

Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion

An Acoustic Rhinometric, Morphometric and Sonographic Investigation

Die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung

Reflexionsakustisch-volumetrische, morphometrische und sonographische Untersuchungen

Susanne Wriedt¹, Martin Kunkel², Andrej Zentner¹, Ulrich-W. Wahlmann²

Abstract

This study aimed to evaluate the effect of surgically assisted rapid palatal expansion on the skeletal structures of the midface.

Ten patients (mean age 28.5 years) were investigated by means of acoustic rhinometry, study model analysis and sonography before and after the procedure of surgically assisted rapid palatal expansion.

The measurements revealed that surgically assisted rapid palatal expansion not only resulted in transverse expansion of the maxilla, providing dental arch space for lining up the teeth; the procedure also caused a substantial enlargement of the maxillary apical base and of the palatal vault, providing space for the tongue for correct swallowing and thus preventing relapse. There was a distinct subjective improvement in nasal breathing associated with enlargement of the nasal valve towards normal values and with an increase of nasal volume in all compartments.

The measurements showed a marked influence of surgically assisted rapid palatal expansion on the skeletal structures of the midface. The significant widening can be demonstrated by non-invasive examination. Success of the osteotomy procedure can be readily monitored by sonographic examination of the expansion and the subsequent ossification, which allows individually adjusted retention periods and avoids frequent radiation exposure.

Key Words: Rapid palatal expansion · Maxillary surgery · Acoustic impedance tests · Palatal vault · Ultrasonography · Apical base

Zusammenfassung

In der vorliegenden Untersuchung sollten die Auswirkungen der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung auf dentoalveoläre, maxillär-basale und nasale Strukturen des Gesichtsschädels mit nicht invasiven Untersuchungstechniken evaluiert werden.

Dazu wurden zehn erwachsene Patienten vor und nach chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung mittels reflexionsakustischer Rhinometrie, Modellanalyse und Sonographie untersucht.

Es zeigte sich, dass die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung auch beim erwachsenen Patienten nicht nur zu einer transversalen dentoalveolären Dehnung des Oberkiefers (Platz im Zahnbogen zur Ausrichtung der Zähne) führt, sondern auch die apikale Oberkieferbasis und das Gaumenvolumen (Platz für die Zunge beim regelrechten Schlucken und damit Rezidivprophylaxe) werden entscheidend vergrößert. Die chirurgische Gaumennahterweiterung führt darüber hinaus zu einer deutlichen Vergrößerung von Nasenvolumen und Nasenklappe mit auch subjektiver Verbesserung der Nasenatmung. Sonographisch waren die Segmentbewegung im Laufe der Dehnung ebenso nachweisbar wie die spätere Reossifizierung und vollständige Rekortikalisierung.

Die Messungen belegen einen ausgeprägten Einfluss der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung auf die skelettalen Strukturen des Mittelgesichtes, deren deutliche Weitung durch nicht invasive Untersuchungsverfahren nachweisbar ist. Die sonographische Untersuchung kann den Fortschritt der transversalen Dehnung objektivieren und erlaubt eine individuelle Anpassung der Retentionszeit ohne zusätzliche Strahlenexposition.

Schlüsselwörter: Gaumennahterweiterung · Osteotomie · Reflexionsakustische Messverfahren · Gaumenvolumen · Sonographie · Apikale Basis

¹Department of Orthodontics and

²Department of Oral and Maxillofacial Surgery, University of Mainz, Germany.

Received: November 12, 1999; accepted: March 27, 2000

Dedicated to Professor Dr. Hans Georg Sergl on the occasion of his 65th birthday.

J Orofac Orthop/Fortschr Kieferorthop 2001;62:107-15

DOI 10.1007/s00056-001-0038-7

Introduction

Up to now the effects of surgically assisted rapid palatal expansion in adult patients have been investigated by two-dimensional measurements in the dentoalveolar region [7, 14]. An exact, metric determination of the effect of the distraction on more cranially located structures of the facial skull is methodologically complex and involves computed tomography, entailing radiation exposure. Earlier rhinomanometric studies [12] showed a general reduction in nasal resistance as a result of rapid palatal expansion, but no definitive conclusions could be drawn on the structural changes of the nasal airway profile.

On the other hand, more detailed knowledge of changes induced in the skeletal base and the nasal airway by transversal maxillary distraction is needed to evaluate the effects on the functional circle "nasal breathing" and "volume and position of the tongue", in order to predict the pathophysiologically relevant parameters of midfacial development and relapse.

Today, we have at our disposal non-invasive, reasonably precise and clinically applicable investigative techniques: acoustic rhinometry [4, 6], sonography and measurement of the palatal vault and the apical base. The aim of this study was therefore to measure and describe the effect of rapid palatal expansion, using these non-invasive investigations in two and three dimensions.

Patients and Methods

Ten patients, five female and five male, aged 16.9 to 43.6 years (mean 28.5 years) were examined. Eight patients underwent surgically assisted rapid palatal expansion as the first step in combined orthodontic-surgical treatment, i. e. displacement osteotomy was performed in a second operation (at least 1 year after distraction). The inclusion criterion was > 5 mm transversal deficit. Patients with cleft lip and palate or with craniofacial abnormalities were not included because standard concepts of osteotomy are not applicable to these patients.

The standardized operation carried out independently of other orthognathic surgery comprised complete bilateral paramedian osteotomy of the palatal plate, which showed exteriorly a converging course to the palatine foramen, bilateral osteotomy and circumscribed osteotomy of the zygomatico-alveolar crest and osteotomy of the front surface of the maxillary sinus to the anterior nasal aperture. Detachment of the paranasal soft tissue was renounced in order to prevent changes to the nasal geometry, in particular widening of the nasal alar base. The maxillary segments were fractured during the subsequent anterior-median osteotomy until mobility was clinically detectable. Distraction was done with a Hyrax jackscrew fixed to four bands, which was incorporated during the operation. Expansion was initiated during surgery with an activation of 0.5 mm. Further activation consisted in 1/4 turns of the screw each day, starting on the

Einleitung

Die Auswirkungen der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung des Erwachsenen auf den Oberkiefer wurden bisher vorwiegend durch zweidimensionale Abstandsmessungen auf der Ebene dentoalveolärer Messpunkte untersucht [7, 14]. Eine exakte metrische Bestimmung des Dehnungseffekts auf weiter kranial gelegene Strukturen des Gesichtsschädels ist demgegenüber methodisch aufwändig und unter Einsatz konventioneller Diagnoseverfahren lediglich durch radiologische computertomographische Untersuchungen und somit unter Inkaufnahme einer substantiellen Strahlenbelastung möglich. Ältere rhinomanometrische Studien konnten [12] zwar eine generelle Reduktion der nasalen Resistance durch die Gaumennahterweiterung belegen, erlauben es aber vom prinzipiellen Ansatz her nicht, eindeutige Rückschlüsse auf die strukturellen Veränderungen des nasalen Atemwegs abzuleiten.

Andererseits sind genauere Kenntnisse über skelettbasale und nasale Veränderungen durch die transversale Oberkieferdistraktion erforderlich, um Einflüsse auf die Funktionskreise „Nasatmung“ sowie „Zungenraum und Zungenlage“ und damit auf pathophysiologisch relevante Parameter der Mittelgesichtsentwicklung und der Rezidiventstehung abschätzen und im günstigsten Fall individuell vorhersagen zu können.

Mit der akustischen Rhinometrie [4, 6], der Sonographie sowie der Bestimmung der Modellparameter Gaumenvolumen und apikale Basis stehen heute nicht invasive, ausreichend präzise und klinisch einsetzbare Untersuchungsverfahren für derartige Fragestellungen zur Verfügung. In dieser Studie sollten daher skelettale Auswirkungen der Gaumennahterweiterung mit diesen nicht invasiven Untersuchungsmethoden zwei- und dreidimensional metrisch erfasst und beschrieben werden.

Patienten und Methode

Es wurden zehn Patienten, fünf weibliche und fünf männliche, mit einem Durchschnittsalter von 28,5 Jahren (16,9 bis 43,6 Jahren) untersucht. Bei acht Patienten wurde die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung als erster Teil einer kombinierten kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapie durchgeführt, das heißt, in einer zweiten Operation mit mindestens 1 Jahr Abstand, in dem die Zahnbögen kieferorthopädisch ausgeformt wurden, erfolgte eine Umstellungsosteotomie. Als Indikationsgrenze zwischen vorbereitender Gaumennahterweiterung und einzeitig segmentierter Le-Fort-I-Osteotomie galt ein transversales Defizit des Oberkiefers von mehr als 5 mm. Patienten mit Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalten oder syndromassoziiertem Schmalkiefer wurden in diese Fallserie nicht einbezogen, da auf diese Patienten standardisierte Osteotomiekonzepte selten übertragbar sind.

Das standardisierte, von anderen Dysgnathieoperationen unabhängig durchgeführte operative Vorgehen um-

first or second day after surgery. The amount of expansion measured between the first molars was 5 to 10.7 mm.

Planimetric and volumetric assessment of the nasal airway was performed with a Rhinoklack RK 1000[®] acoustic reflection measurement device (Stimotron, Wendelstein, Germany). The underlying principle is analysis of the acoustic pulse response that arises through impedance discontinuity inside hollow spaces [4]. A pressure wave of 55 dB is applied to the airway through a manufactured nosepiece adapter (order no. RK100-025, Ingenieurbüro L. Leiche, 35435 Wetztenberg, Germany). Incident and reflected pressure waves are recorded during a time frame of 10 ms. Amplitude and velocity of incident and reflected acoustic impulses can be traced back to the cross-sectional area profile of the structure that was traversed by the pressure wave [1], according to the Ware-Aki algorithm [11].

Thus, an area-distance function of the nasal cavity can be calculated. The characteristic pattern of this area profile can be related to anatomical landmarks of the nasal cavity. With the integration of the area-distance function, the volume of any region of interest inside the nose can be determined (Figure 1). For each patient the area of the nasal valve (minimum cross-section), the total nasal volume and the partial volume of the anterior, medium and posterior nose (NV1, NV2, NV3) were calculated. This method involves no known risks or side effects for the patient; nor are any to be expected in view of the physical principles of the procedure. The measurement error for this method is quoted at 5–10% [6].

The partial volumes of the nose and the cross-sectional area of the nasal valve were measured by acoustic rhinometry

fasste neben der vollständigen bilateralen paramedianen Osteotomie der Gaumenplatte, die nach anterior zum Foramen incisivum konvergierend angelegt wurde, eine bilaterale Osteotomie und umschriebene Osteotomie an der Crista zygomaticoalveolaris sowie eine Osteotomie der Kieferhöhlenvorderwand bis zur Apertura piriformis. Auf ein Lösen der paranasalen Weichgewebsmanschette wurde verzichtet, um Veränderungen der Geometrie des Naseneingangs und insbesondere einer Weitung der Nasenflügelbasis durch Traktion der mobilisierten Weichgewebe vorzubeugen. Die Oberkiefersegmente wurden während der abschließenden anterior-medianen Osteotomie bis zum klinischen Nachweis der Mobilität infrakturiert. Die Dehnung erfolgte mittels einer intraoperativ eingesetzten, an vier Bändern befestigten Hyrax-Schraube. Die Erweiterung begann intraoperativ mit einem Aufschrauben um 0,5 mm. Die weitere Aktivierung erfolgte mit jeweils einer Viertelumdrehung pro Tag, beginnend am ersten oder zweiten postoperativen Tag. Das Ausmaß der dentalen Dehnung, gemessen zwischen den 6-Jahr-Molaren, lag zwischen 5 und 10,7 mm.

Die planimetrische und volumetrische Vermessung des nasalen Atemwegs erfolgte reflexionsakustisch mit dem Rhinoklack RK 1000[®] (Stimotron Medizinische Geräte GmbH, D-90530 Wendelstein). Das zugrunde liegende Prinzip ist die reflexionsakustische Querschnittsmessung durch sequentielle Impedanzmessung innerhalb des Nasengangs [4]. Ein Schallimpuls von 55 dB wird durch einen konfektionierten Kunststoffadapter (Best. Nr. RK100-025, Ingenieurbüro L. Leiche, D-35435 Wetztenberg) in den Luftweg eingeleitet und das Reflexionsmuster innerhalb eines Zeitfensters von 10 ms aufgezeichnet. Die Analyse der Intensitäts- und Laufzeitdifferenzen zwischen Ausgangssignal und reflektierter Schallenergie erlaubt aufgrund akustischer Gesetzmäßigkeiten [11] eine Berechnung der Querschnittsverhältnisse innerhalb der Nase [1].

Dabei ergeben sich charakteristische Querschnittsmaxima und -minima, die sich topographisch der Anatomie der Nase, zum Beispiel dem Bereich der Nasenklappe, zuordnen lassen. Durch Integration der jeweiligen Flächen-Distanz-Funktionen lassen sich Teilvolumina jeder interessierenden Nasenregion bestimmen (Abbildung 1). Für jeden Patienten wurden die Fläche der Nasenklappe (Querschnittsminimum), das Gesamtnasenvolumen sowie die Teilvolumina des anterioren, mittleren und posterioren Nasenabschnitts

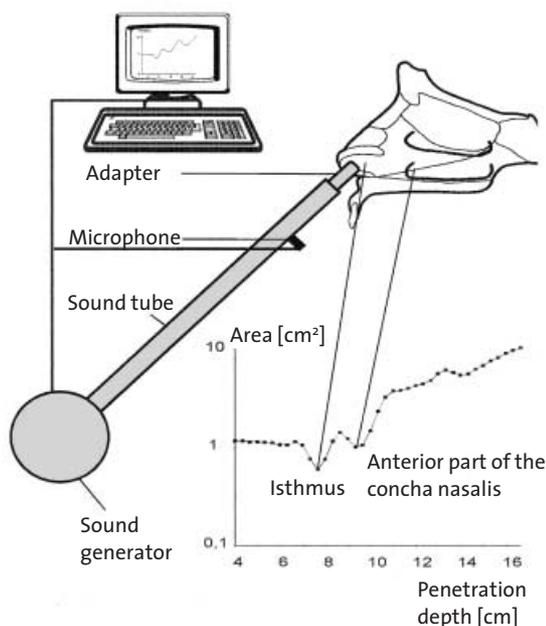


Figure 1. Acoustic rhinometric measurement setup and relation of characteristic pattern of the area profile to anatomical landmarks of the nasal cavity. The nasal valve shows the absolute minimum.

Abbildung 1. Messanordnung der akustischen Rhinometrie und topographische Zuordnung charakteristischer Extremwerte des Querschnittsprofils der Nase. Als absolutes Minimum imponiert die Nasenklappe.

after topic decongestion with 0.3 ml xylometazoline 0.1% (Otrivine®) on each side. Measuring was done before the operation and after expansion towards the end of the retention time with the Hyrax appliance in situ to exclude the possibility of an incorrect measurement due to transverse relapse.

The maxillary study models were prepared before the operation and after transversal expansion, i. e. during or shortly after removal of the cemented Hyrax appliance (6–12 months after surgery), because the palatal vault cannot be measured with the appliance in situ. The study casts were measured in the transverse dimension at the points of the Pont Index.

The palatal vault was measured by filling the maxillary casts with plastilin. The volume was limited in the vertical dimension by the occlusal plane, and in the sagittal dimension by a line distal to the first molars [13]. To investigate the systematic error of this method of measuring the volume, five investigators each measured two different models (interindividual error). The intraindividual error was also investigated by one investigator measuring the same model five times. The interindividual and intraindividual standard deviations were < 8% and < 3.5%, respectively, of the mean values. These deviations were considered small enough for the method to be used in this investigation.

The maxillary apical base, introduced by Sergl et al [8], was measured using the gnathograph designed by Klueglein [5]. Measurements with this apparatus can be reproduced to a sufficiently high degree, showing standard deviations between 0.5 and 2.0% of the mean values when these were calculated from a series of repeated measurements. Contrary to the original instructions [5] the distal end of the first molar was used as the posterior point for the measurement in order to provide similar reference points to those of the palatal vault and the transverse dimension.

Irrespective of other measurements, anterior maxillary expansion was investigated sonographically by with a Siemens Sonoline AC 500® (7.5 MHz linear transducer) before and after osteotomy, during expansion, and during reossification.

The non-parametric Wilcoxon signed rank test was applied to the pre- and post-therapeutic measurements of all parameters. The significance was set at $p < 0.01$. Spearman's non-parametric rank correlation coefficient was used to calculate the relation of apical-basal changes in the maxilla on the one hand and volumetric and planimetric changes of the nasal airway on the other.

Results

Besides expansion of the dental arch, transversal maxillary distraction leads to a significant enlargement of the apical base and of the palatal vault (Wilcoxon test) as an expression of maxillary skeletal-basal widening and leads to a significant enlargement of the nasal volume. Anterior, medium and posterior parts of the nose (NV1, NV2, NV3)

(NV1, NV2, NV3) (Grenzen der Integrationsintervalle bei 2,3 cm, 4,6 cm und 7 cm Eindringtiefe) berechnet. Unerwünschte Wirkungen oder Gefahren dieser Methode sind nicht bekannt und aufgrund des physikalischen Prinzips nicht zu erwarten. Der Messfehler für diese Methode wird mit 5–10% angegeben [6].

Die Nasenteilvolumina und die Fläche der Nasenklappe wurden unter topischer Abschwellung mit jeweils 0,3 ml Xylometazolin 0,1% (Otriven®) reflexionsakustisch vermessen. Die beiden Zeitpunkte der Messungen lagen präoperativ und nach erfolgter Dehnung gegen Ende der Retentionszeit mit der fest zementierten Apparatur, um eine Beeinflussung der Messung durch eventuelle Rezidivtendenz möglichst auszuschließen.

Die Erstellung der Oberkiefermodelle erfolgte präoperativ und nach erfolgter transversaler Erweiterung, das heißt bei oder kurz nach der Entfernung der zementierten Hyrax-Schraube (6–12 Monate postoperativ), da mit dem Gerät in situ keine Gaumenvolumenmessung möglich ist. Die Oberkiefermodelle wurden in der Transversalen an den Punkten des Pont'schen Index vermessen.

Die Ermittlung des Gaumenvolumens geschah über eine Massenbestimmung eines definierten Füllstoffs, der das Gaumenvolumen im Modell ausfüllte. Die Begrenzung dieses Volumens bildete in der Vertikalen die Okklusionsebene, in der Sagittalen die Verbindungslinie der Distalflächen der ersten Molaren [13]. Diese Art der Volumenbestimmung ist selbstverständlich fehlerbehaftet. Zur Ermittlung des systematischen Fehlers wurde von fünf Untersuchern an zwei unterschiedlichen Modellen je einmal die Messung der oben definierten Volumina durchgeführt (interindividueller Fehler). Zusätzlich wurde auch ein intraindividueller Fehler ermittelt, indem ein Untersucher fünfmal das gleiche Modell vermaß. Die daraus ermittelte Abweichung vom entsprechenden Mittelwert war interindividuell < 8% und intraindividuell < 3,5%. Diese Schwankungen erschienen hinreichend klein, um diese Volumenbestimmungsmethode anwenden zu können.

Die apikale Basis des Oberkiefers wurde nach Sergl et al. [8] mit Hilfe des Gnathographen bestimmt. Die Modellvermessung mit diesem Übertragungsgerät ist ausreichend gut reproduzierbar; die aus mehreren Messungen errechneten Standardabweichungen betragen 0,5 bis 2% der Mittelwerte [5]. Der distale Bezugspunkt lag bei unseren Messungen, entgegen der Originalanweisung [5], an den Distalflächen der 6-Jahr-Molaren, um ähnliche Messpunkte zu Gaumenvolumen und transversaler Dimension zu erhalten.

Sonographische Untersuchungen der Dehnungsstrecke des anterioren Oberkiefers, deren Befunde unabhängig von denen der anderen Untersuchungsmethoden erhoben wurden, erfolgten translabial mit dem Gerät Siemens Sonoline AC 500® (7,5-MHz-Linearschallkopf) vor und nach der Osteotomie unter Dehnung und in der Phase der knöchernen Konsolidierung.

Table 1. Measurements recorded for the different parameters before and after surgically assisted rapid palatal expansion (RPE).**Tabelle 1.** Erhobene Werte der Parameter vor und nach der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung (RPE).

	Mean and SD before RPE	Mean and SD after RPE	Mean of percentage increase
Nasal volume (cm ³)	25.9 ± 6.9	30.6 ± 6.3	21.2
Partial volume anterior nose (cm ³)	3.8 ± 0.9	4.6 ± 0.7	23.3
Partial volume medium nose (cm ³)	8.7 ± 2.3	10.4 ± 2.0	23.1
Partial volume posterior nose (cm ³)	13.4 ± 3.9	15.6 ± 3.8	19.7
Nasal valve (cm ²)	0.57 ± 0.14	0.71 ± 0.13	29.1
Apical base (cm ²)	11.4 ± 1.5	14.8 ± 3.2	28.6
Palatal vault (cm ³)	10.5 ± 1.4	12.6 ± 2.9	18.9
Anterior width (mm)	33.3 ± 3.4	39.2 ± 3.4	18.8
Posterior width (mm)	43.0 ± 5.1	50.5 ± 5.3	18.1

were enlarged to virtually the same extent. The nasal valve, too, was enlarged by distraction from a mean from 0.57 to 0.71 cm² on each side. As a result, eight out of ten patients reported a striking improvement in nasal patency after maxillary distraction. Table 1 shows the treatment-induced changes in the parameters.

The Spearman test revealed no correlations between the individual extent of changes in the dentoalveolar, the skeletal-basal and the nasal parameters.

Immediately after the initial intraoperative distraction of 0.5 mm, the anterior median fissure and thus the success of the operation could be verified sonographically. The amount of segmental movement during distraction could also be seen. Radiographic and sonographic examination revealed signs of initial reossification in each patient 3 months after surgery, but the total reossification time varied from patient to patient (3 to > 9 months). Figures 2 to 5 show typical sonographic findings during treatment.

Discussion

Surgically assisted rapid palatal expansion has been established as a method for transversal expansion of the dental arch in adult patients [10]. The deficit in nasal patency is discussed as an important factor in the pathogenesis of the transversal maxillary developmental disturbance [9]. However, it is open to discussion whether surgically assisted rapid palatal expansion is only a symptomatic therapy of the transversal dental arch deficit or whether the pathophysiological mechanism of developmental deficit can be influenced. Thus this investigation measured not only conventional dentoalveolar parameters but also changes in the maxillary apical base and the nasal airway.

Both on a dentoalveolar and on a maxillary basal and nasal level, rapid palatal expansion led to an equal, significant increase of the investigated parameters, so that not only dentoalveolar expansion but also changes in the midface even in adult patients could be substantiated. For example,

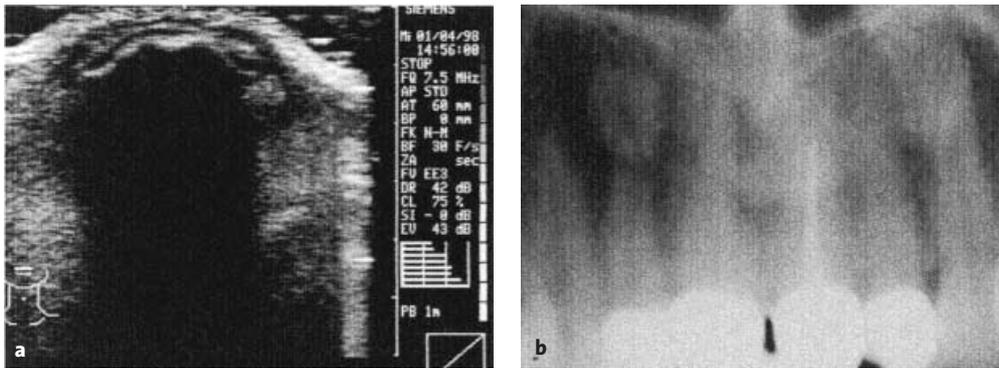
Auf die prä- und posttherapeutischen Messwerte sämtlicher Untersuchungsverfahren wurde der nicht parametrische Wilcoxon-Test für Paardifferenzen angewendet. Das Signifikanzniveau war festgelegt auf $p < 0,01$. Eine Korrelation zwischen apikal-basalen Veränderungen der Maxilla und volumetrischen bzw. planimetrischen Veränderungen des nasalen Atemwegs wurde durch den Spearman-Rang-Korrelationskoeffizienten bewertet.

Ergebnisse

Neben der Verbreiterung des Zahnbogens führte die transversale Dehnung des Oberkiefers zu einer signifikanten Vergrößerung der apikalen Basis und des Gaumenvolumens (Wilcoxon-Test) als Ausdruck einer skelettal-basalen Weitung des Oberkiefers sowie zur einer signifikanten Vergrößerung des Nasenvolumens. Vorderer, mittlerer und hinterer Nasenabschnitt wiesen dabei eine annähernd gleiche relative Volumenzunahme auf. Auch die Nasenklappe vergrößerte sich durch die Distraction signifikant von durchschnittlich 0,57 auf 0,71 cm² pro Nasengang. Entsprechend berichteten auch acht von zehn Patienten über eine posttherapeutisch gebesserte Nasenatmung. Tabelle 1 fasst die behandlungsbedingten Veränderungen der erhobenen Parameter zusammen.

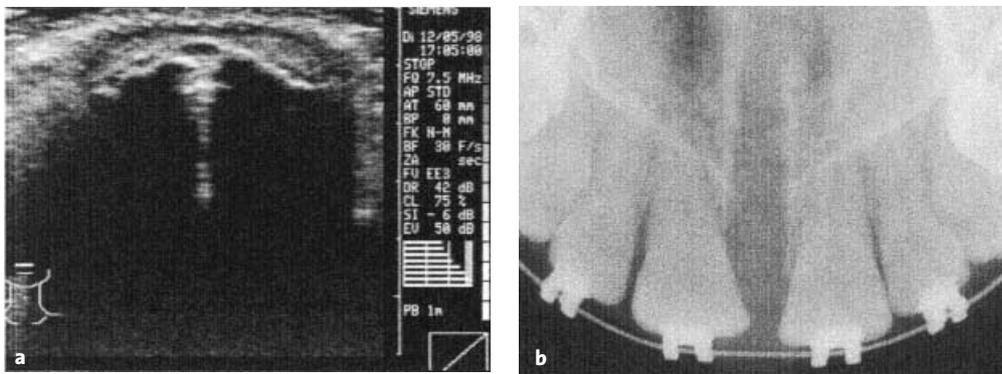
Der Spearman-Test konnte keine Korrelationen zwischen dem individuellen Ausmaß der Veränderungen der dentoalveolären, der skelettal-basalen und der nasalen Parameter aufzeigen.

In den sonographischen Untersuchungen ließ sich bereits nach der initialen intraoperativen Dehnung um 0,5 mm der anteriore mediane Osteotomiespalt sonographisch verifizieren und damit der Operationserfolg unmittelbar kontrollieren. Das Ausmaß der Segmentbewegung war im Verlauf der aktiven Erweiterung zu verfolgen. Sonographische und röntgenologische Zeichen der beginnenden Kortikalisierung der Kalluszone waren zwar regelmäßig nach 3 Monaten nachweisbar, jedoch erwies sich die vollständige



Figures 2a and 2b. a) Sonographic borderline echo as a correlation to continuous maxillary cortical bone before osteotomy. b) Panoramic radiograph of the maxilla of the same patient before osteotomy.

Abbildungen 2a und 2b. a) Sonographisches Grenzecho als Korrelat einer durchgehenden Kortikalis des Oberkiefers vor Osteotomie. b) Panoramaaufnahmen des Oberkiefers vor Osteotomie bei der gleichen Patientin.



Figures 3a and 3b. a) The resolution of the borderline echo in the region of the callus shows the movement of the segments during distraction. Single hyperreflective areas of the callus indicate initial remineralization at the end of the active expansion. b) Occlusal roentgenogram at the time of the sonography. Note the median separation of the segments and initial, transversally directed signs of mineralization.

Abbildungen 3a und 3b. a) Die Auflösung des Grenzechos im Bereich der Kalluszone lässt die Segmentbewegung im Verlauf der Dehnung erkennbar werden. Einzelne hyperreflexive Areale der Kalluszone zeigen beginnende Mineralisierungsareale bereits am Ende der aktiven Distraction. b) Die Oberkieferaufbissaufnahme zum Zeitpunkt der sonographischen Untersuchung zeigt die mediane Separation der Segmente und erste transversal ausgerichteten Mineralisierungszonen.

the nasal valve changed during treatment to a degree seen in adults without nasal airway disturbances. Thus eight of the ten patients reported striking improvement in nasal patency after maxillary distraction.

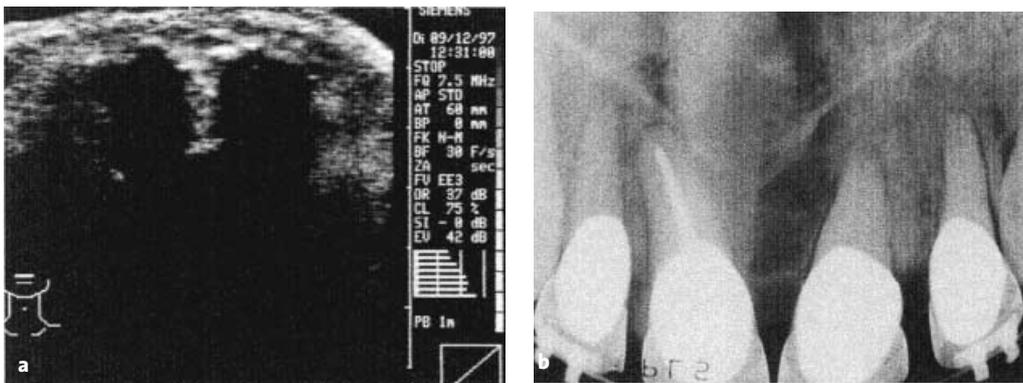
Although dental arch width, apical base, palatal vault and nasal volume were changed to an equal, significant extent by rapid palatal expansion, a correlation between the individual amounts of change in the three dimensions could not be established.

This is most likely due to the limitations set by the methods selected for investigation, because rapid palatal expansion will entail a change of shape in the dental arch to some degree [2]. Depending on the amount of transversal widening followed by closing of the diastema and/or on the crowding in the maxillary arch, the first molar will be

Reossifizierung als individuell sehr variabel (3 bis mehr als 9 Monate). Die Abbildungen 2 bis 5 zeigen typische sonographische Befunde der Behandlungsphasen.

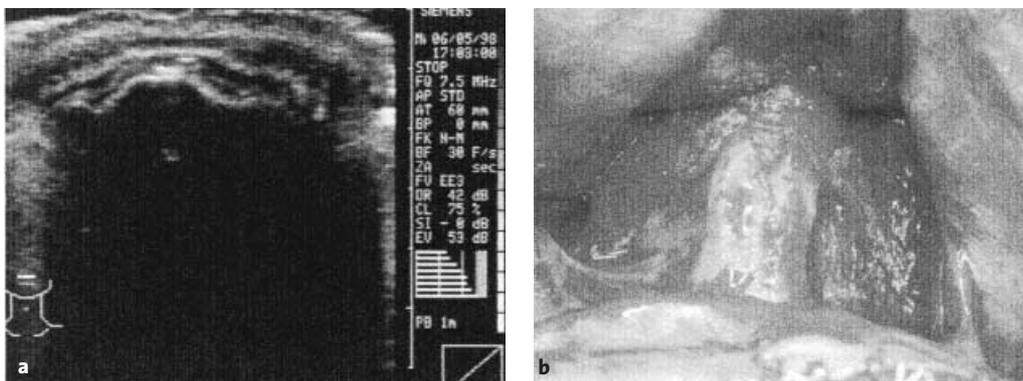
Diskussion

Die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung ist als Methode zur Vergrößerung der transversalen Zahnbogendimension beim erwachsenen Patienten weithin etabliert [10]. Nachdem die Behinderung der Nasenatmung als wichtiger kausaler Faktor in der Pathogenese der transversalen Entwicklungsstörungen des Oberkiefers diskutiert wird [9], stellt sich darüber hinaus aber insbesondere die Frage, ob die chirurgische Gaumennahterweiterung lediglich eine symptomatische Besserung des transversalen Defizits der Zahnbogenweite erreicht oder



Figures 4a and 4b. a) 3 months after rapid palatal expansion: note the distinct hyperreflective areas of the callus zone; remineralization has not yet led to corticalization. b) The occlusal X-ray at the time of sonography shows initial bridging in the callus zone.

Abbildungen 4a und 4b. a) 3 Monate nach Gaumennahterweiterung sind deutliche hyperreflexive Anteile der Kalluszone erkennbar, die Remineralisierung hat aber noch nicht zu einer Kortikalisierung geführt. b) Die Oberkieferaufbissaufnahme zum Zeitpunkt der sonographischen Untersuchung lässt eine beginnende Überbrückung der Kalluszone erkennen.



Figures 5a and 5b. a) Continuous borderline echo as a correlation to complete remineralization. b) The clinical status (while opening the former distraction region during surgery to correct dysgnathia) shows a wide zone of new bone, confirming the sonographic finding.

Abbildungen 5a und 5b. a) Die vollständige Remineralisierung lässt ein durchgehendes Grenzecho der Kortikalis erkennen. b) Die klinische Situation (bei Eröffnung des ehemaligen Distraktionsgebietes im Rahmen einer Umstellungsosteotomie) zeigt korrespondierend zur sonographischen Kortikalisierung eine breite Knochenneubildungszone.

mesialized to a greater or lesser extent during orthodontic treatment. Even in the short period after debanding, the molars will move: because of rapid palatal expansion the years-long malocclusion will be rectified and the first molar can move mesially due to the physiological anterior migration drift if there is enough space in the dental arch. However, as the distal line of the first molar is a reference point for the different measurements, the measurable effect will be reduced (though not eliminated) with increasing distraction (Figure 6).

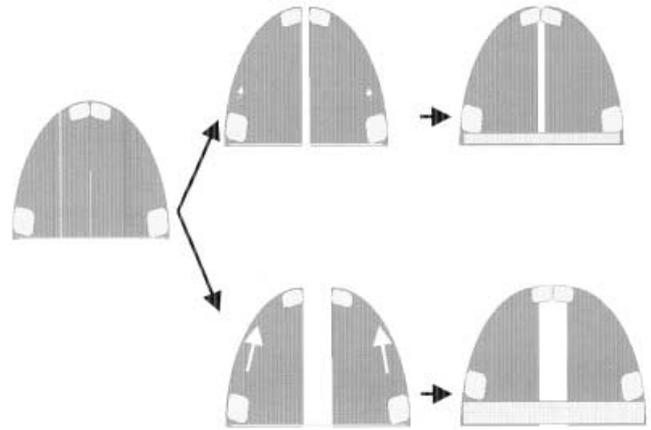
Sonography was used to visualize and quantify the movement of the maxillary segments directly in the region of the apical base. The success of osteotomy can be reliably controlled by sonography, with radiographic controls being eliminated in the interests of reduced radiation exposure.

gleichzeitig mögliche pathophysiologische Mechanismen der Entwicklungsstörung beeinflusst. Daher wurden in unserer Untersuchung neben den bekannten, modellanalytisch bestimmten transversalen dentoalveolären Maßen auch die Dimensionsänderungen der Oberkieferbasis und des nasalen Atemwegs untersucht.

Sowohl auf der dentoalveolären als auch auf der maxillär-basalen und der nasalen Ebene führte die Gaumennahterweiterung zu einer gleichsinnigen signifikanten Zunahme der untersuchten Parameter, sodass eine über die dentoalveoläre Weitung hinausgehende Dimensionsveränderung des Mittelgesichts auch beim erwachsenen Patienten nachweisbar erzielt werden konnte. Für die Nasenklappe ergaben sich beispielsweise postoperativ Normalwerte erwachsener Patienten ohne Nasenatmungsbehinderung [3];

Figure 6. Geometric changes of the apical base induced by rapid palatal expansion and tooth alignment. Mesialization of the distal reference points of the apical base reduces this area individually.

Abbildung 6. Geometrische Veränderung der apikalen Basis durch Gaumennahterweiterung und Zahnbogenausformung. Die Mesialisierung der distalen Referenzpunkte der „apikalen Basis“ führt zu einer relativen Verkleinerung dieses Flächenmaßes.



Sonographic assessment of reossification enables the retention time after rapid palatal expansion to be adapted to the individual requirements without radiation exposure.

Conclusion

Even in adult patients, osseous changes during surgically assisted rapid palatal expansion are not confined to the dentoalveolar region, but concern both the maxillary apical base and the palatal vault as well as the nasal volume. As a supplement to measurements on study models, modern non-invasive examination methods permit an appraisal of these skeletal effects at maxillary basal and nasal level. As the amount of change in skeletal dimension in the individual patient is not directly correlated to the amount of the dentoalveolar expansion, an individual prognosis of the skeletal changes based only on the amount of transverse expansion of the dental arch appears not to be feasible. Especially sonographic controls allow the retention time to be individualized without additional radiation exposure.

References

1. Corey JP, Gungor A, Nelson R, et al. A comparison of nasal cross sectional areas and volumes obtained with acoustic rhinometry and magnetic resonance imaging. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1997;117:349–54.
2. Fotovatjah M, Barresi D, Nanda R. Die Stabilität der forcierten Gaumennahterweiterung. *Inf Orthod Kieferorthop* 1998;30: 675–82.
3. Grymer LF, Hilberg O, Pedersen OF, et al. Acoustic rhinometry: Values from adults with subjective normal patency. *Rhinology* 1991;29:35–47.
4. Hilberg O, Jackson AC, Swift DL, et al. Acoustic rhinometry: evaluation of nasal cavity by acoustic reflection. *J Appl Physiol* 1989;66:295–303.

entsprechend berichteten acht von zehn Patienten über eine deutlich gebesserte Nasenatmung nach Gaumennahterweiterung.

Obwohl sich Zahnbogenweite, apikale Basis, Gaumen- und Nasenvolumen durch die Gaumennahterweiterung gleichsinnig und signifikant vergrößerten, ließ sich kein unmittelbarer Zusammenhang zwischen den jeweiligen individuellen Ausmaßen der Vergrößerungen in den drei genannten Ebenen verifizieren.

Wir führen dies am ehesten auf die methodischen Grenzen der gewählten modellanalytischen Untersuchungsverfahren zurück, da der forcierten Gaumennahterweiterung regelmäßig eine zum Teil sehr starke Umformung des Zahnbogens folgt [2]. Je nach Ausmaß der transversalen Erweiterung mit anschließendem Lückenschluss des geschaffenen Diastemas und/oder je nach Stärke der Engstände wird im Laufe der kieferorthopädischen Behandlung der 6-Jahr-Molar des Oberkiefers mehr oder weniger mesialisiert. Auch schon kurz nach der Entfernung der Gaumennahterweiterungsapparatur ergeben sich Veränderungen in der Molarenstellung, da durch die forcierte transversale Erweiterung des Zahnbogens die jahrelange Verschlüsselung der Okklusion aufgehoben wird und der Molar sich nun bei genügend Platz im Zahnbogen durch die natürliche Mesialdrift verschieben kann. Da die distale Begrenzungsfläche des Molaren jedoch einen Referenzpunkt für die Bestimmung aller morphometrischen Daten darstellt, wird somit der messbare Effekt mit zunehmender Dehnungsstrecke verringert, aber nicht aufgehoben (Abbildung 6).

Die sonographischen Untersuchungen zeigen, dass sich die Bewegung der Oberkiefersegmente unmittelbar im Bereich der apikalen Basis des Oberkiefers visualisieren und quantifizieren lässt. Eine sichere Kontrolle des Osteotomieerfolgs ist sonographisch möglich; die radiologische Darstellung muss nicht grundsätzlich gefordert werden. Eine dia-

5. Klueglein A. Zur metrischen Erfassung der apikalen Basis – ein neues mechanisches Übertragungsgerät. Mainz: Med. Diss., 1985.
6. Kunkel M, Hochban W. Acoustic rhinometry: a new diagnostic procedure – experimental and clinical experience. *Int J Oral Maxillofac Surg* 1994;23:409–12.
7. Proffit WR, White RP Jr. Crossbite and open-bite problems. In: Proffit WR, White RP Jr. *Surgical-orthodontic treatment*. St. Louis: Mosby – Year Book, 1991:554–8.
8. Sergl HG, Kerr WJS, McColl JH. A method of measuring the apical base. *Eur J Orthod* 1996;18:479–83.
9. Subtelny JD. Oral respiration: Facial maldevelopment and corrective dentofacial orthopedics. *Angle Orthod* 1980;50:147–64.
10. Timms DJ. Forcierte Gaumennahterweiterung. Berlin: Quintessenz, 1986:123–36.
11. Ware JA, Aki K. Continuous and discrete inverse-scattering problems in a stratified elastic medium. I. Plane waves at normal incidence. *J Acoust Soc Am* 1969;45:911–21.
12. Warren DW, Hershey GH, Turvey TA, et al. The nasal airway following maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1987; 91:111–6.
13. Wriedt S, Sergl HG. Untersuchungen zur Abhängigkeit morphologischer Parameter des Gesichtsschädels vom Gaumenvolumen bei Patienten mit unilateraler LKG-Spalte. *Stomatologie* 1999;96:13–7.
14. Zöllner J, Ullrich H. Die kombinierte chirurgisch-kieferorthopädische Gaumennahterweiterung im Erwachsenenalter. *Fortschr Kieferorthop* 1991;52:61–5.

Correspondence Address

Dr. Susanne Wriedt
Poliklinik für Kieferorthopädie
Klinikum der Johannes-Gutenberg-Universität
Augustusplatz 2
55101 Mainz
Germany
Phone (+49/6131) 173030, 924682, Fax 175569
e-mail: wriedt@kieferortho.klinik.uni-mainz.de

gnostische Strahlenexposition kann durch sonographische Kontrollen des Dehnungsverlaufs weitgehend vermieden werden. Durch die sonographische Bestimmung der Reossifizierung besteht die Möglichkeit, ohne Strahlenbelastung die Retentionszeit nach der Gaumennahterweiterung entsprechend dem individuellen Fortschritt der Reossifikation anzupassen.

Schlussfolgerung

Die knöchernen Veränderungen durch eine chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung bleiben auch beim erwachsenen Patienten nicht auf die dentoalveoläre Region beschränkt, sondern betreffen sowohl die apikale Basis des Oberkiefers und das Gaumenvolumen als auch die Nasenhöhle. Moderne nicht invasive Untersuchungsverfahren erlauben ergänzend zu modellanalytischen Parametern eine Abschätzung dieser skelettalen Auswirkungen auf maxillär-basaler und nasaler Ebene. Das Ausmaß der skelettalen Dimensionsänderungen ist dabei im Einzelfall nicht unmittelbar mit dem Betrag der dentoalveolären Dehnung korreliert, sodass eine individuelle Prognose der skelettalen Weitung allein aus der Bestimmung dentoalveolärer Dehnungsmaße nicht möglich erscheint. Durch die Einbeziehung sonographischer Verlaufskontrollen erscheint insbesondere eine Individualisierung der Retentionsdauer ohne zusätzliche diagnostische Strahlenbelastung möglich.