Bioprogressive therapy as an answer to orthodontic needs. Part II. *Am J Orthod* 1976;70:359-397.
6. Tweed CH. The applications of the principles of the edge-wise arch in the treatment of malocclusions. *Angle Orthod* 1941;11:12-67.
7. Begg PR, Kesling PC. The differential force method of orthodontic treatment. *Am J Orthod* 1977;71:1-39.
8. Daskalogiannakis J. Glossary of orthodontic terms. Berlin: Quintessence Publishing, 2000.

9. Melsen B, Lang NP. Biological reactions of alveolar bone to orthodontic loading of oral implants. *Clin Oral Implants Res* 2001;12:144-152.
10. Creekmore TD, Eklund MK. The possibility of skeletal anchorage. *J Clin Orthod* 1983;17:266-269.
11. Triaca A, Antonini M, Wintermantel E. Ein neues Titan-Flachschrauben-Implantat zur orthodontischen Verankerung am anterioren Gaumen. *Inf Orthod Kieferorthop* 1992;24:251-257.
12. Glatzmaier J, Wehrbein H, Diedrich P. Die Entwicklung eines resorbierbaren Implantatsystems zur orthodontischen Verankerung. *Fortschr Kieferorthop* 1995;56:175-181.
13. Wehrbein H, Glatzmaier J, Mundwiler U, Diedrich P. The Orthosystem – a new implant system for orthodontic anchorage in the palate. *J Orofac Orthop* 1996;57:142-153.
14. Byloff FK, Karcher H, Clar E, Stoff F. An implant to eliminate anchorage loss during molar distalization: a case report involving the Graz implant-supported pendulum. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 2000;15:129-137.
15. Kanomi R. Mini-implant for orthodontic anchorage. *J Clin Orthod* 1997;31:763-767.
16. Costa A, Raffaini M, Melsen B. Miniscrews as orthodontic anchorage: a preliminary report. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 1998;13:201-209.
17. Bousquet F, Bousquet P, Mauran G, Parguel P. Use of an impacted post for anchorage. *J Clin Orthod* 1996;30:261-265.
18. Umemori M, Sugawara J, Mitani H, Nagasaka H, Kawamura H. Skeletal anchorage system for open-bite correction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;115:166-174.
19. De Clerck H, Geerinckx V, Siciliano S. The zygoma anchorage system. *J Clin Orthod* 2002;36:455-459.
20. Block MS, Hoffman DR. A new device for absolute anchorage for orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995;3:251-258.
21. Beck JD. Methods of assessing risk for periodontitis and developing multifactorial models. *J Periodontol* 1994;65:468-478.
22. Sandler J, Benson PE, Doyle P, et al. Palatal implants are a good alternative to headgear: a randomized trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;133:51-57.
23. Jung BA, Kunkel M, Göllner P, Liechti T, Wehrbein H. Success rate of second-generation palatal implants. *Angle Orthod* 2009;79:85-90.
24. Schätzle M, Männchen R, Zwahlen M, Lang NP. Survival and failure rates of orthodontic temporary anchorage devices. A systematic review. *Clin Oral Implants Res* 2009;20:1351-1359.
25. Männchen R, Schätzle-Mayor K, Peltomäki T, Suuronen R, Schätzle M. Risks factors associated with orthodontic temporary anchorage device failures. A systematic review. *Eur J Orthod* 2010 (submitted).
26. Cornelis MA, Scheffler NR, Nyssen-Behets C, De Clerck HJ, Tulloch JF. Patients' and orthodontists' perceptions of mini-plates used for temporary skeletal anchorage: a prospective study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;133:18-24.
27. Feldmann I, Bondemark L. Anchorage capacity of osseointegrated and conventional anchorage systems: a randomized controlled trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;133:339.e19-28.
28. Wiechmann D, Meyer U, Büchter A. Success rate of mini- and micro-implants used for orthodontic anchorage: a prospective clinical study. *Clin Oral Implants Res* 2007;18:263-267.
29. Tseng YC, Hsieh CH, Chen CH, Shen YS, Huang IY, Chen CM. The application of mini-implants for orthodontic anchorage. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2006;35:704-707.
30. Holmgren EP, Seckinger RJ, Kilgren LM, Mante F. Evaluating parameters of osseointegrated dental implant using finite element analysis – a two-dimensional comparative study examining the effects of implant diameter, implant shape, and load direction. *J Oral Implantol* 1998;24:80-88.
31. Meredith N. Assessment of implant stability as a prognostic determinant. *Int J Prosthodont* 1998;11:491-501.
32. Friberg B, Sennerby L, Roos J, Lekholm U. Identification of bone quality in conjunction with insertion of titanium implants. A pilot study in jaw autopsy specimens. *Clin Oral Implants Res* 1995;6:213-219.
33. Friberg B, Jemt T, Lekholm U. Early failures in 4,641 consecutively placed Branemark dental implants: a study from stage 1 surgery to the connection of completed prostheses. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1991;6:142-146.
34. Lioubavina-Hack N, Lang NP, Karring T. Significance of primary stability for osseointegration of dental implants. *Clin Oral Implants Res* 2006;17:244-250.
35. Motoyoshi M, Hirabayashi M, Uemura M, Shimizu N. Recommended placement torque when tightening an orthodontic mini-implant. *Clin Oral Implants Res* 2006;17:109-114.
36. Garfinkle JS, Cunningham LL Jr, Beeman CS, Kluemper GT, Hicks EP, Kim MO. Evaluation of orthodontic mini-implant anchorage in premolar extraction therapy in adolescents. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;133:642-653.
37. Park HS, Jeong SH, Kwon OW. () Factors affecting the clinical success of screw implants used as orthodontic anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;130:18-25.
38. Park HS. An anatomical study using CT images for the implantation of micro-implants. *Korean J Orthodont* 2002;32:435-441.
39. Schätzle M, Golland D, Roos M, Stawarczyk B. Accuracy of mechanical torque limiting gauges for mini screw placement. *Clin Oral Implants Res* 2010;21:781-788.
40. Hsieh YD, Su CM, Yang YH, Fu E, Chen HL, Kung S. Evaluation on the movement of endosseous titanium implants under continuous orthodontic forces: an experimental study in the dog. *Clin Oral Implants Res* 2008;19:618-623.
41. Büchter A, Wiechmann D, Koerdt S, Wiesmann HP, Piffko J, Meyer U. Load-related implant reaction of mini-implants used for orthodontic anchorage. *Clin Oral Implants Res* 2005;16:473-479.
42. Liou EJ, Pai BC, Lin JC. Do miniscrews remain stationary under orthodontic forces? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;126:42-47.
43. Wang YC, Liou EJ. Comparison of the loading behavior of self-drilling and predrilled miniscrews throughout orthodontic loading. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;133:38-43.
44. Kuroda S, Sugawara Y, Deguchi T, Kyung HM, Takano-Yamamoto T. Clinical use of miniscrew implants as orthodontic anchorage: success rates and postoperative discomfort. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;131:9-15.
45. Feldmann I, List T, Feldmann H, Bondemark L. () Pain intensity and discomfort following surgical placement of orthodontic anchoring units and premolar extraction: a randomized controlled trial. *Angle Orthod* 2007;77:578-585.

Survival rates and risk factors of temporary orthodontic anchorage devices

KEYWORDS *Skeletal anchorage, survival, risk, failure, human, systematic literature review*

The use of temporary skeletal anchorage devices (TADs) greatly expands the range of discrepancies for which orthodontic treatment could be successful. The knowledge of failure rates, the dynamics of TAD loss (loss over time), and risk factors is of great importance for choosing the appropriate anchorage device and for decisions in orthodontic treatment planning, such as extraction of permanent teeth or the choice of an orthodontic approach only vs. a combined orthodontic-surgical procedure. Anchorage failures during orthodontic treatment may make a change of the treatment plan difficult or impossible. For the maxillary arch, palatal implants are a clearly superior treatment option over all other skeletal anchorage devices, whereas in the mandible, miniplates yielded the most favorable results. Both palatal implants as well as miniplates offer safe and effective anchorage with a high survival rate (> 90%), with few side effects or problems during treatment. Palatal implants as well as miniplates might simplify orthodontic treatment and make possible treatments that might have been considered unfeasible without skeletal anchorage. Nevertheless, it must be kept in mind that this kind of skeletal anchorage has no skeletal growth modification potential and must therefore be carefully considered versus extraoral or functional appliances in growing individuals. Therefore, in growing patients, the use of conventional anchorage devices, such as headgear, activators, or the Herbst appliance are often preferable.

