

# Effects of Two Different Functional Appliances on Root Development of Posterior Teeth: Activator vs. Bite-jumping Appliance

## Effekte von zwei verschiedenen funktionskieferorthopädischen Apparaturen auf die Wurzelentwicklung im Seitenzahnbereich: Aktivator versus Vorschubdoppelplatte

Gero Kinzinger<sup>1</sup>, Susanna Savvaidis<sup>2</sup>, Norbert Gülden<sup>1</sup>, Björn Ludwig<sup>1</sup>, Michael Knösel<sup>3</sup>, Jörg Lisson<sup>1</sup>

### Abstract

**Objective:** The aim of this study was to investigate retrospectively the incidence of inhibited root development by metric analysis of orthopantomograms, based on examination of the posterior teeth of 40 children and adolescents with Angle Class II, Division 1 malocclusion who received two different removable functional appliances to treat the distal intermaxillary relationship.

**Patients and Methods:** The patients were divided into two groups of equal size according to the appliance they wore for treatment (activator, bite-jumping appliance). Orthopantomograms for each patient were available from the start (time point T1) and after completion of the functional treatment (time point T2). Each radiograph's enlargement factor in the posterior region was ascertained. The vestibular tooth lengths of the molars and premolars were then measured. To assess root length development, we determined the differences between tooth lengths at the start and after the end of the treatment.

**Results:** Functional treatment generally led to an increase in tooth lengths in the anchorage region. Direct comparison of the two removable appliances revealed significant differences ( $p = 0.0478$ ) in how much longer the maxillary first premolars became: following treatment with the activator, the teeth lengths increased by a mean of  $2.64 \text{ mm} \pm 5.12 \text{ mm}$ , whereas the mean increase in length after bite-jumping appliance therapy was  $0.59 \text{ mm} \pm 3.40 \text{ mm}$ .

**Conclusions:** As a result of treatment with removable functional appliances, we observed locally different trends in root length increase in the posterior region in late-mixed and young adult

### Zusammenfassung

**Ziel:** Ziel der vorliegenden Studie war es, retrospektiv durch metrische Auswertung von Panoramaschichtaufnahmen die Seitenzähne von 40 Kindern und Jugendlichen mit einer Angle-Klasse-II/1-Anomalie, die zur Therapie des Distalbisses mit zwei verschiedenen herausnehmbaren funktionskieferorthopädischen Geräten behandelt wurden, auf das Vorkommen von Entwicklungshemmungen der Wurzeln zu untersuchen.

**Patienten und Methodik:** Die Patienten konnten dem jeweiligen Behandlungsgerät (Aktivator, Vorschubdoppelplatte) entsprechend in zwei zahlenmäßig gleich große Gruppen unterteilt werden. Von jedem Patienten lagen Panoramaschichtaufnahmen vom Beginn (Zeitpunkt T1) und nach Abschluss der funktionskieferorthopädischen Behandlung (Zeitpunkt T2) vor. Für jedes Röntgenbild wurde die Vergrößerung des Seitenzahnbereichs individuell ermittelt. Danach erfolgte die Vermessung der vestibulären Zahnlangen der Molaren und Prämolaren. Zur Beurteilung der Entwicklung der Wurzellänge wurden die Differenzen aus den Zahnlangen zu Beginn und nach Abschluss der Behandlung gebildet.

**Ergebnisse:** Unter der funktionskieferorthopädischen Behandlung kam es allgemein zu einer Zunahme der Zahnlangen im Verankerungsbereich. Im direkten Vergleich der beiden herausnehmbaren Apparaturen zeigten sich bei den ersten Prämolaren des Oberkiefers signifikante Unterschiede ( $p = 0,0478$ ) im Ausmaß der Längenzunahme: Unter der Behandlung mit dem Aktivator nahmen die Zähne mit durchschnittlich  $2,64 \text{ mm} \pm 5,12 \text{ mm}$  in größerem Umfang an Länge zu als bei der Therapie mit der Vorschubdoppelplatte ( $0,59 \text{ mm} \pm 3,40 \text{ mm}$ ).

**Schlussfolgerungen:** Bei der Behandlung mit herausnehmbaren funktionskieferorthopädischen Apparaturen zeigte sich im späten Wechselgebiss bzw. im jungen adulten Gebiss und somit zu einem

<sup>1</sup>Department of Orthodontics, Saarland University, Homburg/Saar, Germany,

<sup>2</sup>Private Practice, Herzogenrath, Germany,

<sup>3</sup>Department of Orthodontics, University Hospital Göttingen, Germany.

Received: October 7, 2009; accepted: March 5, 2010

J Orofac Orthop 2010;71:235–45

DOI 10.1007/s00056-010-9935-9

dentitions, hence at a stage when root development had not concluded. The roots became longer during treatment with both the activator and bite-jumping appliance, but the maxillary first premolars' root development varied widely. This may be because the bite-jumping appliance's anchorage is right on the dentition, and the forces thus exert an immediate effect on the anchorage unit, particularly in the immediate vicinity of the protrusive bars in the maxilla. This led to certain groups of teeth to fail to achieve their entire potential length.

**Key Words:** Functional jaw orthopedics · Activator · Bite-jumping appliance · Root development · Anchorage

### Introduction

The functional treatment of an Angle Class II, Division 1 malocclusion with mandibular retrognathism is possible using removable appliances. The ideal timing of this treatment is shortly before the pubertal growth spurt begins, as there must be some growth potential for the treatment to be effective, and skeletal changes are still possible at this stage [5, 10]. The activator and bite-jumping appliance are among the most commonly used removable functional appliances. They differ fundamentally in their appliance design.

The activator is the fundamental appliance in functional orthodontics. Its effect relies on the mechanical principle of the inclined plane and structural adaptation. The bignathic appliance sits loosely in the patient's mouth and comprises an acrylic oral part and a few wire elements, but no actual retention elements. The activator according to Andresen et al. [2] for treating Class II, Division 1 is reciprocally anchored in the maxilla and mandible by opposing forces which impede posteriorly the maxilla in its natural forwards growth, the aim being to move the mandible in a forward direction [22].

The basic concept behind the bite-jumping appliance was developed by Schwarz [21]. It combines the advantages of an active plate with functional orthodontic effects. The lower plate's inclined plane and the paired guide bars in the maxilla, which fit into the inclined plane, are fundamental to this appliance's design. The bars should guarantee optimal mandibular advancement with minimum length, prevent the patient from "slipping out" of the appliance, and also keep the mandible in the therapeutic position during sleep [19, 20]. An inhibitory force is thus continuously transferred to the maxilla, (overnight as well) via the bars, and as a result of the viscoelasticity of the musculature and soft tissues [18, 20]. This force acts reciprocally on the mandible [19]. Each plate is fixed to each jaw with retention clasps. This may also contain additional active elements (screws, springs).

Zeitpunkt, in dem das Wachstum der Wurzeln noch nicht vollständig abgeschlossen war, lokal unterschiedliche Tendenzen hinsichtlich der Wurzellängenzunahme im Seitenzahnbereich. Zwar nahmen sowohl unter der Behandlung mit einem Aktivator als auch mit einer Vorschubdoppelplatte die Längen der Wurzeln zu, doch war das Wurzelwachstum der ersten Prämolaren des Oberkiefers unterschiedlich stark. Ursächlich könnte sein, dass die direkte Verankerung der Vorschubdoppelplatte an der Dentition und damit die unmittelbare Krafteinwirkung auf die Verankerungseinheit insbesondere in unmittelbarer Nähe der Vorschubstege im Oberkiefer dazu führten, dass einzelne Zahngruppen nicht ihre vollständige, potentiell mögliche Länge erreichten.

**Schlüsselwörter:** Funktionskieferorthopädie · Aktivator · Vorschubdoppelplatte · Wurzelentwicklung · Verankerung

### Einleitung

Die funktionskieferorthopädische Behandlung einer Angle-Klasse-II/1-Anomalie mit mandibulärer Retrognathie kann mit herausnehmbaren Geräten erfolgen. Der optimale Behandlungszeitpunkt liegt kurz vor Einsetzen des puberalen Wachstumsschubes, da für ihre Wirksamkeit ein Wachstumspotential gegeben sein muss und skelettale Veränderungen noch möglich sind [5, 10]. Zu den häufig angewendeten herausnehmbaren funktionskieferorthopädischen Geräten zählen der Aktivator und die Vorschubdoppelplatte. Sie unterscheiden sich in ihrem apparativen Aufbau grundlegend.

Der Aktivator ist das Grundgerät der Funktionskieferorthopädie. Seine Wirkung beruht auf dem mechanischen Prinzip der schiefen Ebene und der Strukturanpassung. Das bignathe Gerät sitzt locker im Mund des Patienten und besteht aus einem oralen Kunststoffteil und wenigen Drahtelementen, aber keinen direkten Halteelementen. Der Aktivator nach Andresen et al. [2] zur Behandlung der Angle-Klasse-II/1 wird reziprok im Ober- und Unterkiefer durch gegenläufige Kräfte verankert, die den Oberkiefer in seinem natürlichen Vorwärtswachstum nach dorsal zügeln und den Unterkiefer nach ventral mobilisieren sollen [22].

Die Vorschubdoppelplatte wurde in ihrem Grundkonzept von Schwarz [21] entwickelt. Sie vereint die Vorteile einer aktiven Platte mit funktionskieferorthopädischen Effekten. Wesentlich für den Aufbau der Vorschubdoppelplatte sind die schiefe Ebene der Unterkieferplatte und dazu passende paarige Führungsstege im Oberkiefer. Die Stege sollten mit einer Mindestlänge den optimalen Unterkiefervorschub gewährleisten, ein „Aussteigen“ des Patienten aus dem Gerät vermeiden und den Unterkiefer auch während des Schlafens in der therapeutischen Position halten [19, 20]. Somit wird auch in der Nacht kontinuierlich über die Stege und durch die Viskoelastizität der Muskulatur und der Weichgewebe eine hemmende Kraft auf den Oberkiefer übertragen [18, 20]. Die-

Removable functional appliances must be worn for 12–14 hours a day to work most effectively. The effect exerted by the appliance can be interrupted at any time by the patient, which means the duration of these appliances' forces is intermittent, but also that the treatment outcome depends crucially on patient compliance.

The mechanism of action of functional appliances is a matter of some controversy [4, 5, 9, 10, 23]. It is based on a combination of orthodontic and orthopedic effects [5]. Consequently, both skeletal and dental effects become apparent at the end of the treatment [19].

Both therapeutically-moved teeth and those used for anchorage purposes are subject to loading during orthodontic treatment. If excessive forces arise, this can lead to resorption in the root area or, if growth is incomplete, to the inhibition of root development. Root resorption mainly occurs in connection with fixed orthodontic appliances or treatment techniques [3, 6]. With fixed appliances, stronger forces act continuously on the teeth. Anchoring teeth are particularly affected by resorption. For instance, significant decreases in the maxillary first premolars' root surface areas were reported in a clinical trial with the Herbst appliance [15].

The therapeutic forces applied are weaker and act intermittently with removable appliances. Discontinuous forces offer a better prognosis in terms of reducing root length: there is a lower rate of root resorption, and the lacunae are smaller and flatter. The apical part of the roots is less often involved in the pathological process [1], probably because of the opportunity for repair during treatment pauses [7].

### Study Objective

The aim of this study was to investigate the incidence of the inhibition of tooth root development in the posterior dentition due to functional treatment with two different removable appliances.

We set out to evaluate

- whether such root development disruption occurs as a rule in the posterior region during functional treatment with removable appliances,
- whether such disruption would correlate with the functional appliance used (activator vs. bite-jumping appliance),
- any differences in the aforementioned respect between the maxilla and mandible,
- whether specific teeth or groups of teeth in the posterior region are particularly affected.

### Patients and Methods

#### Patients

A total of 40 patients with Angle Class II, Division 1 malocclusion underwent functional treatment with two different removable appliances (activator [Figure 1] or bite-jumping appliance [BJA, Figures 2a and 2b]) to correct the distal jaw

se Kraft wirkt reziprok auf den Unterkiefer [19]. An jedem Kiefer wird die jeweilige Einzelplatte mit Halteelementen fixiert. Diese kann zudem zusätzliche aktive Elemente (Schrauben, Federn) enthalten.

Die herausnehmbaren funktionskieferorthopädischen Geräte müssen 12–14 Stunden pro Tag getragen werden, um optimal zu wirken. Dadurch dass die apparative Einwirkung jederzeit vom Patienten unterbrochen werden kann, ist einerseits die Kraftdauer der Geräte intermittierend, andererseits der Behandlungserfolg stark patientenabhängig.

Die Wirkungsweise der funktionskieferorthopädischen Geräte wird kontrovers diskutiert [4, 5, 9, 10, 23] und basiert auf einer Kombination aus orthodontischen und orthopädischen Effekten [5]. Dementsprechend lassen sich am Ende der Behandlung sowohl skelettale als auch dentale Effekte nachweisen [19].

Während einer kieferorthopädischen Therapie erfährt nicht nur ein therapeutisch bewegter Zahn, sondern auch ein zu Verankerungszwecken herangezogener Zahn eine Belastung. Treten dabei zu starke Kräfte auf, kann es zu Resorptionen im Bereich der Wurzeln oder bei noch nicht abgeschlossenem Wachstum zu einer Wachstumshemmung der Wurzeln kommen. Vorwiegend treten Wurzelresorptionen im Zusammenhang mit festsitzenden kieferorthopädischen Geräten bzw. Behandlungstechniken auf [3, 6]. Bei den festsitzenden Geräten wirken stärkere Kräfte permanent auf die Zähne. Insbesondere die Verankerungszähne sind von Resorptionen betroffen. So zeigten sich in einer klinischen Studie mit der Herbst-Apparatur signifikante Abnahmen der Wurzeloberflächen bei den ersten Prämolaren des Unterkiefers [15].

Bei herausnehmbaren Apparaturen sind die applizierten therapeutischen Kräfte schwächer und wirken intermittierend. Diskontinuierliche Kräfte gelten hinsichtlich der Verkürzungen der Wurzellänge als prognostisch günstiger: Es kommt zu weniger Wurzelresorptionen, die Lakunen sind kleiner und flacher. Der apikale Teil der Wurzel ist weniger oft am pathologischen Prozess beteiligt [1]. Dies soll daran liegen, dass während der Behandlungspausen die Möglichkeit zur Reparatur besteht [7].

### Fragestellung

Ziel der vorliegenden Studie war die Untersuchung des Auftretens von Entwicklungshemmungen der Zahnwurzeln im Seitenzahnbereich unter funktionskieferorthopädischer Behandlung mit zwei verschiedenen herausnehmbaren Geräten.

Dabei sollte evaluiert werden,

- ob diese im Seitenzahnbereich bei der funktionskieferorthopädischen Behandlung mit herausnehmbaren Apparaturen grundsätzlich auftreten,
- ob diese vom verwendeten FKO-Gerät (Aktivator vs. Vorschubdoppelplatte) abhängig sind,
- ob es Unterschiede hinsichtlich der Ober- und Unterkiefer gibt,

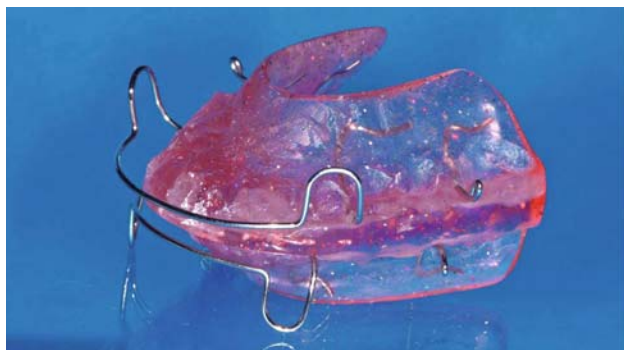


Figure 1. Activator.

Abbildung 1. Aktivator.

relationship. Selection of the appliance used for treatment was entirely random. The patients were divided into two equal groups of 20 patients according to the appliance they wore for treatment (activator group, BJA group). Treatment progress was documented using plaster casts and two orthopantomograms (OPG; T1 = start, T2 = completion of functional treatment). All the OPGs were taken with the same equipment (Gendex Orthoralix FD 5 cegin; Gendex Dental Systems, Hamburg, Germany). We considered a radiograph as qualitatively suitable for evaluation if the buccal root apices of the maxillary teeth could be clearly identified. OPG were the radiographs of choice because they are routinely taken during the course of orthodontic treatment. For technical radiation protection reasons, we took no additional dental X-rays of these still-growing children and adolescents.

The gender distribution was almost identical in the two groups: there were eight males and twelve females in the activator group, and nine males and eleven females in the BJA group. The patients' mean age in both groups when the functional orthodontic appliances were fitted was 11.7 years. The mean treatment period was 10.6 months with the activator and 14.4 months with the bite-jumping appliance.

#### Method of Analysis

The radiographs were digitalized with a negative scanner (model Epson Perfection V 750 Pro, Epson Scan software; Epson Euro Electronics, Munich, Germany) at a setting of 800 dpi (dots per inch) and postprocessed in terms of con-

- ob bestimmte Zähne oder Zahngruppen im Seitenzahngelände verstärkt betroffen sind.

#### Patienten und Methodik

##### Patienten

Insgesamt 40 Patienten mit einer Angle-Klasse-II/1-Anomalie wurden zur Korrektur der Distalbisslagen funktionskieferorthopädisch mit zwei verschiedenen herausnehmbaren Geräten (Aktivator [Abbildung 1] oder Vorschubdoppelplatte [VDP, Abbildungen 2a und 2b]) behandelt. Die Auswahl des Behandlungsgerätes erfolgte rein zufällig. Dem Behandlungsgerät entsprechend konnten die Patienten in zwei zahlenmäßig gleich große Gruppen von jeweils 20 Patienten unterteilt werden (Aktivator-Gruppe, VDP-Gruppe). Die Behandlungsverläufe wurden jeweils anhand von Gipsmodellen und zwei Panoramaschichtaufnahmen (PSA; Zeitpunkt T1: Beginn, Zeitpunkt T2: Abschluss der funktionskieferorthopädischen Behandlung) dokumentiert. Alle PSA wurden mit demselben Gerät aufgenommen (Gendex Orthoralix FD 5 cegin; Gendex Dental Systems, Hamburg, Deutschland). Eine Röntgenaufnahme war qualitativ für eine Auswertung geeignet, wenn sich die bukkalen Wurzelspitzen der Oberkieferzähne genau erkennen ließen. PSA waren die Röntgenaufnahmen der Wahl, da sie im Laufe der kieferorthopädischen Behandlung routinemäßig angefertigt werden. Aus strahlenschutztechnischen Gründen wurde darauf verzichtet, bei den noch im Wachstum befindlichen Kindern und Jugendlichen zusätzlich Zahnfilme anzufertigen.

Die Geschlechtsverteilung war in beiden Gruppen nahezu gleich: In der Aktivatorgruppe waren acht Patienten männlich und zwölf weiblich, in der VDP-Gruppe neun männlich und elf weiblich. Das durchschnittliche Alter der Patienten bei der Eingliederung der FKO-Geräte lag in beiden Gruppen bei 11,7 Jahren. Die durchschnittliche Behandlungsdauer betrug mit dem Aktivator 10,6 Monate und mit der Vorschubdoppelplatte 14,4 Monate.

##### Analysemethode

Die Röntgenbilder wurden mit einem Durchlichtscanner (Modell Epson Perfection V 750 Pro, Epson Scan software; Epson Euro Electronics, München, Deutschland) bei einer Einstellung von 800 dpi (dots per inch) digitalisiert und zur



Figures 2a and 2b. Bite-jumping appliance (BJA): a) frontal view, b) rear view of the appliance.

Abbildungen 2a und 2b. Vorschubdoppelplatte (VDP): a) von vorn, b) von hinten gesehen.

trast and brightness using Adobe Photoshop CS (Version 8.0; Adobe Systems, Inc., San José, CA, USA) for further analysis. The orthopantomograms were analyzed with the AutoCAD 2005 program (Autodesk, San Rafael, CA, USA). This program was used to measure the mesiodistal diameters (greatest possible distance between the mesial and distal interproximal contact) of the maxillary first molars. The tooth lengths of the first and second premolars and first molars in the maxilla and mandible were then determined. In the process, we measured the distances between vestibular cusp tip and root apex with calipers. If the apical foramen was still patent, the midpoint of the distance between the canal walls was selected as the endpoint. We did not analyze the palatal roots of the maxillary teeth because their image is often distorted owing to the imaging technique. As well as measuring the mesiodistal diameters of the maxillary first molars on the radiograph, we also determined their widths with digital calipers in the model so that the orthopantomogram's enlargement not then directly measurable could be ascertained before starting the statistical analysis. For this purpose, the mesiodistal diameter of the first molars (M1) in the first and second quadrants as measured on the model was established as the reference value for calculating the enlargement factors at T1 and T2 in each patient. The enlargement factors for T1 and T2 were calculated as follows:

- enlargement factor (EF) T1 =  
width (tooth M1) OPG T1 / width (tooth M1) model
- enlargement factor (EF) T2 =  
width (tooth M1) OPG T2 / width (tooth M1) model

For each tooth, we used the applicable enlargement factor for the images at T1 and T2 to calculate the actual tooth lengths as follows:

- actual length (tooth) T1 =  
radiographic length (tooth) T1 / EF T1
- actual length (tooth) T2 =  
radiographic length (tooth) T2 / EF T2

To obtain information about root length development, we calculated the difference in tooth lengths at T2 and T1 (T2-T1). We assumed the height of the clinical crown to be constant. A positive value indicated an increase in length, and a negative value a decrease in length.

The statistical analysis was made using the MedCalc program (Version 9.3.0.0; MedCalc, Mariakerke, Belgium). The following t tests were performed: paired t tests were used for comparisons within the treatment groups and unpaired t tests for comparing the treatment groups. The level of significance was set at  $p \leq 0.05$ .

## Results

### Treatment Group Evaluation

When considering all the teeth as a whole, we noted a slight increase in tooth lengths during the treatment in both

weiteren Auswertung hinsichtlich Kontrast und Helligkeit mit Adobe Photoshop CS (Version 8.0; Adobe Systems, Inc., San José, CA, USA) nachbearbeitet. Die Auswertung der Panoramaschichtaufnahmen erfolgte mithilfe des Programms AutoCAD 2005 (Autodesk, San Rafael, CA, USA). Mithilfe des Programms wurden zunächst die mesiodistalen Diameter (größtmöglicher Abstand zwischen dem mesialen und distalen Approximalkontakt) der ersten Molaren des Oberkiefers vermessen. Danach wurden die Zahnängen der ersten und zweiten Prämolaren sowie der ersten Molaren des Ober- und Unterkiefers bestimmt. Dabei wurden jeweils die Strecken zwischen vestibulärer Höckerspitze und Wurzelspitze abgegriffen. Bei noch offenem Foramen apicale wurde der Mittelpunkt der Strecke zwischen den Kanalwänden als Endpunkt gewählt. Auf eine Auswertung der palatinalen Wurzeln der Oberkieferzähne wurde verzichtet, da sie aufgrund der Aufnahmetechnik nicht scharf abgebildet werden und oft verzeichnet sind. Neben der Vermessung der mesiodistalen Diameter der ersten Molaren des Oberkiefers im Röntgenbild wurden deren Breiten auch im Modell mit einer digitalen Schieblehre bestimmt, um vor Beginn der statistischen Analyse die nicht direkt messbare Vergrößerung der Panoramaschichtaufnahme ermitteln zu können. Dazu wurde pro Patient der mesiodistale, modellvermessene Diameter des ersten Molaren (M1) des ersten und zweiten Quadranten als Referenzwert für die Berechnung der Vergrößerungsfaktoren zu den Zeitpunkten T1 und T2 festgelegt. Die Vergrößerungsfaktoren für die Zeitpunkte T1 und T2 berechneten sich folgendermaßen:

- Vergrößerungsfaktor (VF) T1 =  
Breite (Zahn M1) PSA T1 / Breite (Zahn M1) Modell
- Vergrößerungsfaktor (VF) T2 =  
Breite (Zahn M1) PSA T2 / Breite (Zahn M1) Modell

Pro Zahn ließen sich anschließend unter Verwendung des jeweiligen Vergrößerungsfaktors der Aufnahmen zu den Zeitpunkten T1 und T2 die tatsächlichen Zahnängen wie folgt ermitteln:

- Tatsächliche Länge (Zahn) T1 =  
röntgenologische Länge (Zahn) T1 / VF T1
- Tatsächliche Länge (Zahn) T2 =  
röntgenologische Länge (Zahn) T2 / VF T2

Um Aussagen über die Entwicklung der Wurzellänge treffen zu können, wurde die Differenz aus den ermittelten tatsächlichen Zahnängen (T2-T1) gebildet. Die Höhe der klinischen Krone wurde als konstant vorausgesetzt. Bei einem Betrag mit positivem Vorzeichen lag eine Längenzunahme, bei einem Betrag mit negativem Vorzeichen eine Längenabnahme vor.

Die statistische Auswertung erfolgte mithilfe des Programms MedCalc (Version 9.3.0.0; MedCalc, Mariakerke, Belgien). Es wurden t-Tests durchgeführt: Bei Vergleichen innerhalb der Behandlungsgruppen kamen verbundene t-

**Table 1.** Mean tooth lengths of the first and second premolars and first molars (maxilla and mandible) in the activator group (SD = standard deviations) at T1 and T2, difference T2-T1.

**Tabelle 1.** Durchschnittliche Zahn­längen der ersten und zweiten Prämolaren sowie der ersten Molaren (Oberkiefer und Unterkiefer) in der Aktivator-Gruppe (SD = Standardabweichungen) zu den Zeitpunkten T1 und T2, Differenz T2-T1.

Activator group	n	T1 Mean/SD	T2 Mean/SD	T2-T1 Mean/SD	p value
Total	297	23.29 ± 5.95	24.77 ± 6.88	1.48 ± 3.62	<0.0001
Maxilla	149	23.15 ± 3.56	24.47 ± 3.74	1.32 ± 3.81	<0.0001
Mandible	148	23.43 ± 3.89	25.07 ± 3.51	1.64 ± 3.43	<0.0001

Diff. T2-T1: positive values = length increase, negative values = length decrease; means and standard deviations (SD) at T1, T2 and diff. T2-T1 in mm.

**Table 2.** Mean tooth lengths of the first and second premolars and the first molars (maxilla and mandible) in the BJA group (SD = standard deviations) at T1 and T2, difference T2-T1.

**Tabelle 2.** Durchschnittliche Zahn­längen der ersten und zweiten Prämolaren sowie der ersten Molaren (Oberkiefer und Unterkiefer) in der VDP-(BJA-)Gruppe (SD = Standardabweichungen) zu den Zeitpunkten T1 und T2, Differenz T2-T1.

BJA group	n	T1 Mean/SD	T2 Mean/SD	T2-T1 Mean/SD	p value
Total	291	23.16 ± 5.88	24.06 ± 6.63	0.90 ± 2.90	<0.0001
Maxilla	143	22.98 ± 2.75	23.79 ± 3.41	0.81 ± 2.65	0.0004
Mandible	148	23.34 ± 2.73	24.33 ± 3.11	0.99 ± 3.14	0.0002

Diff. T2-T1: positive values = length increase, negative values = length decrease; means and standard deviations (SD) at T1, T2 and diff. T2-T1 in mm.

groups of patients. The mean increase in length was 1.48 mm ± 3.62 mm or 6.3% in the activator group, and 0.90 mm ± 2.90 mm or 3.9% in the BJA group. Comparison of the changes in tooth length within the groups using t tests revealed that the increases in root lengths were statistically significant in both the activator ( $p < 0.0001$ ) and BJA group ( $p < 0.0001$ ) (Tables 1 and 2).

#### Treatment Group Evaluation Separately by Jaws

When assessing each treatment group separately per jaw, both groups demonstrated an increase in the tooth lengths of the maxillary dentition: 1.32 mm ± 3.81 mm in the activator group and 0.81 mm ± 2.65 mm in the BJA group. The amount of these increases was significant (activator group:  $p < 0.0001$ ; BJA group:  $p = 0.0004$ ). The mandibular dentitions also revealed a statistically significant increase in tooth lengths, namely 1.64 mm ± 3.43 mm in the

Tests zur Anwendung, bei Vergleichen zwischen den verschiedenen Behandlungsgruppen unverbundene t-Tests. Das Signifikanzniveau wurde auf  $p \leq 0,05$  festgelegt.

### Ergebnisse

#### Beurteilung der Behandlungsgruppen

Bei der Betrachtung aller Zähne als Gesamtgruppe war in beiden Patientengruppen unter der Behandlung eine geringe Zunahme der Zahn­längen zu verzeichnen. In der Aktivator-Gruppe betrug die durchschnittliche Längen­zunahme 1,48 mm ± 3,62 mm bzw. 6,3%, in der VDP-Gruppe 0,90 mm ± 2,90 mm bzw. 3,9%. Der Vergleich der Zahn­längen­veränderungen innerhalb der Gruppen mittels t-Tests ergab, dass die Zunahmen der Wurzellängen sowohl in der Aktivator-Gruppe ( $p < 0,0001$ ) als auch in der VDP-Gruppe ( $p < 0,0001$ ) statistisch signifikant waren (Tabellen 1 und 2).

#### Beurteilung der Behandlungsgruppen nach Kiefern getrennt

Betrachtet man die Behandlungsgruppen nach Kiefern getrennt, lassen sich folgende Aussagen zu den Zahn­längen­veränderungen machen: In beiden Gruppen war eine Zunahme der Zahn­längen der Oberkieferdentition zu beobachten. Diese betrug in der Aktivator-Gruppe 1,32 mm ± 3,81 mm und in der VDP-Gruppe 0,81 mm ± 2,65 mm. Diese Längen­zunahmen sind vom Ausmaß her signifikant (Aktivator-Gruppe:  $p < 0,0001$ ; VDP-Gruppe:  $p = 0,0004$ ). Die Unterkieferdentitionen zeigten ebenfalls eine Zunahme der Zahn­längen. Diese betragen für die Aktivator-Gruppe 1,64 mm ± 3,43 mm und für die VDP-Gruppe 0,99 mm ± 3,14 mm und sind ebenfalls statistisch signifikant (Aktivator-Gruppe:  $p < 0,0001$ ; VDP-Gruppe:  $p = 0,0002$ ) (Tabellen 1 und 2).

#### Beurteilung der Behandlungsgruppen nach Aufteilung der Dentitionen in Zahngruppen

Im Rahmen eines verbundenen t-Tests wurden die Zähne bzw. Wurzeln der jeweiligen Kiefer zu Zahngruppen zusammengefasst. Diese Gruppen umfassen die distovestibulären bzw. distalen Wurzeln der ersten Molaren (OK-6er dv, UK-6er d), die mesiovestibulären bzw. mesialen Wurzeln der ersten Molaren (OK-6er mv, UK-6er m) sowie jeweils die ersten und zweiten Prämolaren des Ober- und Unterkiefers (OK- und UK-5er, OK- und UK-4er).

In der Aktivator-Gruppe betrug die durchschnittliche Längen­veränderung der distovestibulären Wurzeln der ersten Oberkiefermolaren -0,12 mm ± 2,01 mm, d.h. hier wurde die Wurzellänge zum Zeitpunkt T2 kürzer gemessen als zum Zeitpunkt T1. Diese Wurzelverkürzung war aber statistisch nicht signifikant ( $p = 0,7046$ ). Für alle weiteren Zahngruppen innerhalb der Aktivator-Gruppe konnten keine Wurzelverkürzungen, sondern Längen­zunahmen festgestellt werden. Diese Längen­zunahmen betragen bei den mesiovestibulären Wurzeln der ersten Oberkiefermolaren durchschnittlich 0,47 mm ± 2,40 mm, bei den zweiten Oberkieferprämolaren 2,65

activator group and  $0.99 \text{ mm} \pm 3.14 \text{ mm}$  in the BJA group (activator group:  $p < 0.0001$ ; BJA group:  $p = 0.0002$ ) (Tables 1 and 2).

#### Treatment Group Evaluation after Dentition Classification into Tooth Groups

Within the context of a paired t test, the teeth or roots of a particular jaw were combined into groups of teeth comprising the distovestibular or distal roots of the first molars (UJ 6 dv, LJ 6 d), mesiovestibular or mesial roots of the first molars (UJ 6 mv, LJ 6 m) and the first and second premolars of the upper and lower jaws (UJ and LJ 5, UJ and LJ 4).

In the activator group, the mean length change to the distovestibular roots of the maxillary first molars was  $-0.12 \text{ mm} \pm 2.01 \text{ mm}$ , i.e. root length here was shorter at T2 than that measured at T1. However, this root shortening was not statistically significant ( $p = 0.7046$ ). We observed length increases, but no root shortening in all the other tooth groups within the activator cohort. Mean length increases were  $0.47 \text{ mm} \pm 2.40 \text{ mm}$  for the maxillary first molars' mesiovestibular roots,  $2.65 \text{ mm} \pm 4.31 \text{ mm}$  for the maxillary second premolars, and  $2.64 \text{ mm} \pm 5.12 \text{ mm}$  for the maxillary first premolars. Mean length increases were  $0.70 \text{ mm} \pm 1.98 \text{ mm}$  for the distal roots of the mandibular first molars,  $0.49 \text{ mm} \pm 2.02 \text{ mm}$  for the mesial roots,  $2.95 \text{ mm} \pm 4.10 \text{ mm}$  for the mandibular second premolars, and  $2.82 \text{ mm} \pm 4.44 \text{ mm}$  for the mandibular first premolars. The only changes in root lengths that were not statistically significant were those concerning the distovestibular roots of the maxillary first molars and mesiovestibular or mesial roots of the maxillary and mandibular first molars.

Mean length increases in the BJA group were  $0.32 \text{ mm} \pm 1.81 \text{ mm}$  for the maxillary first molars' distovestibular roots,  $0.67 \text{ mm} \pm 2.23 \text{ mm}$  for their mesiovestibular roots,  $1.97 \text{ mm} \pm 2.88 \text{ mm}$  for the maxillary second premolars, and  $0.59 \text{ mm} \pm 3.40 \text{ mm}$  for the maxillary first premolars. The length increases were  $0.35 \text{ mm} \pm 1.63 \text{ mm}$  for the mandibular first molars' distal roots,  $0.37 \text{ mm} \pm 1.47 \text{ mm}$  for the mandibular first molars' mesial roots,  $1.59 \text{ mm} \pm 3.95 \text{ mm}$  for the mandibular second premolars, and  $1.88 \text{ mm} \pm 4.48 \text{ mm}$  for the mandibular first premolars. The changes in the maxillary second premolars ( $p = 0.0012$ ), mandibular second premolars ( $p = 0.0298$ ), and mandibular first premolars ( $p = 0.0165$ ) were statistically significant (Table 3).

#### Intergroup Comparison

An unpaired t test was used to compare the treatment groups. This test is also based on the division of the dentitions into groups. Comparing the BJA group with the activator group revealed some significant changes ( $p = 0.0478$ ) in the maxillary first premolars. This is due to a wide variation in both groups' increase in root lengths: the BJA group showed a root length increase of  $0.59 \text{ mm} \pm 3.40 \text{ mm}$ , whereas it increased by  $2.64 \text{ mm} \pm 5.12 \text{ mm}$  in the activator

$\text{mm} \pm 4.31 \text{ mm}$ , bei den ersten Oberkieferprämolaren  $2,64 \text{ mm} \pm 5,12 \text{ mm}$ . Die Längenzunahmen der distalen Wurzeln der ersten Unterkiefermolaren betragen durchschnittlich  $0,70 \text{ mm} \pm 1,98 \text{ mm}$ , die der mesialen Wurzeln  $0,49 \text{ mm} \pm 2,02 \text{ mm}$ , die der zweiten Prämolaren des Unterkiefers  $2,95 \text{ mm} \pm 4,10 \text{ mm}$ , die der ersten Prämolaren des Unterkiefers  $2,82 \text{ mm} \pm 4,44 \text{ mm}$ . Die Veränderungen der Wurzellängen waren lediglich für die distovestibulären Wurzeln der ersten Oberkiefermolaren und für die mesiovestibulären bzw. mesialen Wurzeln der ersten Molaren des Oberkiefers und des Unterkiefers statistisch nicht signifikant.

Bei der VDP-Gruppe betragen die durchschnittlichen Längenzunahmen der distovestibulären Wurzeln der ersten Oberkiefermolaren  $0,32 \text{ mm} \pm 1,81 \text{ mm}$ , der mesiovestibulären Wurzeln der ersten Oberkiefermolaren  $0,67 \text{ mm} \pm 2,23 \text{ mm}$ , der zweiten Oberkieferprämolaren  $1,97 \text{ mm} \pm 2,88 \text{ mm}$  und der ersten Oberkieferprämolaren  $0,59 \text{ mm} \pm 3,40 \text{ mm}$ . Die Längenzunahmen der distalen Wurzeln der ersten Unterkiefermolaren betragen  $0,35 \text{ mm} \pm 1,63 \text{ mm}$ , der mesialen Wurzeln der ersten Unterkiefermolaren  $0,37 \text{ mm} \pm 1,47 \text{ mm}$ , der zweiten Unterkieferprämolaren  $1,59 \text{ mm} \pm 3,95 \text{ mm}$  und der ersten Unterkieferprämolaren  $1,88 \text{ mm} \pm 4,48 \text{ mm}$ . Die Veränderungen waren für die zweiten Prämolaren des Oberkiefers ( $p = 0,0012$ ), die zweiten Prämolaren des Unterkiefers ( $p = 0,0298$ ) und die ersten Prämolaren des Unterkiefers ( $p = 0,0165$ ) statistisch signifikant (Tabelle 3).

#### Vergleich der Behandlungsgruppen untereinander

Der Vergleich der Behandlungsgruppen untereinander erfolgte über einen unverbundenen t-Test. Diesem Test lag ebenfalls die Einteilung der Dentitionen zu Gruppen zugrunde. Im Vergleich der VDP-Gruppe mit der Aktivator-Gruppe ergaben sich für die ersten Prämolaren des Oberkiefers Signifikanzen ( $p = 0,0478$ ). Dies war auf eine Längenzunahme der Zahnwurzeln unterschiedlich starken Ausmaßes in beiden Gruppen zurückzuführen: In der VDP-Gruppe nahm die Wurzellänge um  $0,59 \text{ mm} \pm 3,40 \text{ mm}$  zu, in der Aktivator-Gruppe hingegen um  $2,64 \text{ mm} \pm 5,12 \text{ mm}$ , was auch innerhalb der Gruppe statistisch signifikant war ( $p = 0,003$ ) (Tabelle 3).

#### Diskussion

Herausnehmbare Geräte wirken intermittierend. Diskontinuierliche Kräfte, die bei der Anwendung von herausnehmbaren Geräten auftreten, sind in Bezug auf die Entstehung von Wurzelresorptionen günstiger, da in den Behandlungspausen die Möglichkeit der Reparatur für den Zahn und den Zahnhalteapparat besteht [1]. Gleichzeitig wirken nur geringe Kräfte auf die Zähne ein, was nur zu einer strukturellen Adaptation der Apices führt.

Innerhalb der Gruppe der herausnehmbaren Apparaturen lassen sich Unterschiede im Aufbau und dadurch insbesondere im Hinblick auf eine dentale Verankerung erkennen. Der Aktivator sitzt als „Turngerät“ locker im Mund [5] und ist

**Table 3.** Mean tooth lengths differentiated into groups of teeth and treatment groups (activator vs. BJA, in mm, means and standard deviations [SD]) at T1 and T2, difference T2–T1, significances.**Table 3.** Durchschnittliche Zahnlangen differenziert nach Zahngruppen und Behandlungsgruppen (Aktivator vs. VDP [BJA], in mm, Mittelwerte und Standardabweichungen [SD]) zu den Zeitpunkten T1 und T2, Differenz T2–T1, Signifikanzen; UJ = Oberkiefer, LJ = Unterkiefer.

	n	T1 Mean/SD	T2 Mean/SD	T2–T1 Mean/SD	p value	Significances between groups
UJ 6 dv						
Activator group	40	18.95 ± 2.47	18.83 ± 2.36	–0.12 ± 2.01	0.7046	
BJA group	40	18.32 ± 2.12	18.64 ± 2.80	0.32 ± 1.81	0.2681	0.3031
UJ 6 mv						
Activator group	40	18.83 ± 2.26	19.30 ± 2.67	0.47 ± 2.40	0.2232	
BJA group	39	18.57 ± 1.96	19.24 ± 3.08	0.67 ± 2.23	0.0670	0.6996
UJ 5						
Activator group	31	28.38 ± 4.31	31.03 ± 5.05	2.65 ± 4.31	0.0018	
BJA group	28	28.02 ± 3.01	30.07 ± 4.07	1.97 ± 2.88	0.0012	0.4815
UJ 4						
Activator group	38	27.86 ± 4.78	30.49 ± 4.57	2.64 ± 5.12	0.0030	
BJA group	36	29.03 ± 3.75	29.62 ± 3.83	0.59 ± 3.40	0.3009	0.0478
LJ 6 d						
Activator group	40	18.97 ± 2.46	19.67 ± 2.38	0.70 ± 1.98	0.0304	
BJA group	40	18.53 ± 2.58	18.88 ± 2.37	0.35 ± 1.63	0.1880	0.3806
LJ 6 m						
Activator group	40	19.22 ± 2.44	19.71 ± 2.47	0.49 ± 2.02	0.1278	
BJA group	40	18.51 ± 2.06	18.88 ± 2.27	0.37 ± 1.47	0.1173	0.7537
LJ 5						
Activator group	30	27.33 ± 4.65	30.28 ± 4.73	2.95 ± 4.10	0.0005	
BJA group	32	27.38 ± 3.56	28.96 ± 4.02	1.59 ± 3.95	0.0298	0.1892
LJ 4						
Activator group	38	29.47 ± 5.37	32.38 ± 4.20	2.82 ± 4.44	0.0004	
BJA group	36	30.45 ± 2.70	32.33 ± 3.38	1.88 ± 4.48	0.0165	0.3701

Diff. T2–T1: positive values = length increase, negative values = length decrease; means and standard deviations (SD) at T1, T2 and diff. T2–T1 in mm; m = mesial, mv = mesio-vestibular, d = distal, dv = distovestibular.

group, which was also statistically significant ( $p = 0.003$ ) within the group (Table 3).

### Discussion

Removable appliances act intermittently. Forces are applied discontinuously when patients use removable appliances; these are preferable in terms of root resorption because the breaks in treatment give the tooth and periodontium time to recuperate [1]. At the same time, minimal forces act on the teeth, which only leads the apexes to structurally adapt.

Within the removable appliance group, there are differences in design, particularly with respect to dental anchorage. The activator sits loosely in the mouth and is designed as an “exercise device” [5] – it is not firmly anchored on the teeth. Being the classic functional appliance, the activator is primarily used to correct a dentofacial deformity. In the process, the muscle power arising because of the forced bite is transmitted via the acrylic base and wire elements through the dentition to the bone and sutures [5, 12]. The bite-jumping appliance is a combination of active plate and functional appliance. Its design, with acrylic bases in the maxilla and

somit nicht direkt an den Zähnen verankert. Als klassisches funktionskieferorthopädisches Gerät wird der Aktivator primär zur Korrektur einer Dysgnathie eingesetzt. Dabei wird die durch den erzwungenen Biss entstehende Muskelkraft über die Kunststoffbasis und die Drahtelemente über die Dentition auf den Knochen und die Suturen weitergeleitet [5, 12]. Die Vorschubdoppelplatte ist eine Kombination aus aktiver Platte und funktionskieferorthopädischem Gerät. Das Gerätedesign mit Kunststoffbasen sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer bedingt eine große Verankerungseinheit, in die alle durchgebrochenen und sich im Durchbruch befindlichen Zähne einbezogen sind. Die Vorschubdoppelplatte ermöglicht zudem Einzelzahnbewegungen [20], wobei lokal eine direkte Kraftereinwirkung erfolgt.

Herausnehmbare FKO-Apparaturen kommen bei jüngeren Patienten zur Anwendung. So waren die Patienten dieser Studie beim Beginn der FKO-Behandlung in der Aktivator-Gruppe und in der VDP-Gruppe durchschnittlich 11,7 Jahre alt. Bei vielen Patienten lag noch ein spätes Wechselgebiss vor. Einige Zähne befanden sich noch im Durchbruch; die Wurzelentwicklung war bei vielen Zähnen noch nicht



mandible, necessitates a large anchorage unit into which all erupted and erupting teeth are incorporated. The bite-jumping appliance also allows individual tooth movements [20] with forces being directly exerted locally.

Removable functional appliances are used in younger patients. For instance, our study patients' mean age was 11.7 years in the activator and BJA groups at the start of the functional treatment. Many still had a late mixed dentition. Some teeth were still erupting, and the root development of many teeth was still incomplete. As orthodontic treatment with removable appliances often starts at a stage of root development, this raises the question of whether the forces exerted have a negative impact on the roots' further development, or whether this early intervention encourages root resorption to occur. The "negative influence on root development" theory is not supported by the fact that immature, non-calcified tissues such as predentin and cementoid are more resistant to root resorption than their calcified forms [8, 14, 17]. Apically-open teeth also display greater biological tolerance in resorption terms. Even in the presence of strong forces, a widely open apical foramen ensures less disruption of blood flow in the pulp and hence less vascular compression, which can in turn be involved in the resorption process [14].

In the activator group, our study revealed significant length increases in the upper first and second premolars' roots, as well as in the lower first and second premolars and lower first molars' distal root. Visual examination of the root development stage based on the OPGs at T1 revealed that root growth was incomplete in 70% of the upper second premolars, 57.5% of the upper first premolars, 85% of the lower second premolars and 62.5% of the lower first premolars. These results show that treatment with an activator does not inhibit root development, when the roots are not yet fully formed at the start of such orthodontic treatment.

We observed significant length increases in the upper and lower second premolars and first premolars of the mandible in the BJA group. Again root development was not completed at the start of the treatment (in 74% of the upper second premolars, 87.5% of the lower second premolars and 72.5% of the lower first premolars). Treatment with the bite-jumping appliance had no negative effect on further root development in these teeth.

By contrast, there was a significant difference between the activator and the BJA groups in development of the upper first premolar root lengths. We noted an increase in length in both groups, but it was more pronounced in the activator group than in the BJA group, even though 70% of their root development was incomplete. This may have to do with differences in appliance design and the nature of the forces exerted. While the activator sits loosely in the mouth and there is no direct force application, the bite-jumping appliance is anchored right on the teeth. Compared to the activator, however, the bite-jumping appliance only appears to have a negative

vollständig abgeschlossen. Da die kieferorthopädische Behandlung mit herausnehmbaren Apparaturen oftmals in einem Stadium der Wurzelentwicklung einsetzt, stellt sich die Frage, ob die einwirkenden Kräfte einen negativen Effekt auf die weitere Entwicklung der Wurzel haben bzw. ob diese frühe Intervention die Entstehung von Wurzelresorptionen begünstigt. Gegen die These einer negativen Beeinflussung der Wurzelentwicklung spricht, dass unreife, unkalzifizierte Gewebe wie Prädentin und Zementoid gegen Wurzelresorptionen resistenter sind als ihre kalzifizierten Formen [8, 14, 17]. Apikal offene Zähne zeigen auch eine größere biologische Toleranz in Bezug auf Resorptionen. Dabei gewährleistet ein weit offenes Foramen apicale auch in Fällen starker Kräfte weniger Durchblutungsstörungen der Pulpa und somit eine geringere vasale Kompression, die wiederum an resorptiven Geschehen beteiligt sein kann [14].

Die vorliegende Untersuchung ergab in der Aktivator-Gruppe signifikante Längenzunahmen für die Wurzeln sowohl der oberen ersten und zweiten Prämolaren als auch für die unteren ersten und zweiten Prämolaren und die distale Wurzel der unteren ersten Molaren. Die visuelle Überprüfung des Entwicklungsstadiums der Wurzeln anhand der Panoramaschichtaufnahmen (bei T1) ergab, dass bei 70% der zweiten oberen Prämolaren, 57,5% der ersten oberen Prämolaren, 85% der zweiten unteren Prämolaren und 62,5% der ersten unteren Prämolaren das Wurzelwachstum noch nicht abgeschlossen war. Die Ergebnisse zeigen, dass die Behandlung mit einem Aktivator keinen negativen Einfluss im Sinne einer Entwicklungshemmung der Zahnwurzeln hat, die zu Beginn einer kieferorthopädischen Behandlung noch nicht vollständig ausgebildet sind.

Für die VDP-Gruppe ergaben sich signifikante Längenzunahmen für die oberen und unteren zweiten Prämolaren sowie für die ersten Prämolaren des Unterkiefers. Auch hier war zu Beginn der Behandlung (bei 74% der zweiten oberen Prämolaren, 87,5% der zweiten unteren Prämolaren und 72,5% der ersten unteren Prämolaren) die Wurzelentwicklung noch nicht abgeschlossen. Bei diesen Zähnen hatte die Behandlung mit der Vorschubdoppelplatte keinen negativen Effekt auf die weitere Wurzelentwicklung.

Signifikant ist hingegen der Unterschied in der Entwicklung der Wurzellängen des ersten oberen Prämolaren zwischen der Aktivator-Gruppe und der VDP-Gruppe. Zwar ist in beiden Gruppen eine Längenzunahme zu verzeichnen, jedoch ist diese in der Aktivator-Gruppe stärker ausgeprägt als in der VDP-Gruppe, obwohl auch hier die Wurzelentwicklung zu 70% noch nicht abgeschlossen war. Die Ursachen dafür könnten im unterschiedlichen Geräteaufbau und in der Art der Kräfteinwirkung liegen. Während der Aktivator locker im Mund sitzt und keine direkte Kraftapplikation erfolgt, ist die Vorschubdoppelplatte direkt an den Zähnen verankert. Im Vergleich zum Aktivator zeigt sich jedoch lediglich bei den ersten Prämolaren des Oberkiefers eine negative Beeinflussung der Wurzelentwicklung durch die Vor-

influence on maxillary first premolar root development. The cause, apart from the longer treatment period (14.4 months in the BJA group vs. 10.6 months in the activator group), might lie in the immediate vicinity of the maxillary first premolars, being anchoring teeth on the paired protrusive bars of the upper plate. In this context, the forces acting on the anchorage unit might cause the maxillary first premolar roots to become longer, but still fail to achieve their full ultimate length. Similar effects have been described in the literature. For instance, Nasiopoulos et al. [15] found a significant decrease in root surface areas during treatment with Herbst appliances and hence fixed functional appliances on premolars which were loaded with reciprocal forces for anchorage purposes. Teeth which have not yet completed root development do experience continued root lengthening during orthodontic treatment [14] but they do not attain their "normal" root length [13].

Regarding this study's methodology, we remind the reader that these orthopantomograms only allow two-dimensional imaging of three-dimensional tooth structures. Complex computer-aided imaging techniques may provide higher quality images, but they are not currently standard diagnostic methods because of their higher radiation dosages and expense [11, 16].

### Conclusions

As a result of treatment with removable functional appliances, we observed locally different trends in root length increase in the posterior region in late-mixed and young adult dentitions, hence at a stage when root development had not concluded. The root lengths increased during treatment with both an activator and a bite-jumping appliance, but the degree of increase in the maxillary first premolar area varied widely. The reason for this may be aside from a longer treatment time, that the bite-jumping appliance's anchorage right on the dentition, and the unmitigated force acting on the anchorage unit, particularly in the immediate vicinity of the protrusive bars in the maxilla, led certain tooth groups to fail to achieve their full potential length.

### References

1. Acar A, Canyürek Ü, Kocaaga M, et al. Continuous versus discontinuous force application and root resorption. *Angle Orthod* 1999;69:159–63.
2. Andresen V, Häupl K, Petrik L. Funktionskieferorthopädie. München: Barth, 1956.
3. Apajalahti S, Peltola JS. Apical root resorption after orthodontic treatment – a retrospective study. *Eur J Orthod* 2007;29:408–12.
4. Bishara SE, Jakobsen JR, Vorhies B, et al. Changes in dentofacial structures in untreated Class II division 1 and normal subjects: a longitudinal study. *Angle Orthod* 1997;67:55–66.

schubdoppelplatte. Ursächlich hierfür könnte neben der längeren Behandlungsdauer (14,4 Monate bei der VDP-Gruppe gegenüber 10,6 Monaten bei der Aktivatorgruppe) die unmittelbare Nähe der ersten Prämolaren des Oberkiefers als Verankerungszähne zu den paarigen Vorschubstegen der Oberkieferplatte sein. Hier könnten die auf die Verankerungseinheit wirkenden Kräfte dazu führen, dass die Wurzeln der ersten Prämolaren des Oberkiefers zwar an Länge zunehmen, aber möglicherweise ihre potentiell mögliche definitive Länge nicht erreichen. Ähnliche Effekte wurden in der Literatur beschrieben: So stellten Nasiopoulos et al. [15] während der Behandlung mit Herbst-Apparaturen und somit für festsitzende funktionskieferorthopädische Geräte an Prämolaren, die zu Verankerungszwecken mit reziprok auftretenden Kräften belastet wurden, eine signifikante Abnahme der Wurzeloberflächen fest. Zähne mit noch nicht abgeschlossener Wurzelentwicklung weisen unter einer kieferorthopädischen Behandlung zwar eine weitere Längenentwicklung der Wurzeln auf [14], erreichen jedoch ihre „normale“ Wurzellänge nicht [13].

Hinsichtlich der Methodik der vorliegenden Studie muss angemerkt werden, dass die verwendeten Panoramaschichtaufnahmen nur eine zweidimensionale Abbildung der dreidimensionalen Zahnstrukturen ermöglichen. Komplexe rechnergestützte bildgebende Verfahren könnten möglicherweise bessere Befunde liefern, sind aber aufgrund einer höheren Strahlendosis und aus Kostengründen [11, 16] zurzeit keine diagnostischen Standardverfahren.

### Schlussfolgerungen

Bei der Behandlung mit herausnehmbaren funktionskieferorthopädischen Apparaturen zeigten sich im späten Wechselgebiss bzw. im jungen adulten Gebiss und somit zu einem Zeitpunkt, in dem die Entwicklung der Wurzeln noch nicht vollständig abgeschlossen war, lokal unterschiedliche Tendenzen hinsichtlich der Wurzellängenzunahme im Seitenzahnbereich. Zwar nahmen sowohl unter der Behandlung mit einem Aktivator als auch mit einer Vorschubdoppelplatte die Längen der Wurzeln zu, doch war das Ausmaß im Bereich der ersten Prämolaren des Oberkiefers unterschiedlich stark ausgeprägt. Ursächlich könnte neben einer längeren Behandlungsdauer sein, dass die direkte Verankerung der Vorschubdoppelplatte an der Dentition und damit die unmittelbare Krafteinwirkung auf die Verankerungseinheit insbesondere in unmittelbarer Nähe der Vorschubstege des Oberkiefers dazu führen, dass einzelne Zahngruppen ihre vollständige potentiell mögliche Länge nicht erreichten.

5. Bishara SE, Ziaja RR. Functional appliances: a review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1989;95:250-9.
6. Blake M, Woodside DG, Pharoah MJ. A radiographic comparison of apical root resorption after orthodontic treatment with the edge-wise and Speed appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995;108:76-84.
7. Brezniak N, Wasserstein A. Root resorption after orthodontic treatment: Part II, literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993;103:138-46.
8. Chutimanutskul W, Darendeliler M, Shen G, et al. Changes in the physical properties of human premolar cementum after application of 4 weeks of controlled orthodontic forces. *Eur J Orthod* 2006;28:313-8.
9. Collett AR. Current concepts on functional appliances and mandibular growth stimulation. *Aust Dent J* 2004;45:173-8.
10. Cozza P, De Toffel L, Colagrossi S. Dentoskeletal effects and facial profile changes during activator therapy. *Eur J Orthod* 2004;26:293-302.
11. Elefteriadis JN, Athanasiou AE. Evaluation of impacted canines by means of computerized tomography. *Int J Adult Orthod Orthognath Surg* 1996;11:257-64.
12. Flores-Mir C, Major PW. A systematic review of cephalometric facial soft tissue changes with the activator and bionator appliances in Class II division 1 subjects. *Eur J Orthod* 2006;28:586-93.
13. Hendrix I, Carels C, Kuijpers-Jagtman AM, et al. A radiographic study of posterior root resorption in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1994;105:345-9.
14. Mavragani M, Boe OE, Wisth PJ, et al. Changes in root length during orthodontic treatment: advantages for immature teeth. *Eur J Orthod* 2002;24:91-7.
15. Nasiopoulos AT, Athanasiou AE, Papadopoulos MA, et al. Premolar root changes following treatment with the banded Herbst Appliance. *J Orofac Orthop* 2006;67:261-71.
16. Papadopoulos MA, Christou PK, Athanasiou AE, et al. Three-dimensional craniofacial reconstruction imaging. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2002;93:382-93.
17. Sameshima GT, Sinclair PM. Predicting and preventing root resorption: Part I, diagnostic factors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001;119:505-10.
18. Sander FG. Functional processes when wearing the SII appliance during the day. *J Orofac Orthop* 2001;62:264-74.
19. Sander FG, Lassak C. Die Beeinflussung des Wachstums mit der Vorschubdoppelplatte im Vergleich zu anderen funktionskieferorthopädischen Geräten. *Fortschr Kieferorthop* 1990;51:155-64.
20. Sander FG, Wichelhaus A. Skelettale und dentale Veränderungen bei der Anwendung der Vorschubdoppelplatte. Ein kephalometrischer Vergleich zu einer unbehandelten Klasse-II-Gruppe. *Fortschr Kieferorthop* 1995;56:127-39.
21. Schwarz AM. *Lehrgang der Gebißregelung*. München: Urban & Schwarzenberg, 1951.
22. Schwarze CW. Aktivator. In: Miethke RR, Drescher D, Hrsg. *Kleines Lehrbuch der Angle-Klasse II,1 unter besonderer Berücksichtigung der Behandlung*. Berlin: Quintessenz, 1996:121-33.
23. Türkkahraman H, Sayin MÖ. Effects of activator and activator headgear treatment: Comparison with untreated Class II subjects. *Eur J Orthod* 2006;28:27-34.

#### Correspondence Address

Prof. Dr. Gero Kinzinger  
Department of Orthodontics  
Saarland University  
Kirrberger Str. 1  
66421 Homburg/Saar  
Germany  
E-mail: kinzinger@kfo-homburg.de