

Cephalometric Changes in the Treatment of Class III Using the Fränkel Appliance*

Kephalometrische Veränderungen bei der Behandlung von Klasse III mit dem Fränkel-Gerät*

Friedrich Falck, Kristina Zimmermann-Menzel¹

Abstract

Aim: In this retrospective clinical study, we aimed to evaluate skeletal changes following treatment of Class III malocclusion by means of the Function Regulator (FR-3) appliance.

Material and Methods: The group of patients we treated with the FR-3 exclusively consisted of 56 subjects (20 boys and 36 girls). Fifteen subjects (7 boys and 8 girls) of approximately the same age and presenting almost identical characteristics of a Class III malocclusion of skeletal etiology served as a control group (between the ages of 7 and 15 years). Lateral cephalograms were compared using the occipital reference structures as proposed by Fränkel.

Results: Cephalometric analysis showed that maxillary landmarks (point A, nasospinale), and the upper incisor (root included) did move significantly farther forward in the treated group than in the control group ($p < 0.01$). We also found that the gonial angle decreased by 7.17° in the FR-3 group, as opposed to 2.07° in the untreated group ($p < 0.001$). No significant differences were noted in mandibular-length growth (Ar-Pog, Ar-Go, Go-Pog).

Conclusion: According to these study results, FR-3 treatment has an obvious effect on maxillary development, and affects the shape and, to a certain degree, the position of the mandible.

Key Words: Class III treatment · Function Regulator appliance · Cephalometric analysis

Zusammenfassung

Ziel: Mit dieser retrospektiven klinischen Studie sollten skelettale Veränderungen bei der Behandlung der Klasse III mit dem Funktionsregler (FR-3) festgestellt werden.

Material und Methodik: Die ausschließlich mit FR-3 behandelte Gruppe bestand aus 56 Kindern (20 Jungen und 36 Mädchen). Als Kontrollgruppe vom etwa 8. bis 16. Lebensjahr dienten 15 Kinder (7 Jungen und 8 Mädchen) mit nahezu gleichem Alter und fast gleichem skelettalen Aufbau der Klasse III. Laterale Fernröntgenaufnahmen wurden unter Benutzung der von Fränkel vorgeschlagenen okzipitalen Referenzstrukturen miteinander verglichen.

Ergebnisse: Die Analyse der Fernröntgenaufnahmen zeigte, dass sich die maxillären Messpunkte (A-Punkt, Nasospinale) und der obere Schneidezahn einschließlich Wurzel in der behandelten Gruppe signifikant weiter nach vorn bewegten als in der Kontrollgruppe ($p < 0,01$). Des Weiteren verringerte sich der Gonionwinkel in der FR-3-Gruppe um $7,17^\circ$ im Gegensatz zu $2,07^\circ$ in der unbehandelten Gruppe ($p < 0,001$). Keine signifikanten Unterschiede konnten in der Zunahme der Länge des Unterkiefers (Ar-Pog, Ar-Go, Go-Pog) festgestellt werden.

Schlussfolgerung: Nach den Ergebnissen dieser Studie hat die FR-3-Behandlung einen deutlichen Effekt auf die maxilläre Entwicklung und beeinflusst die Form und zu einem gewissen Grad die Position des Unterkiefers.

Schlüsselwörter: Klasse-III-Behandlung · Funktionsregler · Fernröntgenanalyse

¹Former Department of Orthodontics, Heinrich Braun Hospital, Zwickau, Germany.

*In honor of Prof. Dr. Dr. h. c. Rolf Fränkel on the occasion of his 100th birthday on March 29, 2008.

*Prof. Dr. Dr. h. c. Rolf Fränkel aus Anlass seines 100. Geburtstages am 29. März 2008.

Received: May 10, 2007; accepted: October 23, 2007

J Orofac Orthop 2008;69:99–109

DOI 10.1007/s00056-008-0716-7

Introduction

The clinical manifestation of the Class III skeletal pattern can result from different types of deviations from the normal skeletal form: size or positional relationship of the cranial base [20, 29, 30, 34], nasomaxillary complex [21, 24, 32, 37], or mandibular region [3, 17, 25, 33].

Fränkel [10, 12] and Fränkel & Fränkel [16] reported that impeded maxillary development is associated with structural and postural deviations of the external soft tissue capsule. Correction of a Class III malocclusion, therefore, involves the therapeutic principle of the Fränkel appliance (Figure 1), namely the elimination of surrounding muscle forces which restrict forward maxillary development (Figure 2). Mühlberg et al. [28] and Falck [7] demonstrated that the buccal and lip shields exert tension on the periosteal attachments at the bottom of the maxillary vestibular sulcus to stimulate bone apposition. The vestibular shields and labial bow fit closely in the mandible, so that the expanded perioral muscles push the appliance in a posterior direction, inhibiting mandibular development [15].

There are few studies on the effect of FR treatment in Class III malocclusion. Fränkel [10] compared 74 Class-III patients treated with the FR-3 over 46 months, with 58 Class-II patients treated with the FR-1 over 30 months. He noted about 44% more forward movement of point A in the Class-III than Class-II patients per month. The pogonion's forward movement in the Class-III was only 78% of that in the Class-II patients.

In a study of twelve Class-III patients, Robertson [31] showed that correction of negative overjet with the FR-3 was largely achieved by lower incisor retroclination. Loh & Kerr [26] analyzed 20 individuals with Class III malocclusion treated with the FR-3 between the ages of 10 to 13 years. The change in the mean overjet from -2.9 mm to +0.7 mm was effected by incisor tipping and backward rotation or repositioning of the mandible, accompanied by increasing facial height. Baik et al. [1] reported similar results.

McNamara & Hüge [27] indicated in three case reports that the FR-3 has different effects on the craniofacial skeleton. They observed forward movement of the maxillary dentition in all three patients and as Loh & Kerr [26] also reported, a redirection of mandibular growth in a vertical direction. An appreciable effect on maxillary skeletal structures has not been observed so far [22, 23, 35].

The aim of this study was to evaluate the effects of the Function Regulator (FR-3) on Class III children and to compare the changes in the maxilla, mandible, and upper incisors with those of untreated Class III children.

Materials and Methods

We chose for this study the serial lateral cephalograms of 71 children with Class III malocclusions in early mixed dentition – they had been patients at the former Department of Orthodontics of the Heinrich Braun Hospital in Zwickau,

Einleitung

Die klinische Erscheinung einer skelettalen Klasse III kann von verschiedenen Abweichungen in Form, Größe oder Lagebeziehungen der kranialen Basis [20, 29, 30, 34], des nasomaxillären Bereichs [21, 24, 32, 37] oder der mandibulären Region [3, 17, 25, 33] herrühren.

Eine maxilläre Unterentwicklung steht nach Meinung von Fränkel [10, 12] und Fränkel & Fränkel [16] mit strukturellen und funktionellen Abweichungen der äußeren Weichteilkapsel in ursächlichem Zusammenhang. Das Wirkungsprinzip der Fränkel-Apparaturen bei der Korrektur von Klasse-III-Anomalien (Abbildung 1) beinhaltet deshalb die Ausschaltung von äußeren Muskelkräften, die die anteriore maxilläre Entwicklung hemmen (Abbildung 2). Außerdem üben Lippenpelotten und Bukkalschilde in der Tiefe der

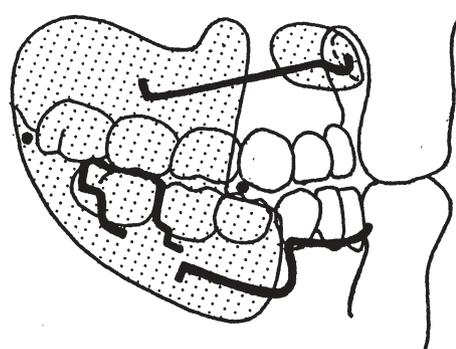


Figure 1. The Fränkel FR-3 appliance.

Abbildung 1. Das FR-3-Gerät von Fränkel.

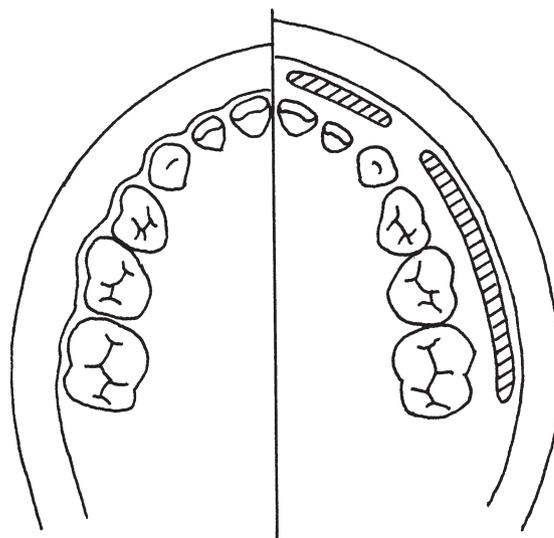


Figure 2. Stretching of the muscles encircling the maxilla by the FR-3's lip pads and buccal shields (right).

Abbildung 2. Dehnung der den Oberkiefer umgebenden Muskeln durch Lippenpelotten und Bukkalschilde des FR-3 (rechts).

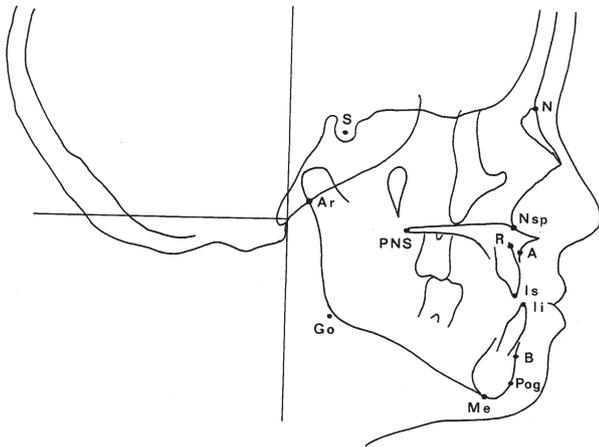


Figure 3. Location of cephalometric landmarks taken on x-y coordinates of the occipital reference system.

Abbildung 3. Lage der benutzten kephalometrischen Messpunkte mit x-y-Koordinaten des okzipitalen Referenzsystems.

Germany. Class III malocclusions were manifested as an Angle Class-III molar relationship and an overjet of ≤ 0 mm of the upper and lower incisors. Fifty-six subjects were treated exclusively with the Fränkel FR-3 appliance type, and 15 children served as a control group. The children in the FR-3 group were instructed to wear the appliance full-time for 12–24 months, and thereafter while sleeping and 4–5 hours during the day for another 2–3 years. The subjects' gender distribution, age at baseline and the interval between images are illustrated in Table 1.

Each cephalogram was taken in centric occlusion at a distance from source to film of 3.75 m. The radiographs were analyzed using Fränkel's method [9, 11], with the ventrocaudal contour of the occipital bone's basal part and internal occipital ridge as anatomic reference (Figure 3). These structures are stable between the ages of 6 and 14 years and permit precise superimposition of the tracings of the later cephalograms [8]. The occipital coordinate system's horizontal axis was oriented to the earth's surface. We also took several angular and linear measurements.

We used the nasospinale landmark (Nsp) as proposed by Korkhaus to determine the nasal line [24]. The anterior

Umschlagfalte des Vestibulums eine Zugspannung über das Periost aus, um Knochenapposition, wie von Mühlberg et al. [28] und Falck [7] gezeigt, zu stimulieren. Im Unterkiefer liegen Vestibulärschilde und Labialbogen eng an. So wird durch die Dehnung der perioralen Muskeln eine nach dorsal gerichtete Kraft auf den Unterkiefer übertragen, um die mandibuläre Entwicklung zu hemmen [15].

Es gibt nur wenige Untersuchungen zur Wirkung der Behandlung mit dem Funktionsregler bei Klasse III. Fränkel [10] verglich 74 Klasse-III-Fälle, die mit FR-3 über 46 Monate behandelt wurden, mit 58 Klasse-II-Fällen, behandelt mit FR-1 über 30 Monate. Er stellte bei den Klasse-III-Fällen eine um 44% größere Vorwärtsbewegung des A-Punktes pro Monat fest. Die Vorwärtsbewegung des Pogonions betrug nur 78% derjenigen bei Klasse II.

Robertson [31] untersuchte zwölf mit FR-3 behandelte Fälle und stellte fest, dass die Korrektur der negativen Schneidezahnstufe hauptsächlich durch eine Kippung der unteren Inzisivi erreicht wurde. Loh & Kerr [26] analysierten 20 mit FR-3 behandelte Klasse-III-Fälle vom 11. bis zum 14. Lebensjahr. Die Veränderung der Schneidezahnstufe von $-2,9$ mm auf $+0,7$ mm wurde durch Kippung der Schneidezähne und Rückwärtsrotation oder Rückwärtsverlagerung des Unterkiefers erzielt, welche von einer Zunahme der Gesichtshöhe begleitet wurde. Ähnliche Ergebnisse stammen von Baik et al. [1].

Nach einem Bericht von McNamara & Hugu [27] über drei behandelte Fälle hat der FR-3 verschiedene Auswirkungen auf das Skelett. Bei allen drei Patienten kam es zu einer Vorwärtsbewegung der maxillären Zähne und, wie auch von Loh & Kerr [26] berichtet, zu einer Ablenkung des mandibulären Wachstums in vertikale Richtung. Ein bemerkenswerter Effekt auf maxilläre skelettale Strukturen konnte nicht nachgewiesen werden [22, 23, 35].

Ziel dieser Studie war es, die Auswirkungen des Funktionsreglers (FR-3) an Kindern mit Klasse III zu untersuchen. Dabei wurden die Veränderungen im Ober- und Unterkiefer und bei den oberen Schneidezähnen mit denen bei unbehandelten Kindern mit Klasse III verglichen.

Material und Methodik

Für die vorliegende Studie wurden die Serien lateraler Fernröntgenaufnahmen von 71 Kindern mit Klasse III in der frühen Wechselgebissperiode des ehemaligen Kieferorthopädischen Instituts am Heinrich-Braun-Krankenhaus, Zwickau,

Table 1. Gender distribution and ages (in years) of the subjects at baseline and the length of the period under study in the untreated and FR-3 groups.

Tabelle 1. Geschlechterverteilung und Alter der Probanden (Angabe in Jahren) zu Untersuchungsbeginn sowie Dauer des Beobachtungszeitraumes für die unbehandelte Gruppe und die FR-3-Gruppe.

Group	Male	Female	Mean age (yrs)	Range	Time interval (yrs)	Range
FR-3 group	20	36	7.6	5.0–11.3	8.2	4.4–12.6
Untreated group	7	8	8.0	5.6–10.0	8.0	4.1–15.9

Table 2. Pretreatment comparison of landmarks between the untreated (n = 15) and FR-3 group (n = 56) by t test.

Tabelle 2. Vergleich der Anfangswerte von Messpunkten der unbehandelten Gruppe (n = 15) und FR-3-Gruppe (n = 56) mit dem t-Test.

Variables (mm)	Untreated group		FR-3 group		Significance p
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	
Nasion (N)					
horizontal	80.87	5.98	78.23	5.18	n.s.
vertical	41.23	5.11	40.86	7.03	n.s.
Sella (S)					
horizontal	20.23	4.17	18.15	3.41	< 0.05
vertical	32.13	2.39	30.56	3.28	n.a.
Articulare (Ar)					
horizontal	8.5	1.99	7.06	2.15	< 0.05
vertical	7.77	1.93	6.51	1.89	< 0.05
A-point (A)					
horizontal	78.13	4.83	76.49	4.22	n.s.
vertical	-9.4	6.22	-7.09	7.52	n.s.
Nasospinale (Nsp)					
horizontal	75.43	5.09	73.34	4.19	n.s.
vertical	-1.33	5.20	-0.53	7.15	n.s.
Posterior nasal spine (PNS)					
horizontal	38.13	4.16	36.66	3.01	n.s.
vertical	-3.43	3.36	-2.83	4.14	n.s.
Radix point (R)					
horizontal	74.73	5.24	72.70	4.39	n.s.
vertical	-7.27	7.41	-3.47	7.64	n.s.
Incision superior (Is)					
horizontal	78.53	5.57	74.74	5.25	< 0.05
vertical	-25.43	9.17	-19.61	9.44	< 0.05
Incision inferior (Ii)					
horizontal	79.03	4.83	77.49	5.68	n.s.
vertical	-26.33	7.49	-24.69	7.91	n.s.
B-point (B)					
horizontal	74.6	4.55	74.49	5.93	n.s.
vertical	-44.17	7.79	-40.95	8.00	n.s.
Pogonion (Pog)					
horizontal	78.63	5.08	72.93	6.64	n.s.
vertical	-57.17	7.84	-53.46	7.27	n.s.
Gonion (Go)					
horizontal	16.43	3.47	15.70	4.65	n.s.
vertical	-28.6	3.58	-28.42	4.71	n.s.

nasal spine landmark is not always easy to identify, nor does it consistently represent the maxillary base.

To measure positional changes in the maxillary incisor, we referred to the R landmark on the labial contour of the growing root. The position of this point as defined in the initial cephalogram was transferred to the final cephalogram by maintaining the distance (mean = 17 mm) between the incision superior (Is) landmark and root landmark (R).

Cephalograms of 21 randomly-selected patients were measured twice on different days. Mean error was calculated according to:

ausgewählt. Es bestand eine Klasse-III-Verzahnung an den Molaren und eine Stufe von ≤ 0 mm an den Schneidezähnen. Ausschließlich mit dem Funktionsregler Typ 3 nach Fränkel wurden 56 Patienten behandelt, 15 Kinder dienten als Kontrollgruppe. In der FR-3-Gruppe sollten die Geräte für 12–24 Monate immer getragen werden, dann für weitere 2–3 Jahre beim Schlafen und 4–5 Stunden am Tag. Geschlechterverteilung, Alter bei Untersuchungsbeginn und Zeitintervall zwischen den Aufnahmen sind in Tabelle 1 wiedergegeben.

Die Fernröntgenaufnahmen erfolgten bei einer Fokus-Film-Distanz von 3,75 m in zentrischer Okklusion. Die Auswertung der Aufnahmen erfolgte nach der von Fränkel [9, 11] angegebenen Methode, wobei die ventrokaudale Kontur des unteren Teils des Os occipitale und die Crista occipitalis als Referenzstrukturen benutzt wurden (Abbildung 3). Diese Strukturen sind zwischen dem 7. und 15. Lebensjahr stabil und erlauben eine präzise Überlagerung der Aufnahmen [8]. Die horizontale Achse des okzipitalen Koordinatensystems war nach der Erdoberfläche ausgerichtet. Darüber hinaus wurden verschiedene Winkel- und lineare Messungen durchgeführt.

Zur Bestimmung der Oberkieferbasis wurde der von Korkhaus [24] vorgeschlagene Punkt Nasospinale (Nsp) benutzt. Die Spina nasalis anterior ist nicht immer leicht zu bestimmen und ist nicht immer repräsentativ für die Oberkieferbasis.

Um Lageveränderungen des maxillären Schneidezahnes zu messen, wurde an der labialen Kontur der sich bildenden Wurzel ein Messpunkt R benutzt. Zur Bestimmung des Punktes auf der Folgeaufnahme wurde die gleiche Entfernung (im Durchschnitt 17 mm) von der Schneidekante (Is) gewählt.

Von 21 zufällig ausgewählten Patienten wurden die Aufnahmen an verschiedenen Tagen noch einmal vermessen. Der Messfehler wurde nach der Formel

$$SD \text{ error} = \sqrt{\frac{\sum d^2}{2N}}$$

berechnet. Dabei bedeutet d die Differenzen zwischen den beiden Messungen und N die Anzahl der Doppelbestimmungen. Der Messfehler bei der Bestimmung der Messpunkte lag zwischen 0,16 mm (Articulare horizontal) und 0,45 mm (unterer Schneidezahn horizontal).

Die statistische Bearbeitung erfolgte nach Berechnung von Mittelwerten und Standardabweichungen mit dem t-Test zur Bestimmung signifikanter Unterschiede auf dem Niveau $p < 0,05$, $p < 0,01$ und $p < 0,001$.

Ergebnisse

Vergleich vor der Behandlung

Mit Ausnahme der Bezugspunkte Sella, Articulare und obere Schneidezähne bestanden zwischen den Gruppen in der Lage der Messpunkte keine signifikanten Unterschiede (Tabelle 2). In der FR-3-Gruppe war die Lage der genann-

$$SD \text{ error} = \sqrt{\frac{\sum d^2}{2N}}$$

whereby d is the difference between the first and second measurements and N is the number of double determinations. The measurement error of landmark localization was between 0.16 mm (articulare horizontal) and 0.45 mm (incision inferius horizontal).

Statistical analysis was done by calculating the means and standard deviations, and levels of statistical significance at $p < 0.05$, $p < 0.01$, and $p < 0.001$ were determined with paired-t tests.

Results

Pretreatment Comparison

Except for the position of sella, articulare and maxillary incisor, we noted no significant intergroup differences in the landmarks' positional relationships (Table 2). The horizontal position of sella, articulare, and maxillary incisor in the FR-3 group was more posterior than in the untreated group. The vertical position also was higher in the FR-3 group at the articulare and maxillary incisor. (Landmarks below the horizontal axis of the occipitale coordinate system were denoted by a minus sign.) All these differences were significant at the 5% level.

No significant intergroup differences were found in the lengths of the mandible or the maxilla, or in any angular measurements (Tables 3 and 4). The material used for this study was thus nearly uniform in nature and is therefore valid for statistical comparison of the changes that occurred in both groups during the period under study.

Positional Changes in Landmarks in the Upper Craniofacial Region (Table 5)

The distance between the vertical axis of the occipital reference system and nasospinale, point A, incision superius and root landmark R increased significantly more in the FR-3 group ($p < 0.01$) than in the untreated group (mean 2–4 mm). The vertical changes revealed no significant differences between the groups. Changes in landmarks downwards or backwards were denoted by a minus sign.

Positional Changes in Mandibular Landmarks (Table 6)

There was no significant difference between the untreated group and FR-3 group in terms of positional changes in the pogonion, point B and menton. The landmark incision inferius moved farther downward in the untreated group than in the FR-3 group ($p < 0.05$).

The articulare's horizontal position remained practically unchanged in the untreated group, whereas the FR-3 group revealed significant backward movement (mean = 1.07 mm). There was also a significant difference ($p < 0.05$) regarding the horizontal change in the gonion landmark, which moved

Table 3. Pretreatment comparison of linear measurements between the untreated (n = 15) and FR-3 group (n = 56) by t test.

Tabelle 3. Vergleich der anfänglichen Strecken von unbehandelter Gruppe (n = 15) und FR-3-Gruppe (n = 56) mit dem t-Test.

Variables (mm)	Untreated group		FR-3 group		Significance p
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	
Overall mandibular length (Ar – Pog)	91.63	4.61	89.11	4.52	n.s.
Ramus length (Ar – Go)	37.8	3.73	36.58	3.69	n.s.
Corpus length (Go – Pog)	63.7	3.89	61.62	3.90	n.s.
Maxillary length (A – PNS)	39.67	2.06	39.41	2.26	n.s.

Table 4. Pretreatment comparison of angular values between the untreated (n = 15) and FR-3 group (n = 56) by t test.

Tabelle 4. Vergleich der anfänglichen Winkelwerte von unbehandelter Gruppe (n = 15) und FR-3-Gruppe (n = 56) mit dem t-Test.

Variables (°)	Untreated group		FR-3 group		Significance p
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	
SNA	78.53	3.47	78.40	3.08	n.s.
SNB	77.7	3.45	77.65	3.01	n.s.
ANB	0.97	1.73	0.75	2.05	n.s.
NSL / NL	6.17	3.25	6.62	3.19	n.s.
NSL / ML	40.33	4.68	38.48	3.99	n.s.
NL / ML	34.17	4.95	31.87	5.07	n.s.
Me-Go / Go-Ar	134.5	5.58	132.79	5.09	n.s.

ten Punkte weiter posterior als in der unbehandelten Gruppe. Bei Articulare und oberem Schneidezahn war in der FR-3-Gruppe die Position auch weiter superior. (Messpunkte unterhalb der horizontalen Achse des okzipitalen Referenzsystems wurden mit Minus gekennzeichnet.) Alle diese Differenzen waren auf dem 5%-Niveau signifikant.

Keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen konnten in den Längen von Ober- und Unterkiefer und bei den angulären Messungen festgestellt werden (Tabellen 3 und 4). Es bestand somit in beiden Gruppen eine fast gleiche Ausgangslage und damit eine gute Voraussetzung für einen Vergleich der Veränderungen, die im Untersuchungszeitraum eintraten.

Lageänderungen der Messpunkte in der oberen kraniofazialen Region (Tabelle 5)

Die Distanz zwischen der vertikalen Achse des okzipitalen Referenzsystems und den Messpunkten Nasospinale, A-Punkt, Schneidezahnspitze und Wurzelpunkt R vergrößerte sich in der FR-Gruppe signifikant mehr ($p < 0,01$) als

Table 5. Positional changes (mm) in landmarks in the upper craniofacial region relative to the coordinates of the occipital reference system in the untreated (n = 15) and FR-3 group (n = 56) and comparison of differences between the groups by t test.

Table 5. Lageveränderungen (mm) von Messpunkten in der oberen kraniofazialen Region relativ zu den Koordinaten des okzipitalen Referenzsystems in der unbehandelten Gruppe (n = 15) und in der FR-3-Gruppe (n = 56) und Vergleich der Differenzen zwischen den Gruppen mit dem t-Test.

Variables (mm)	Untreated group		FR-3 group		Significance p
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	
Nasion (N)					
horizontal	6.0	1.76	6.99	2.28	n.s.
vertical	4.97	2.85	6.19	2.88	n.s.
Sella (S)					
horizontal	1.6	1.74	1.95	1.29	n.s.
vertical	4.2	1.71	4.30	2.11	n.s.
Nasospinale (Nsp)					
horizontal	6.70	1.81	8.69	2.53	< 0.01
vertical	-1.90	3.65	-2.40	2.65	n.s.
Posterior nasal spine (PNS)					
horizontal	3.90	2.01	4.64	1.75	n.s.
vertical	-1.73	1.92	-1.82	1.91	n.s.
A-point (A)					
horizontal	6.90	2.19	9.02	2.90	< 0.01
vertical	-3.37	3.97	-2.62	3.17	n.s.
Incision superior (Is)					
horizontal	10.13	3.36	14.14	4.65	< 0.01
vertical	-6.07	4.43	-9.68	6.51	n.s.
Root landmark (R)					
horizontal	8.77	3.09	12.19	3.90	< 0.01
vertical	-6.40	4.22	-9.40	6.28	n.s.

forward by a mean of 2.83 mm in the untreated group and only 0.66 mm in the FR-3 group.

Dimensional Changes (Table 7)

We observed no significant differences with regard to dimensional changes in mandibular length. There were nearly the same increments in overall length (Ar-Pog), ramus (Ar-Go), and corpus length (Go-Pog) in both the untreated and FR-3 group.

Maxillary length in the FR-3 group (point A – PNS) increased by 4.4 mm, and by 2.9 mm on average in the untreated group. This difference was statistically significant (p < 0.05).

Angle Changes (Table 8)

The SNA angle increased slightly, showing no statistical difference between groups. The SNB angle increased by 3.6° in the untreated group versus 1.61° in the FR-3 group. The ANB angle decreased by 2.37° in the untreated group and 0.13° in the FR-3 group. These differences were statistically significant (p < 0.01 and p < 0.001, respectively).

Table 6. Positional changes (mm) of mandibular landmarks relative to the coordinates of the occipital reference system in the untreated group (n = 15) and the FR-3 group (n = 56) and a comparison of the difference between the groups by t test.

Table 6. Lageveränderungen (mm) mandibulärer Messpunkte relativ zu den Koordinaten des okzipitalen Referenzsystems in der unbehandelten Gruppe (n = 15) und in der FR-3-Gruppe (n = 56) und Vergleich der Differenzen zwischen den Gruppen mit dem t-Test.

Variables (mm)	Untreated group		FR-3 group		Significance p
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	
Pogonion (Pog)					
horizontal	15.0	4.26	14.30	5.26	n.s.
vertical	-9.9	6.34	-8.36	4.98	n.s.
B-point (B)					
horizontal	12.0	3.26	10.30	4.29	n.s.
vertical	-7.0	5.68	-4.66	4.89	n.s.
Menton (Me)					
horizontal	14.63	4.19	14.20	5.82	n.s.
vertical	-11.73	5.46	-9.41	4.69	n.s.
Incision inferior (Ii)					
horizontal	10.27	2.93	8.42	4.29	n.s.
vertical	-5.57	4.85	-2.53	3.60	< 0.05
Gonion (Go)					
horizontal	2.83	2.80	0.66	3.12	< 0.05
vertical	-9.33	3.01	-10.11	3.77	n.s.
Articulare (Ar)					
horizontal	-0.07	0.98	-1.07	1.60	< 0.01
vertical	-0.5	1.02	-0.96	1.09	n.s.

in der unbehandelten Gruppe (Durchschnitt 2–4 mm). Die vertikalen Veränderungen waren zwischen den beiden Gruppen nicht signifikant unterschiedlich. Veränderungen nach unten oder hinten sind mit einem Minuszeichen versehen.

Veränderungen der Messpunkte im mandibulären Bereich (Tabelle 6)

Es traten keine signifikanten Differenzen zwischen unbehandelter und FR-3-Gruppe für die Bezugspunkte Pogonion, B-Punkt und Menton auf. In der unbehandelten Gruppe veränderte der Schneidezahn seine Position weiter nach unten als in der FR-Gruppe (p < 0,05).

Die horizontale Position des Artikulare blieb in der unbehandelten Gruppe nahezu unverändert, während eine signifikante Bewegung nach hinten (Durchschnittswert 1,07 mm) in der FR-3-Gruppe eintrat. Ein signifikanter Unterschied (p < 0,05) trat auch in der horizontalen Bewegung des Gonion ein, das sich in der unbehandelten Gruppe um durchschnittlich 2,83 mm nach vorn bewegte, in der FR-Gruppe nur um 0,66 mm.

Table 7. Dimensional changes (mm) in the untreated (n = 15) and FR-3 group (n = 56) and comparison between the groups by t test.

Table 7. Streckenveränderungen (mm) in der unbehandelten Gruppe (n = 15) und in der FR-3-Gruppe (n = 56) und Vergleich der Gruppen mit dem t-Test.

Variables (mm)	Untreated group		FR-3 group		Significance p
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	
Overall mandibular length (Ar – Pog)	18.87	4.18	17.25	4.51	n.s.
Ramus length (Ar – Go)	8.9	2.70	9.20	3.38	n.s.
Corpus length (Go – Pog)	11.97	2.71	12.81	4.25	n.s.
Maxillary length (A – PNS)	2.93	1.76	4.40	2.09	< 0.05

The NSL-NL angle between the anterior cranial base (N-S) and maxillary plane (Nsp-PNS) increased by a mean of 1.4° in the FR-3 group while remaining unchanged in the untreated group. That difference was statistically significant (p < 0.05). The NSL-ML, NL-ML and Me-Go/Go-Ar angles in both groups decreased, with the FR-3 group demonstrating significantly greater values (p < 0.05). The difference of 5° for the gonial angle (Me-Go/Go-Ar) was significant at the 0.001% level.

Profilograms

Figures 4 and 5 illustrate the differences in mean landmark changes of the two groups originating from the occipital point for the 8-year interval.

Discussion

It is worth noting that with the FR-3, neither acrylic nor wire (except for its protrusion bow) come into direct contact with the upper jaw. The labial tipping of the incisors with a protrusion bow is associated with the tendency of point A to move backward [19, 28]. Thus, the significantly greater forward movement of maxillary basal landmarks (point A, Nsp) in the treated group cannot be due to the FR-3's direct mechanical effect. According to Fränkel [13], the increased forward movement of the maxillary base we observed here may be interpreted as the result of an expanding effect on the soft tissue capsule encircling the maxilla, and of the tension produced at the sulci by the FR-3's lip pads and vestibular shields. But it is only possible to stretch the adjacent periosteum to stimulate bone apposition on the labial alveolar surface when the patient closes his lips. Our patients thus had to practice lip-sealing exercises to ensure treatment success. Whether a change from mouth to nasal breathing may also cause increased maxillary development was not verified in this study.

Table 8. Angular changes (degrees) in the untreated (n = 15) and FR-3 group (n = 56) and comparison of the difference between the groups by t test.

Table 8. Veränderungen von Winkelwerten (Grad) in der unbehandelten Gruppe (n = 15) und in der FR-3-Gruppe (n = 56) und Vergleich der Differenzen zwischen den Gruppen mit dem t-Test.

Variables (°)	Untreated group		FR-3 group		Significance p
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	
SNA	1.3	2.07	1.49	1.79	n.s.
SNB	3.6	1.62	1.61	2.37	< 0.01
ANB	-2.37	2.01	-0.13	1.96	< 0.001
NSL / NL	0.0	2.10	1.41	2.23	< 0.05
NSL / ML	-3.17	3.19	-5.12	3.34	< 0.05
NL / ML	-3.17	3.85	-6.54	3.83	< 0.01
Me-Go / Go-Ar	-2.07	5.48	-7.17	4.05	< 0.001

Streckenveränderungen (Tabelle 7)

Keine signifikanten Unterschiede konnten bei den Längenveränderungen des Unterkiefers beobachtet werden. In beiden Gruppen traten nahezu die gleichen Zunahmen der Gesamtlänge (Ar-Pog), der Ramuslänge (Ar-Go) und Korpuslänge (Go-Pog) auf.

Die Oberkieferlänge (A-Punkt-PNS) nahm in der FR-3-Gruppe um 4,4 mm zu, in der unbehandelten Gruppe um durchschnittlich 2,9 mm. Diese Differenz war statistisch signifikant (p < 0,05).

Winkelveränderungen (Tabelle 8)

Der SNA-Winkel vergrößerte sich geringfügig, zwischen den beiden Gruppen gab es keinen signifikanten Unterschied. Der SNB-Winkel nahm in der unbehandelten Gruppe um 3,6° zu, in der FR-3-Gruppe um 1,61°. Der ANB-Winkel verringerte sich in der unbehandelten Gruppe um 2,37°, in der FR-3-Gruppe um 0,13°. Diese Differenzen waren statistisch signifikant (p < 0,01 bzw. p < 0,001).

Der Winkel NSL-NL zwischen vorderer Schädelbasis (N-S) und Oberkiefergrundlinie (Nsp-PNS) vergrößerte sich um durchschnittlich 1,4° in der FR-3-Gruppe, während er in der unbehandelten Gruppe gleich blieb. Der Unterschied war signifikant (p < 0,05). In beiden Gruppen verringerten sich die Winkel NSL-ML, NL-ML und Me-Go/Go-Ar, wobei die Werte in der FR-3-Gruppe signifikant größer waren. Die Differenz von 5 Grad für den Gonionwinkel (Me-Go/Go-Ar) war signifikant auf dem 0,001%-Niveau.

Durchschnittspolygone

In den Abbildungen 4 und 5 sind unter Berücksichtigung der okzipitalen Referenzstrukturen die durchschnittlichen Veränderungen im 8-Jahres-Überwachungszeitraum für die FR-3-Gruppe und für die unbehandelte Gruppe dargestellt.

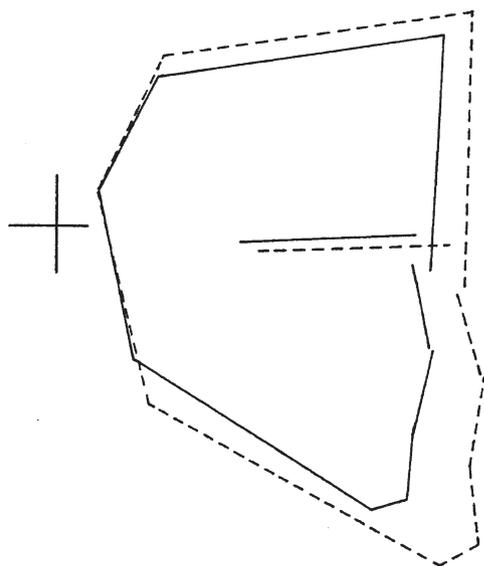


Figure 4. Superimposed profilograms of untreated group on the occipital coordinate system.

Abbildung 4. Überlagerte Profile der unbehandelten Gruppe (Überlagerung im okzipitalen Koordinatensystem).

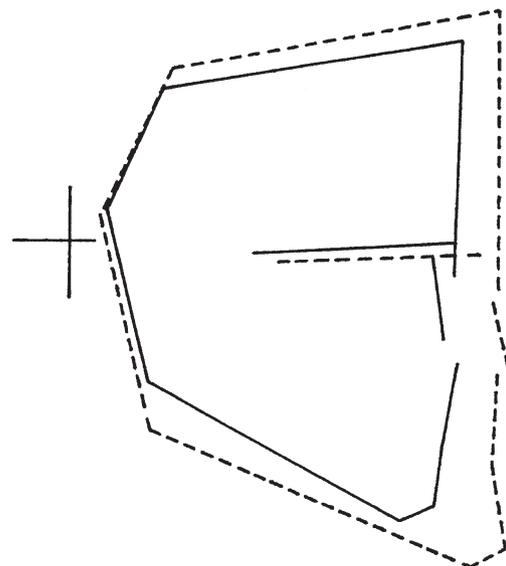


Figure 5. Superimposed profilograms of FR-3 group on the occipital coordinate system.

Abbildung 5. Überlagerte Profile der FR-3-Gruppe (Überlagerung im okzipitalen Koordinatensystem).

Kerr et al. [23] assumed that a significant increase in the distance occipital point to point A may be explained by an opening of the cranial base angle. They hypothesized that the mandible's downwards and backwards position via FR-3-transmitted pressure to the glenoid fossa produces an increase in cranial base flexure. But in chin cap therapy for mandibular prognathism that uses forces of several 100 cN per side, no posterior displacement of the glenoid fossa or changes in the maxillocranial components could be found [4, 5]. Although the FR-3 appliance undoubtedly alters mandibular position, its pressure on the glenoid fossa (resulting from stretching the soft tissue capsule in the upper jaw) is certainly under 100 cN. Using the zygomatic reference structures as proposed by Björk & Skieller [2], Falck [7] also observed anterior development of maxillary base with the FR-3. In this study the maxillary length (A-point – PNS) increased significantly more in the treated group than in untreated controls. It thus seems unlikely that an opening of the cranial base angle (Nasion-Sella-Basion) leads to the increase in the distance occipital point to point A.

The treated group's horizontal changes in the upper central incisor's crown tip and root landmark R indicate that the maxillary incisors' forward movement occurred almost bodily. FR-3 treatment had started prior to eruption of the upper permanent incisors in 37 of our patients. The gradual changeover to permanent incisors is a time of intense alveolar bone remodeling, as depicted in the excellent "Development of the Human Dentition" atlas [36]. An aberrant postural pattern of the muscular environment during this period may disturb the maxillary incisors' path of eruption [16].

Diskussion

Es ist zu betonen, dass beim FR-3 weder Kunststoff noch Draht mit Ausnahme des Protrusionsbogens dem Oberkiefer anliegen. Eine Labialkipfung der Schneidezähne durch einen Protrusionsbogen geht mit der Tendenz zur Rückwärtsbewegung des A-Punktes einher [19, 28]. Daher kann die signifikant größere Vorwärtsbewegung der basalen maxillären Messpunkte (A-Punkt, Nsp) in der behandelten Gruppe nicht als ein direkter mechanischer Effekt des FR-3 erklärt werden. Die in der vorliegenden Studie festgestellte Vorwärtsbewegung der Oberkieferbasis kann in Übereinstimmung mit Fränkel [13] als Resultat des expandierenden Effekts auf die den Oberkiefer umhüllenden Weichteile und die Verspannung an der Umschlagfalte gesehen werden, die durch Lippenpelotten und Vestibulärschilde entsteht. Die Verspannung des Periosts zur Stimulation von Knochenapposition an der labialen Alveolenwand kann jedoch nur bei Lippenchluss entstehen. Lippenchlussübungen waren für den Therapieerfolg deshalb eine Voraussetzung. In dieser Untersuchung konnte nicht geklärt werden, ob der Übergang von Mund- zu Nasenatmung zur verstärkten Oberkieferentwicklung beigetragen hat.

Kerr et al. [23] nahmen an, dass eine signifikante Zunahme des Abstandes zwischen Okzipitalpunkt und A-Punkt durch eine Öffnung des Schädelbasiswinkels erklärt werden kann. Mutmaßlich könne es zu einem Druck auf die Gelenkgrube, hervorgerufen durch die Abwärts- und Rückwärtsverlagerung des Unterkiefers mit dem FR-3, kommen. Bei der

Surprisingly, the greater forward movement of the FR-3 group's maxillary base was not reflected in changes in the SNA angle. Their SNA angle increased more than that of the untreated group without reaching significance. It is noteworthy that the nasion point's movement was not identical in the two groups. The nasion moved at a mean of about 1 mm more forward and upward in the FR-3 group than in the untreated group (Table 5). In contrast, point-S movement did not differ between groups. Thus the NS line's inclination changed, producing a reduction in the FR-3 group's SNA angle. This is one reason why the SNA angle should be used with caution to estimate maxillary development. We did not examine whether nasion movement is influenced by the breathing mode (predominantly oral or nasal) in this study.

The FR-3 appliance is designed to restrict forces of the soft tissue involved on the maxillary region, transmitting these forces through the appliance on to the mandible. We were not able to demonstrate less of an increase in mandibular length (Ar-Pog, Ar-Go, Go-Pog) with FR-3 treatment in this study. In all probability, these forces are not sufficient to hinder condylar growth.

Positional changes in landmarks in the mandibular area seem to indicate a tendency to mandibular repositioning with FR-3 treatment, but the differences we noted in comparison to the untreated group (with the exception of articulare) are too small to be statistically significant.

Whereas a tendency toward anterior rotation of the ramus was noted in the untreated group, the FR-3 group showed the opposite tendency. Several authors [3, 6, 17, 21, 30] have described an increased gonial angle as typical of Class III malocclusion; like them, we also noted an increased gonial angle (Me-Go/Go-Ar). Its values were 134.5° and 132.8°, respectively, when the baseline cephalograms were taken (on average at the age of 7 years). Lavelle [25] found when studying mandibular shape that differences between Class I and Class III malocclusions exist in shape but not dimensions. The most pronounced intergroup difference noted in this study was in the reduction in the gonial angle, which decreased by 2.07° in the untreated group and by 7.17° on average in the FR-3 group. This may indicate that FR-3 therapy induces the condyle to grow in a more upward and forward direction. A reduction in the gonial angle with FR-3 treatment facilitates control of anterior facial height.

The NL-ML angle decreased by 3.17° in the untreated and by 6.54° in the FR-3 group. However, the NSL-NL angle only increased in the FR-3 group, remaining unchanged in the untreated group. These changes concur in principle with those of Fränkel & Fränkel [14] in patients with skeletal open bite. Their results suggest that a hyperdivergent growth pattern can be corrected, provided any faulty posture of the orofacial musculature can be corrected. Our results contradict those of other authors [23, 26] who over 2.5 to 3 years of FR-3 treatment noted a backward rotation of the mandible accompanied by an increase in facial height.

Benutzung von Kinnkappen mit Kräften von mehreren 100 cN pro Seite zur Behandlung einer mandibulären Prognathie konnten jedoch keine posteriore Verlagerung der Gelenkgrube oder Veränderungen im maxillokranialen Aufbau festgestellt werden [4, 5]. Obwohl die Lage des Unterkiefers mit dem FR-3-Gerät zweifellos geändert wird, dürfte die Belastung auf das Kiefergelenk, die durch die Dehnung der Weichteilkapsel im Oberkiefer entsteht, mit Sicherheit unter 100 cN liegen. Bei Benutzung des Processus zygomaticus, wie von Björk & Skieller [2] als Referenzstruktur vorgeschlagen, konnte von Falck [7] bei Behandlung mit dem FR-3 ebenfalls eine anteriore Entwicklung der Oberkieferbasis festgestellt werden. In der vorliegenden Untersuchung nahm die Oberkieferlänge (A-Punkt – PNS) in der behandelten Gruppe signifikant mehr zu als in der Kontrollgruppe. Eine Zunahme der Distanz Okzipitalpunkt-A-Punkt kann daher wohl kaum mit einer Öffnung des Schädelbasiswinkels (Nasion-Sella-Basion) erklärt werden.

Die horizontalen Bewegungen von Schneidekante und Wurzel weisen auf eine nahezu körperliche Bewegung der maxillären Inzisivi in der Behandlungsgruppe hin. Bei 37 Patienten begann die Behandlung mit dem FR-3 vor Durchbruch der oberen Schneidezähne. Wie in dem exzellenten Atlas „Entwicklung des menschlichen Gebisses“ [36] dargestellt, findet in der Zeit des Schneidezahnwechsels ein intensiver Umbau des Alveolarknochens statt. Fehlhaltungen der Muskulatur können in dieser Zeit den Durchbruchsweg der oberen Schneidezähne ungünstig beeinflussen [16].

Überraschenderweise spiegelte sich die größere Vorwärtsbewegung der Oberkieferbasis bei der FR-3-Gruppe in den Veränderungen des SNA-Winkels nicht wider. Zwar vergrößerte sich der SNA-Winkel in der FR-3-Gruppe mehr als in der unbehandelten Gruppe, jedoch nicht signifikant. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Bewegung des Messpunktes Nasion in den beiden Gruppen nicht gleich verlief. In der FR-3-Gruppe bewegte sich der Punkt um durchschnittlich 1 mm weiter nach vorn und oben als in der unbehandelten Gruppe (Tabelle 5). Demgegenüber war die Bewegung des Messpunktes S zwischen den beiden Gruppen nicht unterschiedlich. Somit änderte sich die Neigung der NS-Linie im Sinne einer Verkleinerung des SNA-Winkels in der FR-3-Gruppe. Daher sollte der SNA-Winkel zur Einschätzung der maxillären Entwicklung mit Vorsicht benutzt werden. Es wurde in dieser Studie nicht verifiziert, ob die Bewegung des Nasions durch den Atemmodus (vorwiegend oral oder nasal) beeinflusst wurde.

Das FR-3-Gerät ist konstruiert, um die auf die maxilläre Region bezogenen Weichteilkräfte einzuschränken, wobei diese Kräfte über das Gerät auf den Unterkiefer übertragen werden. Ein geringerer Zuwachs der Länge des Unterkiefers (Ar-Pog, Ar-Go, Go-Pog) konnte jedoch mit der vorliegenden Untersuchung nicht festgestellt werden. Diese Kräfte sind höchstwahrscheinlich für eine Hemmung des kondylären Wachstums nicht ausreichend.

Conclusions

Cephalograms from untreated subjects with Class III malocclusion are very difficult to obtain. In spite of our control group's small size, we believe that the following conclusions can be drawn from this study's results: that FR-3 treatment stimulates horizontal maxillary skeletal development, and leads to reduction of the gonial angle with a tendency to backward repositioning of the mandible.

References

1. Baik SH, Jee HS, Lee JK, Oh TK. Treatment effects of Fränkel functional regulator III in children with Class III malocclusions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;125:294–301.
2. Björk A, Skieller V. Postnatal growth and development of the maxillary complex. In: McNamara JA, ed. *Factors affecting the growth of the midface*. Monograph No. 6, Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development. Ann Arbor, MI: The University of Michigan, 1975:61–99.
3. Dausch-Neumann D. Der Kieferwinkel bei eugnatthem und progenem Gebiß. *Fortschr Kieferorthop* 1985;46:358–68.
4. Deguchi T, McNamara JA. Craniofacial adaptations induced by chin-cup therapy in Class III patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;115:175–82.
5. Deguchi T, Kuroda T, Minoshima Y, Graber TM. Craniofacial features of patients with Class III abnormalities: Growth-related changes and effects of short-term and long-term chin-cup therapy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002;121:84–92.
6. Dietrich U. *Fernröntgenologische Aspekte der skelettalen Klasse III*. Med. Diss. Zürich 1969.
7. Falck F. Möglichkeiten der sagittalen Nachentwicklung maxillärer Strukturen mit dem Funktionsregler Typ III. *Zahn Mund Kieferheilkd Zentralbl* 1981;69:465–71.
8. Falck F. Zur Stabilität der De-Coster-Linie und der Okzipitalbasis nach Fränkel. *Zahn Mund Kieferheilkd Zentralbl* 1982;70:232–7.
9. Fränkel R. Fernröntgenanalyse nach Okzipitalkreuz und natürlicher Kopfhaltung. *Dtsch Stomat* 1969;19:673–81.
10. Fränkel R. Maxillary retrusion in Class III and treatment with the function corrector III. *Trans Eur Orthod Soc* 1970;46:249–59.
11. Fränkel R. The applicability of the occipital reference base in cephalometrics. *Am J Orthod* 1980;77:379–95.
12. Fränkel R. *Technik und Handhabung der Funktionsregler*. Berlin: VEB Verlag Volk und Gesundheit, 1984.
13. Fränkel R. Biomechanical aspects of the form/function relationship in craniofacial morphogenesis: A clinician's approach. In: McNamara JA, Ribbens KA, Howe RP, eds. *Clinical alteration of the growing face*. Monograph No. 14, Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development. Ann Arbor, MI: The University of Michigan, 1983:107–30.
14. Fränkel R, Fränkel C. A functional approach to treatment of skeletal open bite. *Am J Orthod* 1983;84:54–67.
15. Fränkel R, Fränkel C. Orthopädie im orofazialen Bereich mit Hilfe des Funktionsreglers. *Orthod Kieferorthop* 1988;20:277–309.
16. Fränkel R, Fränkel C. *Orofacial orthopedics with the function regulator*. Basel: Karger, 1989.
17. Franzreb O, Sergl HG. Untersuchungen kephalometrischer Variablen bei der echten Progenie. *Fortschr Kieferorthop* 1979;40:197–209.

Die Lageänderungen der Messpunkte im Unterkieferbereich deuten auf eine Repositionierung des Unterkiefers mit dem FR-3 hin. Mit Ausnahme des Articulare sind die Differenzen zur unbehandelten Gruppe jedoch gering und statistisch nicht signifikant.

Während in der unbehandelten Gruppe eine Tendenz einer anterioren Rotation des Ramus festgestellt wurde, zeigte die FR-3-Gruppe eine gegenteilige Tendenz. Verschiedene Autoren [3, 6, 17, 21, 30] beschrieben einen vergrößerten Kieferwinkel als für Klasse III typisch. Übereinstimmend mit diesen Autoren war der Gonionwinkel (Me-Go/Go-Ar) vergrößert. Seine Werte betragen zu dem Zeitpunkt, als das anfängliche Kephelogramm aufgenommen wurde (durchschnittlich 8. Lebensjahr), 134,5° bzw. 132,8°. Bei der Untersuchung der Form des Unterkiefers stellte Lavelle [25] fest, dass Unterschiede zwischen Klasse I und Klasse III nicht in der Dimension, sondern in der Form bestehen. In der vorliegenden Studie konnte der größte Unterschied zwischen den beiden Gruppen in der Verringerung des Kieferwinkels gefunden werden. Er verringerte sich um durchschnittlich 2,07° in der unbehandelten Gruppe und um 7,17° in der FR-3-Gruppe. Dies zeigt, dass die Behandlung mit FR-3 ein mehr nach oben und vorn gerichtetes kondyläres Wachstum bewirken dürfte. Eine Verringerung des Gonionwinkels durch FR-3-Behandlung trägt zur Kontrolle der vorderen Gesichtshöhe bei.

Der Winkel NL-ML verringerte sich um 3,17° in der unbehandelten Gruppe und um 6,54° in der FR-3-Gruppe. Andererseits vergrößerte sich der Winkel NSL-NL nur in der FR-3-Gruppe und blieb in der unbehandelten Gruppe gleich. Diese Veränderungen stimmen prinzipiell mit denen von Fränkel & Fränkel [14] bei Patienten mit skelettal offenem Biss überein. Ihre Ergebnisse zeigen, dass ein hyperdivergentes Wachstumsmuster korrigiert werden kann, wenn Fehlhaltungen der orofazialen Muskulatur ausgeschaltet werden. Unsere Ergebnisse stimmen mit anderen Autoren [23, 26] nicht überein, die eine Rückwärtsrotation des Unterkiefers während einer Behandlungszeit von 2,5–3 Jahren mit dem FR-3 feststellten, welche mit einer Zunahme der Gesichtshöhe verbunden war.

Schlussfolgerungen

Kephelogramme unbehandelter Probanden mit Klasse-III-Anomalie sind sehr schwer zu erlangen. Trotz der sehr geringen Größe der unbehandelten Gruppe sind wir der Meinung, dass aus der vorliegenden Untersuchung folgende Schlussfolgerungen gezogen werden können: Eine FR-3-Behandlung stimuliert die maxilläre Entwicklung in horizontaler Richtung und führt zu einer Verringerung des Gonionwinkels mit einer Tendenz zur Rückwärtsverlagerung des Unterkiefers.

18. Graber LW. Chin cap therapy for mandibular prognathism. *Am J Orthod* 1977;72:23–41.
19. Hausser E. Nachentwicklung der apikalen Basis? *Fortschr Kieferorthop* 1962;23:290–303.
20. Hotz R, Dietrich U. Die Morphologie der mandibulären Prognathie und der maxillären Retrognathie im Fern-Röntgenbild. *Fortschr Kieferorthop* 1969;30:497–504.
21. Jacobsen A, Evans WG, Preston CB, Sadowsky PL. Mandibular prognathism. *Am J Orthod* 1974;66:140–71.
22. Kalavritinos M, Papadoulos MK, Nasiopoulos A. Dental arch and cephalometric changes following treatment for Class III malocclusion by means of the Function Regulator (FR-3) appliance. *J Orofac Orthop* 2005;66:135–47.
23. Kerr WJ, Ten Have TR, McNamara JA. A comparison of skeletal and dental changes produced by function regulators (FR-2 and FR-3). *Eur J Orthod* 1989;11:235–42.
24. Korkhaus G. Biomechanische Gebiß- und Kieferorthopädie (Orthodontie). In: Bruhn Ch. Hrsg. *Handbuch der Zahnheilkunde*. München: Bergmann, 1939:140.
25. Lavelle CLB. A study of mandibular shape. *Br Orthod* 1984;11:69–74.
26. Loh MK, Kerr WJ. The function regulator III: Effects and indications for use. *Br Orthod* 1985;12:153–7.
27. McNamara JA, Hulse SA. The functional regulator (FR-3) of Fränkel. *Am J Orthod* 1985;88:409–24.
28. Mühlberg G, Schröter U, Zill G. Biologisch-statistische Untersuchungen über den Einfluß der Funktionsregler nach Fränkel auf die Kieferbasientwicklung und Zahnkipfung. *Fortschr Kieferorthop* 1968;29:393–405.
29. Nawrath K. Zur Klassifikation der benignen und malignen Progenieformen und deren Behandlung. *Fortschr Kieferorthop* 1971;32:131–8.
30. Nawrath K. Kranio-metrische Merkmale bei unterschiedlichen Anomalien. *Fortschr Kieferorthop* 1972;33:103–12.
31. Robertson NRE. An examination of treatment changes in children treated with the function regulator of Fränkel. *Am J Orthod* 1983;83:299–310.
32. Roth R, Bimler P. Kriterien am Fernröntgenbild für die Differentialdiagnose des progenen Formenkreises. *Fortschr Kieferorthop* 1979;40:186–96.
33. Schopf PM. Frühsymptome der progenen Entwicklung im Fernröntgenbild. *Fortschr Kieferorthop* 1980;41:47–55.
34. Thilander B. Indikation und kieferorthopädische Behandlung bei Klasse-III-Malokklusion. *Fortschr Kieferorthop* 1979;40:265–74.
35. Ülgen M, Firatli S. The effects of the Fränkel's function regulator on the Class III malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1994;105:561–7.
36. Van der Linden FPGM, Duterloo HS. Development of the human dentition – An atlas. New York, San Francisco, London: Harper and Row, 1976.
37. Williams S, Andersen CE. The morphology of the potential Class III skeletal pattern in the growing child. *Am J Orthod* 1986;89:302–11.

Correspondence Address

Dr. sc. Friedrich Falck
Bürgermeister-Landmann-Platz 7
89312 Günzburg
Germany
Phone: (+49/8221) 30026, Fax 31924
e-mail: appel-kfo@t-online.de