

Wissenschaftliche Stellungnahme zur Verankerung mit Gaumenimplantaten und Kortikalisschrauben in der Kieferorthopädie

Jan Hourfar, Jörg A. Lisson (Homburg / Saar)

Hintergrund

Die Einführung von temporären skelettalen Verankerungselementen (temporary skeletal anchorage devices, TSADs) in die Kieferorthopädie hat die biomechanischen Möglichkeiten zur stabilen Verankerung und damit zur Zahnbewegung erweitert [5,48]. Auch wenn für die skelettalen Verankerungselemente in der Literatur mehrheitlich der Begriff „TAD“ verwendet wird, ist dies eigentlich nicht ganz korrekt, da dieser streng genommen auch konventionelle Verankerungselemente bezeichnen würde. Daher erscheint die Bezeichnung „TSAD“ zutreffender [11].

In der Praxis haben sich zwei Arten von temporären skelettalen Verankerungselementen in Schraubenform etabliert: Gaumenimplantate sowie orthodontische Miniimplantate (OMI oder „Minischrauben“). Die beherrschbaren Risiken und Komplikationen von Gaumenimplantaten und orthodontischen Miniimplantaten, deren Insertion immer einen chirurgischen Wahleingriff darstellt, wurden beschrieben [15,31].

Die im Vergleich zu Gaumenimplantaten geringere Invasivität, niedrigeren Kosten sowie geringeren Abmessungen führten dazu, dass insbesondere orthodontische Miniimplantate zunehmend Verbreitung fanden [45,53]. Für beide Verankerungssysteme ist mittlerweile Datenmaterial seit zwei Dekaden verfügbar [26,63].

Gaumenimplantate

Bei den Gaumenimplantaten handelt es sich um längenreduzierte, aus Titan gefertigte Implantate, welche – analog der konventionellen Implantattechnik – mit einer rauen, die Osseointegration fördernden Oberfläche versehen sind. Gaumenimplantate werden aufgrund ihrer Dimension wahlweise

median – nur nach Wachstumsabschluss – oder paramedian der Suture im Bereich des anterioren Gaumens inseriert. Das hierzu erforderliche Knochenangebot in diesem Bereich ist in der Literatur gut dokumentiert [28,56,57,64].

Gaumenimplantate werden erst nach Osseointegration belastet. Dabei wurden durch Osseointegration bedingte Knochen-Implantat-Kontaktraten von mehr als 80 % nach erreichtem Therapieziel an explantierten Gaumenimplantaten nachgewiesen [21].

Bei der Verwendung von Gaumenimplantaten kann daher die kieferorthopädische Apparatur erst nach einer herstellereitig empfohlenen Einheilungsphase von 12 Wochen (=Spätbelastung, nach Osseointegration) erfolgen, wenngleich Studien [9,20,22] die Möglichkeit einer früheren Belastung diskutierten.

Die Mechaniken werden über am Implantatabutment montierte Aufbaukappen direkt oder indirekt verschraubt. Gaumenimplantate weisen eine Rotations- und Positionsstabilität während orthodontischer Kraftapplikation auf und ermöglichen so eine dreidimensionale Verankerungskontrolle [62]. Dabei ist zur Verhinderung eines möglichen deflexionsbedingten Verankerungsverlustes allerdings auf eine ausreichende Dimensionierung der Verbindungselemente zwischen Gaumenimplantat und kieferorthopädischer Apparatur – beispielsweise Transpalatinalbogen – zu achten [61].

Nach der Gebrauchsphase werden Gaumenimplantate typischerweise mit einem maschinell angetriebenen Trepanbohrer entfernt [60], dessen Dimension größer als der Außendurchmesser des Gaumenimplantates ist. Zur Verringerung des chirurgisch bedingten Explantationstraumas wurde ein speziell entwickeltes Explantationsinstrument zur

Vermeidung des Trepanbohrers beschrieben [16] und untersucht [32]. Eine Explantation ohne Einsatz eines Explantationsbohrers, also durch Herausdrehen entgegen dem Uhrzeigersinn, kann dann sinnvoll sein, wenn orthodontische Zahnbewegungen zu einer räumlichen Nähe von Zahn(wurzeln) und Implantat geführt haben. Eine Explantation ohne Einsatz eines Explantationsbohrers durch einfaches Herausdrehen gelingt aber nicht in jedem Fall [44].

Orthodontische Miniimplantate (OMI) **(„Minischrauben“)**

Die orthodontischen Miniimplantate (OMI) („Minischrauben“) sind die kleinsten verfügbaren temporären skelettalen Verankerungselemente [39]. Voraussetzung für einen erfolgreichen Einsatz ist die primärstabile Insertion. Diese von Osteosyntheseschrauben abgeleiteten, überwiegend selbstbohrenden Schrauben, sind typischerweise aus einer Titanlegierung gefertigt, in unterschiedlichen Designs (Länge, Dicke, Schraubenkopf) verfügbar und weisen eine glatte maschinerte Oberfläche auf. Eine Osseointegration findet daher bei diesen Implantaten nicht statt, allerdings wurden lokale osseointegrations-ähnliche Befunde („Kalzifikationsinseln“) histologisch identifiziert [14]. Bedingt durch ihre relativ geringen Abmessungen können orthodontische Miniimplantate in unterschiedlichen Regionen beider Kiefer inseriert werden [6]. Neben der intrasuturalen oder paramedianen Insertion im Bereich des anterioren Gaumens fanden vor allem interradikuläre Insertionsorte klinische Beachtung. Das Knochenangebot für diese möglichen Insertionsregionen ist in der Literatur gut dokumentiert [17,42,52,67] - das zwischen den Zahnwurzeln limitierte Knochenangebot bestimmt den zu wählenden Implantatdurchmesser.

Orthodontische Miniimplantate werden mehrheitlich unmittelbar nach Insertion (Sofortbelastung) beziehungsweise relativ zeitnah - beispielsweise nach Erstellung einer laborgefertigten Apparatur - belastet. Mitunter wurde aber eine zweiwöchige Wartezeit [47] beziehungsweise Abheilungsphase für das Weichgewebe vor Belastung des Miniimplantates empfohlen [68].

Die Mechaniken können unterschiedlich mit den orthodontischen Miniimplantaten gekoppelt werden; verschraubte Konstruktionen sind wie bei den Gaumenimplantaten ebenfalls möglich. Orthodontische Miniimplantate verhalten sich unter dem Einfluss der kieferorthopädischen Krafteinleitung aufgrund von Umbauvorgängen des

das Implantat umgebenden Knochens nicht gänzlich positionsstabil [36]. Das bedeutet, dass die verschiedenen Abschnitte der Schraube in unterschiedlichem Maße Positionsänderungen unterworfen sind. So können Veränderungen im Bereich der Schraubenspitze zwischen 1,0 mm und 1,92 mm möglich sein [46], weshalb insbesondere hier ein entsprechender Sicherheitsabstand zu anatomischen Strukturen anzuraten ist [36]. Daneben können - in Abhängigkeit des Vektors der Krafteinleitung - Veränderungen der Schraubenachsen im Mittel zwischen 1,0 ° und 2,65 °, eine Extrusion zwischen 0,1 mm und 0,8 mm sowie eine Intrusion bis etwa 0,5 mm erwartet werden [46].

Nach der Gebrauchsphase können orthodontische Miniimplantate durch einfaches Herausdrehen - ohne größere Belastung für den Patienten - wieder entfernt werden [33].

Therapeutische Möglichkeiten

Temporäre skelettale Verankerungselemente stellen die absolute Kontrolle der Verankerung in der Sagittalen, Vertikalen und Transversalen sicher. Sie ermöglichen die stationäre Verankerung sowie die selektiven Bewegungen von einzelnen Zähnen und Zahngruppen über direkte und indirekte Verankerung.

Temporäre skelettale Verankerungselemente können einerseits mit klassischen orthodontischen Mechaniken kombiniert werden und so deren Nebenwirkungen kompensieren oder andererseits die Basis speziell für die skelettale Verankerung konstruierte Apparaturen bilden. Beispiele hierfür sind die Mesialisation / Distalisation von Seitenzähnen beziehungsweise Lückenschlüsse [30] sowie knochengetragene beziehungsweise kombiniert knochen- und zahngetragene Gaumenhafterweiterung [66].

Beim Fehlen von Zähnen beziehungsweise ganzer Zahngruppen oder bei parodontal kompromittiertem Restgebiss kann der Einsatz von temporären skelettalen Verankerungselementen mit in das Therapiekonzept mit einbezogen werden [8,65].

Faktoren mit Einfluss auf Erfolgs- und Misserfolgsraten von Gaumenimplantaten und orthodontischen Miniimplantaten

Grundlage für den Erfolg eines Gaumenimplantates ist eine erfolgreiche Osseointegration in einem Implantatlager adäquater Knochenquantität und Qualität [28,56,64]. Deshalb sind mögliche, die Osseointegration kompromittierende Risikofaktoren [43] sowie die Definition von Erfolg

von Gaumenimplantaten ähnlich denen von Dentalimplantaten. Zur Bewertung dienen dabei klinische und radiologische Kriterien [1,41]. Allerdings werden Dentalimplantate nur dann als Erfolg gewertet, wenn diese idealerweise viele Jahre zur Retention der Prothetik in situ verbleiben. Im Unterschied dazu sind temporäre skelettale Verankerungselemente - und damit auch Gaumenimplantate – immer dann als Erfolg zu werten, wenn diese die Verankerung während der benötigten Behandlungsdauer sicherstellen [19]. Bei der Verwendung von Gaumenimplantaten können sowohl während der Einheilungsphase als auch unter Funktion typische leichte klinische Entzündungszeichen und eine Hyperplasie der periimplantären Mukosa auftreten, die jedoch in der Regel keine Auswirkungen auf den Implantationserfolg haben [23,24].

Verschiedene Risikofaktoren wurden für orthodontische Miniimplantate diskutiert [10,29,34,40,51,59]. Klinisch erscheinen insbesondere die Insertion in beweglicher (nicht-keratinisierter) Schleimhaut [10] sowie eine Schrauben-Wurzel-Nähe bzw. Kontakt [10,34,59] für einen Implantatverlust von Bedeutung, wenngleich die Ergebnisse einer systematischen Übersichtsarbeit und Meta-Analyse [50] statistisch belegen konnten, dass lediglich der Kiefer der Insertion ein statistisch signifikanter Risikofaktor darstellt.

Erfolgsraten von Gaumenimplantaten und orthodontischen Miniimplantaten

Verschiedene Studien haben die Erfolgsraten von Gaumenimplantaten untersucht [3,4,13,18,23,37,54,62,69]. Neuere Untersuchungen wiesen dabei Erfolgsraten von über 95 % aus [37].

Ebenfalls wurden die Erfolgsraten von orthodontischen Miniimplantaten in zahlreichen Studien untersucht. Diese bewegten sich zwischen 59,4 % bis 100 % [12,25,58], wobei im Mittel 84 % vorgefunden wurden [12,55]. Dies ist vergleichbar mit dem Ergebnis einer neueren systematischen Übersichtsarbeit und Meta-Analyse [50], die eine Erfolgsrate von im Mittel 86,5 % auswies. Allerdings bestehen deutliche Unterschiede zwischen verschiedenen Insertionsregionen [58]. Der Oberkiefer weist höhere Erfolgsraten als der Unterkiefer auf [35]. Interradikulär inserierte orthodontische Miniimplantate zeigen im Unterkiefer eine niedrigere Erfolgsrate als im Oberkiefer [2,38]. Im Vergleich zu bukkal interrädikulär inserierten orthodontischen Miniimplantaten weisen palatinal interrädikulär inserierte eine um etwa 11 % niedrigere

Erfolgsrate auf [50]. Für bukkal interrädikulär inserierte Miniimplantate fanden sich Erfolgsraten von 86,9 % im Oberkiefer, während diese im Unterkiefer nur 76,1 % betragen [38].

Für paramedian im anterioren Gaumen eingebrachte Miniimplantate wurden hohe Erfolgsraten von annähernd 98 % [27] sowie von 95,9 % [29] beschrieben. Sogar 100 % [35] wurden für in die mediane Sutur inserierte orthodontische Miniimplantate gefunden, sofern diese über die verwendeten Apparaturen kippstabil miteinander verbunden wurden [45,49]. Die linguale Insertion im Unterkiefer ist erprobt worden, wurde aber aufgrund sehr hoher Verlustraten nicht weiterverfolgt und wird als nicht adäquat erachtet [7].

Schlussbetrachtung

Der Einsatz von temporären skelettalen Verankerungselementen ist eine elektive Maßnahme. Dieses muss dem Patienten gegenüber kommuniziert werden, da auch konventionelle Alternativen zur Verfügung stehen können. Aufgrund möglicher Verlustraten von bis zu etwa 25 % bei interrädikulär inserierten orthodontischen Miniimplantaten - bei jedem vierten Patienten wird also das Behandlungsziel klinisch nicht erreicht -, kann diese Insertionsregion nicht ohne Einschränkungen empfohlen werden. Die linguale Insertion im Unterkiefer sollte möglichst vermieden werden. Fällt die Entscheidung zu Gunsten einer skelettalen Verankerung, sollte im Oberkiefer auf eine palatinal-mediane oder paramediane Insertion von Gaumenimplantaten oder orthodontischen Miniimplantaten zurückgegriffen werden. Werden orthodontische Miniimplantate verwendet, sollten vorzugsweise zwei über die Apparatur verblockte Schrauben verwendet werden.

Für den Unterkiefer sind orthodontische Miniplattensysteme – als Alternative zu konventionellen oder über orthodontische Miniimplantate verankerte Mechaniken – verfügbar, welche allerdings einen weitaus invasiveren chirurgischen Eingriff erfordern.

Korrespondenzadresse

Univ.-Prof. Dr. Jörg A. Lisson
 Universität des Saarlandes
 Klinik für Kieferorthopädie
 D-66424 Homburg/Saar
 Telefon: +49/6841/16-24910
 Fax: +49/6841/16-24950
 E-Mail: kieferorthopaedie.sekretariat@uniklinikum-saarland.de

Literaturverzeichnis

1. Albrektsson T, Zarb G, Worthington P, Eriksson AR (1986) The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1:11-25.
2. Antoszewska J, Papadopoulos MA, Park HS, Ludwig B (2009) Five-year experience with orthodontic miniscrew implants: a retrospective investigation of factors influencing success rates. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 136:158.e151-158.e110.
3. Arcuri C, Muzzi F, Santini F, Barlattani A, Giancotti A (2007) Five years of experience using palatal mini-implants for orthodontic anchorage. *J Oral Maxillofac Surg* 65:2492-2497.
4. Asscherickx K, Vannet BV, Bottenberg P, Wehrbein H, Sabzevar MM (2010) Clinical observations and success rates of palatal implants. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 137:114-122.
5. Baumgaertel S, Razavi MR, Hans MG (2008) Mini-implant anchorage for the orthodontic practitioner. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 133:621-627.
6. Baumgaertel S (2014) Temporary skeletal anchorage devices: The case for miniscrews. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 145:560.
7. Berens A, Wiechmann D, Dempf R (2006) Mini- and micro-screws for temporary skeletal anchorage in orthodontic therapy. *J Orofac Orthop* 67:450-458.
8. Bernhart T, Dörtbudak O, Wehrbein H, Baier C, Bantleon HP, Kucher G (2000) Das Gaumenimplantat. *Inf Orthod Kieferorthop* 32:209-229.
9. Borbely P, Dunay MP, Jung BA, Wehrbein H, Wagner W, Kunkel M (2008) Primary loading of palatal implants for orthodontic anchorage--a pilot animal study. *J Craniomaxillofac Surg* 36:21-27.
10. Cheng SJ, Tseng IY, Lee JJ, Kok SH (2004) A prospective study of the risk factors associated with failure of mini-implants used for orthodontic anchorage. *Int J Oral Maxillofac Implants* 19:100-106.
11. Choo HR (2009) TAD, a misnomer? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 136:145-146.
12. Crismani AG, Bertl MH, Celar AG, Bantleon HP, Burstone CJ (2010) Miniscrews in orthodontic treatment: review and analysis of published clinical trials. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 137:108-113.
13. Crismani AG, Bernhart T, Schwarz K, Celar AG, Bantleon HP, Watzek G (2006) Ninety percent success in palatal implants loaded 1 week after placement: a clinical evaluation by resonance frequency analysis. *Clin Oral Implants Res* 17:445-450.
14. Eliades T, Zinelis S, Papadopoulos MA, Eliades G (2009) Characterization of retrieved orthodontic miniscrew implants. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 135:10 e11-17; discussion 10-11.
15. Fah R, Schatzle M (2014) Complications and adverse patient reactions associated with the surgical insertion and removal of palatal implants: a retrospective study. *Clin Oral Implants Res* 25:653-658.
16. Hanggi M, Kuhn M, Gollner P, Schatzle M (2015) Noninvasive palatal implant removal. *Clin Oral Implants Res* 26:1503-1505.
17. Hourfar J, Kanavakis G, Bister D, Schatzle M, Awad L, Nienkemper M, Goldbecher C, Ludwig B (2015) Three dimensional anatomical exploration of the anterior hard palate at the level of the third ruga for the placement of mini-implants - a cone-beam CT study. *Eur J Orthod* 37:589-595.
18. Jackson A, Lemke R, Hatch J, Salome N, Gakunga P, Cochran D (2008) A comparison of stability between delayed versus immediately loaded orthodontic palatal implants. *J Esthet Restor Dent* 20:174-184.
19. Janssen KI, Raghoobar GM, Vissink A, Sandham A (2008) Skeletal anchorage in orthodontics--a review of various systems in animal and human studies. *Int J Oral Maxillofac Implants* 23:75-88.
20. Jung BA, Harzer W, Gedrange T, Kunkel M, Moergel M, Diedrich P, Ludicke G, Wehrbein H (2010) Spectrum of indications for palatal implants in treatment concepts involving immediate and conventional loading. *J Orofac Orthop* 71:273-280.
21. Jung BA, Kunkel M, Göllner P, Liechti T, Moergel M, Noelken R, Borbély P, Wehrbein H (2011) Does thread design influence relative bone-to-implant contact rate of palatal implants? *J Orofac Orthop* 72:204-213.
22. Jung BA, Harzer W, Wehrbein H, Gedrange T, Hopfenmuller W, Ludicke G, Moergel M, Diedrich P, Kunkel M (2011) Immediate versus conventional loading of palatal implants in humans: a first report of a multicenter RCT. *Clin Oral Investig* 15:495-502.
23. Jung BA, Kunkel M, Gollner P, Liechti T, Wehrbein H (2009) Success rate of second-generation palatal implants. *Angle Orthod* 79:85-90.
24. Jung BA, Kunkel M, Göde M, Wehrbein H (2007) Clinical success parameters of paramedian insertion during the growth period *Z Zahnärztl Impl* 23:28-35.
25. Justens E, De Bruyn H (2008) Clinical outcome of mini-screws used as orthodontic anchorage. *Clin Implant Dent Relat Res* 10:174-180.
26. Kanomi R (1997) Mini-implant for orthodontic anchorage. *J Clin Orthod* 31.
27. Karagkiolidou A, Ludwig B, Pazera P, Gkantidis N, Pandis N, Katsaros C (2013) Survival of palatal miniscrews used for orthodontic appliance anchorage: a retrospective cohort study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 143:767-772.
28. Kawa D, Kunkel M, Heuser L, Jung BA (2016) What is the best position for palatal implants? A CBCT study on bone volume in the growing maxilla. *Clin Oral Investig* 1:1.
29. Kim YH, Yang SM, Kim S, Lee JY, Kim KE, Gianelly AA, Kyung SH (2010) Midpalatal miniscrews for orthodontic anchorage: factors affecting clinical success. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 137:66-72.
30. Kinzinger G, Wehrbein H, Byloff FK, Yildizhan F, Diedrich P (2005) Innovative anchorage alternatives for molar distalization--an overview. *J Orofac Orthop* 66:397-413.
31. Kravitz ND, Kusnoto B (2007) Risks and complications of orthodontic miniscrews. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 131:S43-S51.
32. Kuhn M, Gollner P, Schatzle M, Hanggi MP (2015) Non-invasive removal of sandblasted and acid-etched titanium palatal implants, a retrospective study. *Eur J Orthod* 37:584-588.
33. Kuroda S, Sugawara Y, Deguchi T, Kyung HM, Takano-Yamamoto T (2007) Clinical use of miniscrew implants as orthodontic anchorage: success rates and postoperative discomfort. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 131:9-15.
34. Kuroda S, Yamada K, Deguchi T, Hashimoto T, Kyung H-M, Yamamoto TT (2007) Root proximity is a major factor for screw failure in orthodontic anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 131:S68-S73.

35. Lim HJ, Eun CS, Cho JH, Lee KH, Hwang HS (2009) Factors associated with initial stability of miniscrews for orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 136:236-242.
36. Liou EJ, Pai BC, Lin JC (2004) Do miniscrews remain stationary under orthodontic forces? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 126:42-47.
37. Männchen R, Schätzle M (2008) Success rate of palatal orthodontic implants: a prospective longitudinal study. *Clin Oral Implants Res* 19:665-669.
38. Manni A, Cozzani M, Tamborrino F, De Rinaldis S, Menini A (2011) Factors influencing the stability of miniscrews. A retrospective study on 300 miniscrews. *Eur J Orthod* 33:388-395.
39. McGuire MK, Scheyer ET, Gallerano RL (2006) Temporary anchorage devices for tooth movement: a review and case reports. *J Periodontol* 77:1613-1624.
40. Min K-I, Kim S-C, Kang K-H, Cho J-H, Lee E-H, Chang N-Y, Chae J-M (2012) Root proximity and cortical bone thickness effects on the success rate of orthodontic micro-implants using cone beam computed tomography. *Angle Orthod* 82:1014-1021.
41. Misch CE, Perel ML, Wang HL, Sammartino G, Galindo-Moreno P, Trisi P, Steigmann M, Rebaudi A, Palti A, Pikos MA, Schwartz-Arad D, Choukroun J, Gutierrez-Perez JL, Marenzi G, Valavanis DK (2008) Implant success, survival, and failure: the International Congress of Oral Implantologists (ICOI) Pisa Consensus Conference. *Implant Dent* 17:5-15.
42. Monnerat C, Restle L, Mucha JN (2009) Tomographic mapping of mandibular interradicular spaces for placement of orthodontic mini-implants. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 135:428-429.
43. Neukam FW, Flemmig TF (2006) Local and systemic conditions potentially compromising osseointegration. Consensus report of Working Group 3. *Clin Oral Implants Res* 2:160-162.
44. Nicolas G, Bart VV (2008) Aspects in post-orthodontic removal of Orthosystem implants. *Clin Oral Implants Res* 19:1290-1294.
45. Nienkemper M, Wilmes B, Pauls A, Drescher D (2012) Multipurpose use of orthodontic mini-implants to achieve different treatment goals. *J Orofac Orthop* 73:467-476.
46. Nienkemper M, Handschel J, Drescher D (2014) Systematic review of mini-implant displacement under orthodontic loading. *Int J Oral Sci* 6:1-6.
47. Ohashi E, Pecho OE, Moron M, Lagravere MO (2006) Implant vs Screw Loading Protocols in Orthodontics. *Angle Orthod* 76:721-727.
48. Papadopoulos MA, Tarawneh F (2007) The use of miniscrew implants for temporary skeletal anchorage in orthodontics: a comprehensive review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 103:6-15.
49. Papadopoulos MA, Papageorgiou SN, Zogakis IP (2011) Clinical effectiveness of orthodontic miniscrew implants: a meta-analysis. *J Dent Res* 90:969-976.
50. Papageorgiou SN, Zogakis IP, Papadopoulos MA (2012) Failure rates and associated risk factors of orthodontic miniscrew implants: A meta-analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 142:577-595 e577.
51. Papageorgiou SN, Zogakis IP, Papadopoulos MA (2012) Failure rates and associated risk factors of orthodontic miniscrew implants: a meta-analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 142:577-595.
52. Park J, Cho HJ (2009) Three-dimensional evaluation of interradicular spaces and cortical bone thickness for the placement and initial stability of microimplants in adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 136:314-315.
53. Reynders R, Ronchi L, Bipat S (2009) Mini-implants in orthodontics: a systematic review of the literature. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 135:564 e561-519; discussion 564-565.
54. Sandler J, Benson PE, Doyle P, Majumder A, O'Dwyer J, Speight P, Thiruvengkatachari B, Tinsley D (2008) Palatal implants are a good alternative to headgear: a randomized trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 133:51-57.
55. Schätzle M, Männchen R, Zwahlen M, Lang NP (2009) Survival and failure rates of orthodontic temporary anchorage devices: a systematic review. *Clin Oral Implants Res* 20:1351-1359.
56. Schlegel KA, Kinner F, Schlegel KD (2002) The anatomic basis for palatal implants in orthodontics. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 17:133-139.
57. Stockmann P, Schlegel KA, Srouf S, Neukam FW, Fenner M, Felszeghy E (2009) Which region of the median palate is a suitable location of temporary orthodontic anchorage devices? A histomorphometric study on human cadavers aged 15-20 years. *Clin Oral Implants Res* 20:306-312.
58. Tsui WK, Chua HD, Cheung LK (2012) Bone anchor systems for orthodontic application: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg* 41:1427-1438.
59. Watanabe H, Deguchi T, Hasegawa M, Ito M, Kim S, Takano-Yamamoto T (2013) Orthodontic miniscrew failure rate and root proximity, insertion angle, bone contact length, and bone density. *Orthod Craniofac Res* 16:44-55.
60. Wehrbein H, Göllner P (2007) Skeletal Anchorage in Orthodontics – Basics and Clinical Application. *J Orofac Orthop* 68:443-461.
61. Wehrbein H, Hövel P, Kinzinger G, Stefan B (2004) Load-Deflection Behavior of Transpalatal Bars Supported on Orthodontic Palatal Implants. *J Orofac Orthop* 65:312-320.
62. Wehrbein H, Gollner P (2009) Do palatal implants remain positionally stable under orthodontic load? A clinical radiologic study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 136:695-699.
63. Wehrbein H, Glatzmaier J, Mundwiler U, Diedrich P (1996) The Orthosystem--a new implant system for orthodontic anchorage in the palate. *J Orofac Orthop* 57:142-153.
64. Wehrbein H, Merz BR, Diedrich P (1999) Palatal bone support for orthodontic implant anchorage--a clinical and radiological study. *Eur J Orthod* 21:65-70.
65. Wehrbein H, Merz BR, Diedrich P, Glatzmaier J (1996) The use of palatal implants for orthodontic anchorage. Design and clinical application of the orthosystem. *Clin Oral Implants Res* 7:410-416.
66. Wilmes B, Nienkemper M, Drescher D (2010) Application and effectiveness of a mini-implant- and tooth-borne rapid palatal expansion device: the hybrid hyrax. *World J Orthod* 11:323-330.
67. Winsauer H, Vlachojannis C, Bumann A, Vlachojannis J, Chrubasik S (2014) Paramedian vertical palatal bone height for mini-implant insertion: a systematic review. *Eur J Orthod* 36:541-549.
68. Yamaguchi M, Inami T, Ito K, Kasai K, Tanimoto Y (2012) Mini-implants in the anchorage armamentarium: new paradigms in the orthodontics. *Int J Biomater* 394121:5.
69. Zuger J, Pandis N, Wallkamm B, Grossen J, Katsaros C (2014) Success rate of paramedian palatal implants in adolescent and adult orthodontic patients: a retrospective cohort study. *Eur J Orthod* 36:22-25.