

## Wpływ szybkiego poszerzenia szczęki na objętość górnych dróg oddechowych ocenianą w badaniu rynometrii akustycznej – przegląd piśmiennictwa

## *Effects of rapid maxillary expansion on the upper airway volume as evaluated by acoustic rhinometry – a literature review*

Konrad Kamiński <sup>ABCD</sup> (ORCID ID: 0000-0003-3363-4205)

Konrad Perkowski <sup>AEEF</sup> (ORCID ID: 0000-0002-6188-9670)

Michał Kiełczykowski <sup>B</sup> (ORCID ID: 0000-0003-1965-4584)

Małgorzata Zadurska <sup>F</sup> (ORCID ID: 0000-0002-2303-4102)

**Wkład autorów:** <sup>A</sup> Plan badań <sup>B</sup> Zbieranie danych <sup>C</sup> Analiza statystyczna <sup>D</sup> Interpretacja danych <sup>E</sup> Redagowanie pracy <sup>F</sup> Wyszukiwanie piśmiennictwa

**Authors' Contribution:** <sup>A</sup> Study design <sup>B</sup> Data Collection <sup>C</sup> Statistical Analysis <sup>D</sup> Data Interpretation <sup>E</sup> Manuscript Preparation <sup>F</sup> Literature Search

Zakład Ortodontji, Warszawski Uniwersytet Medyczny  
*Department of Orthodontics, Medical University of Warsaw*

### Streszczenie

Zwężeniu szczęki towarzyszy zmniejszenie objętości jamy nosowej oraz najmniejszej powierzchni przekroju jamy nosowej na wysokości zastawki nosa. Jedną z metod leczenia zwężenia szczęki jest jej szybkie poszerzenie. **Cel.** Celem pracy było przedstawienie na podstawie dostępnego piśmiennictwa wpływu szybkiego poszerzenia szczęki na objętość górnych dróg oddechowych ocenianą w badaniu rynometrii akustycznej. **Materiał i metody.** W oparciu o bazę danych PubMed dokonano przeglądu artykułów

### Abstract

Maxillary stenosis is accompanied by diminished nasal cavity volume and the minimal cross-sectional area at the nasal valve level. One method of treating maxillary narrowing is rapid maxillary expansion. **Aim.** The aim of this study was to present, based on the available literature, the effects of rapid maxillary expansion on the upper airway volume as evaluated by acoustic rhinometry. **Material and methods.** Using the PubMed database, articles published between 2001 and 2023 were reviewed. The following keywords

Adres do korespondencji/*Correspondence address:*

Konrad Kamiński  
Zakład Ortodontji, Warszawski Uniwersytet Medyczny  
ul. Binieckiego 6, 02-097, Warszawa  
e-mail: konrad.kaminski@wum.edu.pl



Copyright: © 2005 Polish Orthodontic Society. This is an Open Access journal, all articles are distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), allowing third parties to copy and redistribute the material in any medium or format and to remix, transform, and build upon the material, provided the original work is properly cited and states its license.

publikowanych w latach 2001–2023. Posłużono się słowami kluczowymi: RME, AR, rapid maxillary expansion, acoustic rhinometry, używając operatorów logicznych w następujący sposób: RME or rapid maxillary expansion and AR or acoustic rhinometry. Po analizie 60 publikacji do przeglądu zakwalifikowano 13 artykułów odpowiadających tematyce pracy. Kryteria włączenia obejmowały: pacjentów bez chorób dziedzicznych, liczbę badanych większą lub równą 10, badanie rymetrii akustycznej, poszerzenie szczęki metodą RME. Kryteria wykluczenia obejmowały: przeglądy piśmiennictwa, wiek pacjentów poniżej 5 lat, pacjentów z wadami rozwojowymi, brak badania rymetrii akustycznej, jak również pacjentów u których zastosowano procedurę SARME. **Wyniki.** Większość badaczy wykazała, że szybka ekspansja szczęki spowodowała wzrost najmniejszej powierzchni przekroju jamy nosowej oraz objętości jamy nosowej. Średnie wzrosty wymiarów jamy nosowej były niewielkie, ale spadek oporu przepływu powietrza przez nos okazał się zjawiskiem często obserwowanym. Rozbieżności w wynikach niektórych badaczy sugerują występowanie indywidualnej podatności pacjenta na przeprowadzone leczenie. **Wnioski.** Na podstawie analizy piśmiennictwa nie można jednoznacznie stwierdzić, że wzrosty minimalnej powierzchni przekroju jamy nosowej oraz całkowitej objętości jamy nosowej są powszechnym i zawsze występującym następstwem szybkiego poszerzenia szczęki. (Kamiński K, Perkowski K, Kiełczykowski M, Zadurska M. Wpływ szybkiego poszerzenia szczęki na objętość górnych dróg oddechowych ocenianą w badaniu rymetrii akustycznej – przegląd piśmiennictwa. *Forum Ortod* 2023; 19 (1-2): 35-45).

Nadesłano: 22.03.2023

Przyjęto do druku: 12.06.2023

<https://doi.org/10.5114/for.2023.130177>

**Słowa kluczowe:** wady zgryzu, zgryz krzyżowy, szybkie poszerzenie szczęki, rymetria akustyczna

## Wstęp

Zwężeniu szczęki towarzyszą nie tylko zgryzy krzyżowe częściowe boczne, ale również zmniejszona objętość jamy nosowej oraz najmniejsza powierzchnia przekroju jamy nosowej na wysokości zastawki nosa, co może stanowić czynnik utrudniający fizjologiczne oddychanie przez nos (1). Jedną z metod leczenia zgryzu krzyżowego częściowego bocznego jest szybkie poszerzenie szczęki (RME, Rapid Maxillary Expansion), które wpływa również na jamę nosową (2–6). Poszerzenie szczęki można uzyskać, rozkręcając śrubę do ekspansji poprzecznej według różnych protokołów, począwszy od 0,125 mm na dzień aż do 0,5 mm dziennie oraz stosując aparaty o zróżnicowanym zakotwieniu. Aparaty zakotwione zębowo mają w swojej konstrukcji akrylowe szyny obejmujące powierzchnie żujące zębów bocznych lub

used were: RME, AR, rapid maxillary expansion, acoustic rhinometry, using logical operators as follows: RME or rapid maxillary expansion and AR or acoustic rhinometry. After analyzing 60 publications, thirteen articles corresponding to the subject of the paper were eligible for review. Inclusion criteria included: subjects without hereditary diseases, number of subjects greater than or equal to 10, acoustic rhinometry test, maxillary expansion with RME. Exclusion criteria included: literature reviews, age of patients under 5 years, patients with malformations, no acoustic rhinometry test, as well as patients who underwent the SARME procedure. **Results.** Most authors demonstrated that rapid maxillary expansion results in an increase in the minimal cross-sectional area and the nasal cavity volume. Average dimension increases were small, but a decrease in the nasal airway resistance was a frequently observed phenomenon. Discrepancies in the results of some researchers suggest the presence of individual patient susceptibility to the treatment provided. **Conclusions.** On the basis of a literature review, it is not possible to state unanimously that increases in the minimal cross-sectional area and total nasal cavity volume are common and always occurring consequences of rapid maxillary expansion. (Kamiński K, Perkowski K, Kiełczykowski M, Zadurska M. Effects of rapid maxillary expansion on the upper airway volume as evaluated by acoustic rhinometry – a literature review. *Orthod Forum* 2023; 19 (1-2): 35-45).

Received: 22.03.2023

Accepted: 12.06.2023

<https://doi.org/10.5114/for.2023.130177>

**Key words:** malocclusions, crossbite, rapid maxillary expansion, acoustic rhinometry

## Introduction

Maxillary stenosis is characterized by more than just a partial lateral crossbite; it also results in a diminished nasal cavity volume and the minimal cross-sectional area at the nasal valve level. These factors can hinder normal nasal breathing. (1). One method of treating partial lateral crossbite is rapid maxillary expansion (RME), which also affects the nasal cavity (2–6). To achieve maxillary expansion, you can rotate the transverse expansion screw using different protocols. This process typically begins at a rate of 0.125 mm per day and can be gradually increased up to 0.5 mm per day. Additionally, appliances with varying anchorage can be used. Tooth-anchored braces utilize acrylic splints that cover the chewing surfaces of the lateral teeth or rings that are cemented to the permanent teeth. In recent years, there has been a growing trend in utilizing skeletal anchorage as the primary method of appliance retention, either

pierścienie zacementowane na zębach stałych. W ostatnich latach coraz częściej wykorzystuje się zakotwienie szkieletowe jako jedyną metodę utrzymania aparatu lub w połączeniu z pierścieniami na zębach pierwszych trzonowych stałych (1–12).

Metod pomiaru wpływu szybkiego poszerzenia szczęki na górne drogi oddechowe jest kilka. Na przestrzeni ostatnich lat wykorzystywano do tego celu między innymi teleradiogramy głowy w projekcji P–A, pozwalające na zmierzenie zmiany szerokości jamy nosowej, lub teleradiogramy boczne głowy, pozwalające ocenić przednio-tylny wymiar nosowej części gardła. Nie są one jednak w stanie zapewnić pomiarów objętościowych, kluczowych dla szacowania przepływu powietrza przez drogi oddechowe (8, 9, 13–15). Kolejnymi metodami są tomografia komputerowa oraz tomografia komputerowa wiązki stożkowej, które nie mogą być polecane do rutynowego stosowania ze względu na wyższe koszty oraz dawki promieniowania jonizującego, a także brak kontroli nad głębokością oddechu, ruchami wdechowymi i wydechowymi, jak również ewentualnym aktem połknięcia podczas kilkudziesięciosekundowego skanu (2–5, 16–32). Do wykorzystywanych powszechnie metod nieinwazyjnych można zaliczyć rynomaniometrię oraz rynomaniometrię akustyczną (1–3, 5–11, 13, 32–34). Rynomaniometria jest techniką wymagającą współpracy pacjenta, natomiast rynomaniometria akustyczna, jako procedura dokładna, powtarzalna, szybka w wykonaniu i nie wymagająca dużych nakładów finansowych, wydaje się być najlepszym sposobem pomiaru zmian zachodzących w górnych drogach oddechowych na wysokości jamy nosowej po szybkim poszerzeniu szczęki (1, 2, 8, 35–37).

## Cel

Celem pracy było przedstawienie na podstawie dostępnego piśmiennictwa wpływu szybkiego poszerzenia szczęki na objętość górnych dróg oddechowych, ocenianą w badaniu rynometrii akustycznej.

## Materiał i metody

W oparciu o bazę danych PubMed dokonano przeglądu 60 artykułów publikowanych w latach 2001–2023. Posłużono się słowami kluczowymi: RME, AR, rapid maxillary expansion, acoustic rhinometry, używając operatorów logicznych w następujący sposób: RME or rapid maxillary expansion and AR or acoustic rhinometry. Po wstępnej selekcji, na podstawie tytułów oraz abstraktów publikacji, do analizy wybrano 33 artykuły. Do przeglądu zakwalifikowano 13 artykułów odpowiadających tematyce pracy (Ryc. 1). Kryteria włączenia obejmowały: liczbę badanych większą lub równą 10, badanie rynometrii akustycznej, poszerzenie szczęki metodą RME, pacjentów bez chorób dziedzicznych. Kryteria wykluczenia obejmowały: przeglądy

independently or in conjunction with rings placed on the permanent first molars (1–12).

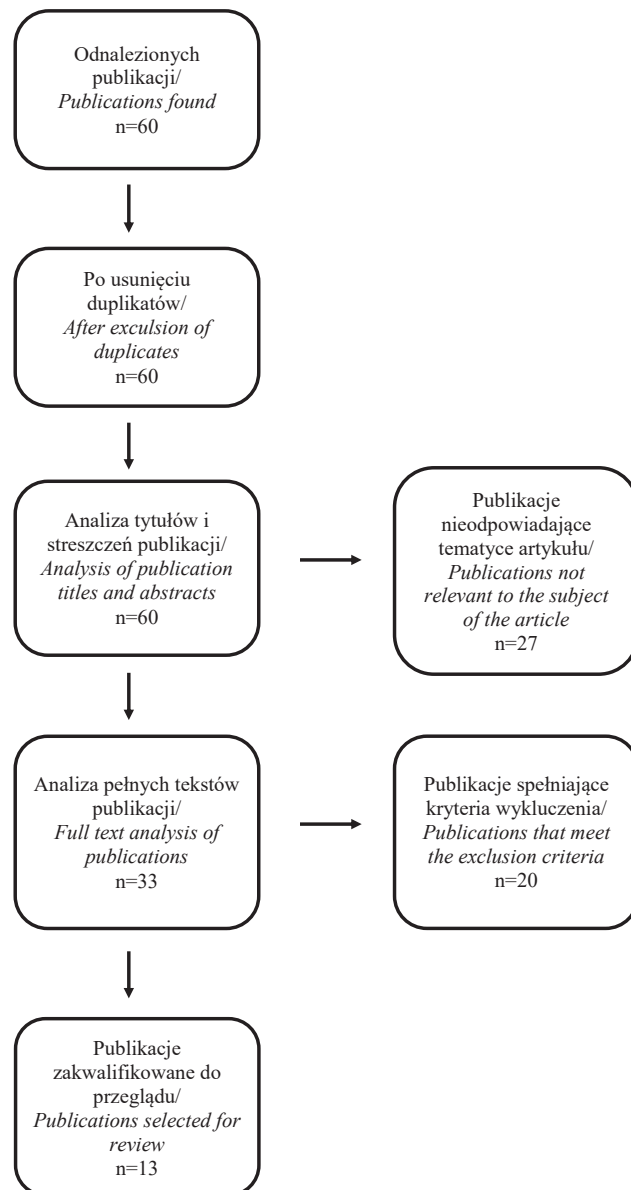
There are several methods for measuring the impact of rapid maxillary expansion on the upper airways. In recent years, various imaging techniques have been employed for this purpose, such as cephalograms in the P–A projection that enable the measurement of nasal cavity width changes. In contrast, lateral cephalograms have been utilized to evaluate the anterior-posterior dimension of the nasal pharynx. However, they are not able to provide volumetric measurements, which are crucial for estimating airflow through the airways (8, 9, 13–15). Other methods, such as CT and cone beam computed tomography, cannot be recommended for routine use due to their higher costs and doses of ionizing radiation. Furthermore, these methods lack control over breathing depths, inspiratory and expiratory movements, and the potential occurrence of swallowing during scans that typically last for a few tens of seconds (2–5, 16–32). Non-invasive methods commonly used include rhymanometry and acoustic rhinometry (1–3, 5–11, 13, 32–34). While rhymanometry is a technique that relies on patient cooperation, acoustic rhinometry emerges as the most suitable method to measure changes in the upper airway at the level of the nasal cavity after rapid maxillary expansion because it is accurate, reproducible, quick to perform, and cost-effective (1, 2, 8, 35–37).

## Aim

The aim of this study was to present, based on the available literature, the effects of rapid maxillary expansion on the upper airway volume as evaluated by acoustic rhinometry.

## Material and methods

Using the PubMed database, 60 articles published between 2001 and 2023 were reviewed. The following keywords used were: RME, AR, rapid maxillary expansion, acoustic rhinometry, using logical operators as follows: RME or rapid maxillary expansion and AR or acoustic rhinometry. After a preliminary selection, based on the titles and abstracts of the publications, 33 articles were selected for analysis. Thirteen articles corresponding to the subject of the paper were eligible for review (Figure 1). Inclusion criteria included: number of subjects greater than or equal to 10, acoustic rhinometry test, maxillary expansion with RME, patients without hereditary diseases. Exclusion criteria included: literature reviews, age of patients under 5 years, patients with malformations, no acoustic rhinometry test, patients who underwent the SARME procedure. In papers that included both the RME study group and the SARME study group we solely concentrated on the results of the RME group.



Rycina 1. Prisma Flow Diagram

Figure 1. Prisma Flow Diagram

piśmiennictwa, wiek pacjentów poniżej 5 lat, pacjentów z wadami rozwojowymi, brak badania rymetrii akustycznej, pacjentów u których zastosowano procedurę SARME. W pracach, w których oprócz grupy badawczej RME występowała również grupa badawcza SARME, skupiono się wyłącznie na wynikach grupy RME.

## Wyniki

Przeprowadzone w ostatnich dekadach badania wykazały pozytywny wpływ szybkiego poszerzenia szczęki na rozwój fizyczny, zdrowie ogólne oraz wyniki sportowe, a nawet normalizację wskaźnika AHI (AHI, Apnea-Hypopnea Index)

## Results

Studies conducted in recent decades have demonstrated the beneficial effects of rapid maxillary expansion on physical development, general health, sports performance, and even the potential for normalizing the Apnea-Hypopnea Index (AHI) in children with obstructive sleep apnea syndrome (3, 38–40). These findings result from the various changes that take place after RME, including the widening of the outer walls of the nasal cavity, lowering of the palatal vault, straightening of the nasal septum, widening of the anterior nostrils, and even alterations in the position of the tongue and mandible (2–6, 9, 41, 42). Various methods are used to measure the effects of rapid maxillary expansion on the

u dzieci z zespołem obturacyjnego bezdechu sennego (3, 38–40). Wyniki te są konsekwencją zachodzących po RME zmian, takich jak poszerzenie zewnętrznych ścian jamy nosowej, obniżenie sklepienia podniebienia, prostowanie przegrody nosa, poszerzenie nozdrzy przednich, a nawet zmiany pozycji języka oraz zuchwy (2–6, 9, 41, 42). W celu pomiaru efektu szybkiego poszerzenia szczęki na górne drogi oddechowe wykorzystywane są różne metody, między innymi: teleradiogramy boczne głowy oraz teleradiogramy głowy w projekcji P–A, CBCT, CT, rymetria akustyczna oraz rynomanometria (1–15, 17–34).

Pośród różnych metod pomiaru przepływu powietrza przez nos coraz większą popularnością cieszy się rymetria akustyczna (AR, Acoustic Rhinometry). Badanie wprowadzone przez Hildberga w 1989 roku umożliwia anatomiczny opis jamy nosowej i opiera się na fakcie, że zmiany w powierzchni przekroju jamy nosowej wpływają na impedancję akustyczną. Impulsy akustyczne generowane przez urządzenie przechodzą przez jamę nosową, a ich odbicia od struktur w jej wnętrzu są rejestrowane przez mikrofon. Następnie, przy użyciu odpowiedniego oprogramowania są wzmacniane, filtrowane i konwertowane, dając wykres zależności powierzchni przekroju od głębokości jamy nosowej. Badanie jest nieinwazyjne, dokładne, powtarzalne i pozwala ocenić minimalne pole przekroju poprzecznego jamy nosowej (MCA, Minimal Cross-sectional Area) oraz objętość jamy nosowej (NCV, Nasal Cavity Volume), a także dzięki odpowiedniemu oprogramowaniu obliczyć opór przepływu powietrza przez nos (NAR, Nasal Airway Resistance) (1, 2, 8, 11, 35–37).

Pośród wybranych artykułów w siedmiu badaniach rymetria akustyczna była jedyną metodą pomiarową, a w pięciu badaniach uwzględniono grupę kontrolną (1, 3, 5–7, 9–11, 32). Liczba pacjentów poddanych leczeniu wynosiła od 10 do 61, a czas obserwacji wynosił od trzech miesięcy do pięciu lat (1, 2, 7, 13, 32). Choć znaczna liczba autorów postuluje, że warunki podstawowe, czyli bez podawania środków obkurczających błonę śluzową, są bardziej realistyczne podczas oceny zmienności anatomicznych jamy nosowej, to w aż dziewięciu badaniach wykorzystano leki obkurczające błonę śluzową nosa (1–3, 5, 7–12, 32, 43). Porównanie 13 wybranych publikacji przedstawiono w tabeli 1.

Badania koncentrujące się na NAR (Nasal Airway Resistance) wykazały, że szybkie poszerzenie szczęki powoduje zmniejszenie oporu przepływu powietrza przez nos o 32,30% przed podaniem środków obkurczających błonę śluzową nosa oraz od 25,50% do 51,80% po ich podaniu (6, 10). Niezależnie od zastosowania leków obkurczających błonę śluzową badacze nie wykazali istotnej statystycznie różnicy pomiędzy wynikami odnoszonymi do NCV, jak i MCA (3, 10). Ponad połowa badanych zgłosiła, że odczuła poprawę możliwości oddychania przez nos (6, 10). Dalsza 5-letnia obserwacja pacjentów podczas leczenia aparatami stałymi cienkołukowymi, oraz w okresie retencji po tym leczeniu, udowodniła utrzymujące się zmniejszenie oporu

upper airways, and they include lateral cephalograms and cephalograms in the P-A projection, CBCT, CT, acoustic rhinometry, and rhinomanometry (1–15, 17–34).

Among the various methods of measuring nasal airflow, acoustic rhinometry (AR) is becoming increasingly popular. This examination, introduced by Hildberg in 1989, allows an anatomical description of the nasal cavity and is based on the fact that changes in the cross-sectional area of the nasal cavity affect the acoustic impedance. Acoustic pulses generated by the device pass through the nasal cavity, and a microphone records their reflections from structures inside. Then, using appropriate software, they are amplified, filtered, and converted, yielding a graph of the relationship of the cross-sectional area to the depth of the nasal cavity. The examination is non-invasive, accurate, reproducible, and allows us to assess the minimal cross-sectional area (MCA) of the nasal cavity and the nasal cavity volume (NCV), as well as, with the appropriate software, to calculate nasal airway resistance (NAR) (1, 2, 8, 11, 35–37).

Of the selected articles, acoustic rhinometry was the only measurement method in seven studies, and five studies included a control group (1, 3, 5–7, 9–11, 32). The number of patients treated ranged from 10 to 61, and the follow-up time ranged from three months to five years (1, 2, 7, 13, 32). Although a significant number of authors postulate that baseline conditions, i.e., no administration of mucosal decongestants, are more realistic when assessing the anatomical variability of the nasal cavity, as many as nine studies have used nasal decongestants (1–3, 5, 7–12, 32, 43). Table 1 shows a comparison of the 13 selected publications.

Studies focusing on NAR (Nasal Airway Resistance) have shown that rapid maxillary expansion results in a 32.30% reduction in nasal airway resistance before nasal decongestant administration and from 25.50% to 51.80% after their administration (6, 10). Regardless of the use of nasal decongestants, the researchers showed no statistically significant differences between the results related to both NCV and MCA (3, 10). More than half of the subjects reported that they felt an improvement in their ability to breathe through their noses (6, 10). Further 5-year follow-up of patients during treatment with permanent thin-wire appliances and during the retention period after this treatment proved a sustained reduction in the nasal airway resistance, and the absolute NAR values in the treatment group were comparable to those in the control group (1). In addition, during the long follow-up period, the nasal cavity volume increased during the 3–6 month retention period after RME (by an average of 21.00%) and increased even further during treatment with a permanent thin-wire appliance by another 12.00%, ultimately reaching a stable state by the end of the follow-up period. Similarly, an increase in MCA of 23.00% on average was observed during the 3–6 month retention period after RME and remained stable until the end of the study. The authors concluded that the long-term effects were

**Tabela 1. Porównanie publikacji**  
**Table 1. Publication comparison**

<b>Piśmiennictwo</b> <i>References</i>	<b>Grupa badana</b> <i>Study group</i>	<b>Wiek (lata)</b> <i>Age (years)</i>	<b>Rodzaj interwencji</b> <i>Type of intervention</i>	<b>Czas obserwacji</b> <i>Observation time</i>	<b>Wpływ na górne drogi oddechowe</b> <i>Effects on the upper airways</i>
De Felipe et al. (2009)	n=25	8-16	RME 0,125 - 0,5 mm/dzień Aparat stały cienkołukowy/ RME 0,125 - 0,5 mm/day Edgewise appliance	60 miesięcy/ 60 months	Tak/ Yes
Doruk et al. (2007)	n=10	12-14	RME 0,25 - 0,5 mm/dzień 0,25 - 0,5 mm/day	6 miesięcy/ 6 months	Tak/ Yes
Sökücü et al. (2010)	n=30	12,46	RME 0,5 mm/dzień 0,5 mm/day	6 miesięcy/ 6 months	Tak/ Yes
Babacan et al. (2006)	n=10	12,30	RME 0,25 mm/dzień 0,25 mm/day	6 miesięcy/ 6 months	Tak/ Yes
Oliveira De Felipe et al. (2008)	n=38	8-16	RME 0,125 - 0,5 mm/dzień 0,125 - 0,5 mm/day	12 miesięcy/ 12 months	Tak/ Yes
Bicakci et al. (2005)	n=29	11,66	RME 0,5 mm/dzień 0,5 mm/day	3 miesiące/ 3 months	Tak/ Yes
Ceroni Compadretti et al. (2006)	n=14	7-10	RME 0,5 mm/dzień 0,5 mm/day	12 miesięcy/ 12 months	Niejednoznaczny/ Inconclusive
Compadretti et al. (2006)	n=27	5-13	RME 0,5 mm/dzień 0,5 mm/day	12 miesięcy/ 12 months	Tak/ Yes
Doruk et al. (2004)	n=22	10-15	RME 0,25 - 0,5 mm/dzień 0,25 - 0,5 mm/day	9 miesięcy/ 9 months	Tak/ Yes
Gokce et al. (2022)	n=46	12,80	RME 0,25 - 0,5 mm/dzień 0,25 - 0,5 mm/day	6 miesięcy/ 6 months	Tak/ Yes
Matsumoto et al. (2010)	n=29	7-10	RME	30 miesięcy/ 30 months	Niejednoznaczny/ Inconclusive
Matsumoto et al. (2010)	n=29	7-10	RME	3 miesiące/ 3 months	Nie/ No
Kabalan et al. (2015)	n=61	11-17	RME 0,125 - 0,5 mm/dzień 0,125 - 0,5 mm/day	6 miesięcy/ 6 months	Nie/ No

przepływu powietrza przez nos, a wartości bezwzględne NAR w grupie leczonej były porównywalne z wartościami w grupie kontrolnej (1). Dodatkowo, podczas długiego okresu obserwacji okazało się, że wzrost objętości jamy nosowej zwiększył się w okresie 3–6 miesięcy retencji po RME (średnio o 21,00%) i rósł dalej podczas leczenia aparatem stałym cienkołukowym o kolejne 12,00%, nie zmieniając się już do końca okresu obserwacji. Podobnie wzrost MCA średnio o 23,00% wystąpił w okresie 3–6 miesięcy retencji po RME i pozostał stabilny do końca badania. Autorzy uznali, że wpływ na długoterminowe efekty miały najprawdopodob-

most likely affected by the combined effects of RME, treatment with a permanent thin-wire appliance, bone growth and remodeling (1).

Among patients with a mean age of 8.2 years, AR measurements taken one year after RME showed statistically significant changes in the total nasal cavity volume after administration of nasal decongestants – by an average of 1.330 cm<sup>3</sup> (8). Similar results were obtained in a slightly older group with a mean age of 9.5 years, with an increase in the nasal cavity volume of 1.442 cm<sup>3</sup> after administration of decongestants, and 0,652 cm<sup>3</sup> respectively under baseline

niej połączone efekty RME, terapii aparatem stałym cienkołukowym oraz wzrost i przebudowa kości (1).

Wśród pacjentów ze średnią wieku 8,2 lat pomiar AR wykonany rok po RME wykazał istotne statystycznie zmiany całkowitej objętości jamy nosowej po podaniu środków obkurczających – średnio o 1,330 cm<sup>3</sup> (8). Podobne wyniki uzyskano w nieco starszej grupie o średniej wieku 9,5 roku, uzyskując wzrost objętości jamy nosowej odpowiednio o 1,442 cm<sup>3</sup> po podaniu leków obkurczających oraz o 0,652 cm<sup>3</sup> w warunkach podstawowych (9). W najmłodszych grupach pacjentów zmiany minimalnej powierzchni przekroju były bardzo zmienne osobniczo. Autorzy podają zwiększenie MCA średnio o 0,150 cm<sup>2</sup> w warunkach podstawowych, 0,170 cm<sup>2</sup> po podaniu leków obkurczających błonę śluzową, choć nie we wszystkich badaniach zmiany osiągnęły próg istotności statystycznej. Autorzy tych badań podali zmianę toru oddychania z ustnego na nosowy w ponad połowie przypadków pacjentów ze średnią wieku 8,2 lat oraz w mniej niż połowie u pacjentów ze średnią wieku 9,5 roku (8, 9).

W starszych grupach pacjentów, o średniej wieku między 12 a 13 lat, zmiany objętości jamy nosowej oraz najmniejszej powierzchni przekroju wykazywały się znaczną zmiennością. Wzrost objętości jamy nosowej wahał się od 13,80% do 29,00% w warunkach podstawowych lub od 13,28% do 39,00% po podaniu leków obkurczających (2, 3, 5). MCA rosła o 20,00% w warunkach podstawowych przy wykorzystaniu śruby zawiasowej, o 22,80% przy zastosowaniu śruby Hyrax, aż do 28,00% po zastosowaniu śruby Hyrax i środków obkurczających błonę śluzową nosa (3, 6). Pacjenci leczeni aparatem ze śrubą Hyrax wykazywali większą stabilność uzyskanych efektów w czasie 6-miesięcznej retencji niż grupa leczona aparatem ze śrubą zawiasową (3).

Różnicując pacjentów względem pozostałego potencjału wzrostu, można zauważyć niewielkie, ale statystycznie istotne różnice pomiędzy pacjentami leczonymi przed skokiem wzrostowym (CVM 1–3) oraz w trakcie lub tuż po nim (CVM 4–6). Wyniki badań Bicakci i wsp. pokazały, że wzrost najmniejszej powierzchni przekroju wzrósł średnio o 0,34 cm<sup>2</sup> w grupie leczonej przed skokiem wzrostowym i 0,19 cm<sup>2</sup> w grupie leczonej po skoku wzrostowym. Efekty leczenia wykazały większą stabilność w grupie o stadium CVM 1–3 (7). Podobne wyniki uzyskali Gokce i wsp., którzy w grupie pacjentów przed skokiem wzrostowym (CVM 1–3) uzyskali wzrost MCA bezpośrednio po ekspansji średnio o 0,14 cm<sup>2</sup> bez względu na to, czy aparat ze śrubą Hyrax zakotwiony był na zębach i tkankach miękkich, czy szkieletowo (11). W każdym badaniu, a w szczególności z udziałem pacjentów w wieku rozwojowym, istotne znaczenie odgrywa inwazyjność metody pomiaru oraz jej potencjalne działania niepożądane. Na szczególną uwagę zasługują więc badania porównujące dokładność uzyskanych wyników przy zastosowaniu równych metod. Doruk i wsp., porównując objętość jamy nosowej u pacjentów rosnących, u których przeprowadzono zabieg RME, korzystali zarówno z rymetrii akustycznej jak i tomografii

conditions (9). In the youngest groups of patients, changes in the minimal cross-sectional area were highly variable individually. The authors report an average increase in MCA of 0.150 cm<sup>2</sup> under baseline conditions, 0.170 cm<sup>2</sup> after administration of nasal decongestants, although the changes did not reach the statistical significance threshold in all studies. The authors of these studies reported a change in breathing pattern from oral to nasal in more than half of patients with a mean age of 8.2 years and in less than half of patients with a mean age of 9.5 years (8, 9).

In the older groups of patients, with a mean age between 12 and 13 years, changes in the nasal cavity volume and minimal cross-sectional area showed significant variability. The increase in the nasal cavity volume ranged from 13.80% to 29.00% under baseline conditions or from 13.28% to 39.00% after administration of decongestants (2, 3, 5). MCA increased by 20.00% in baseline conditions when the hinged screw was used, by 22.80% when the Hyrax screw was used, up to 28.00% when the Hyrax screw and nasal decongestants were used (3, 6). Patients treated with an appliance with the Hyrax screw showed greater stability of the achieved results at 6-month retention than the group treated with the hinged screw appliance (3).

Differentiating patients in terms of residual growth potential, there are small but statistically significant differences between patients treated before the growth spurt (CVM 1–3) and during or just after it (CVM 4–6). The results of studies by Bicakci et al. showed that the increase in the minimal cross-sectional area increased by an average of 0.34 cm<sup>2</sup> in the group treated before the growth spurt and 0.19 cm<sup>2</sup> in the group treated after the growth spurt. Treatment effects showed greater stability in the group with CVM stage 1–3 (7). Similar results were obtained by Gokce et al. who, in a group of patients before growth spurt (CVM 1–3), obtained an increase in MCA immediately after expansion by an average of 0.14 cm<sup>2</sup> regardless of whether the Hyrax screw appliance was anchored to the teeth and soft tissues or skeletally (11). The invasiveness of a measurement method and its potential side effects play an essential role in any study, especially studies involving patients at developmental age. Particularly noteworthy; therefore, are the studies that compare the accuracy of results obtained using identical methods. Doruk et al. used both acoustic rhinometry and cone beam computed tomography to compare the nasal cavity volume in growing patients who had RME performed. Six months after the start of treatment, the mean increase in the nasal cavity volume measured by CBCT was 11.16%, and by acoustic rhinometry, it increased by 13.28%. Both measurements were statistically significant while showing no differences between the methods. The authors assessed that the results prove the accuracy and reliability of acoustic rhinometry, which can be the preferred method for assessing changes in the nasal cavity volume due to its non-invasiveness (2).

Although the vast majority of studies confirm the positive effect of rapid maxillary expansion on increasing the nasal

komputerowej wiązki stożkowej. Sześć miesięcy od rozpoczęcia leczenia średni wzrost objętości jamy nosowej mierzony za pomocą CBCT wyniósł 11,16%, a za pomocą rymetrii akustycznej wzrósł o 13,28%. Oba pomiary były istotne statystycznie, nie wykazując jednocześnie różnic pomiędzy metodami. Autorzy ocenili, że wyniki dowodzą dokładności oraz niezawodności rymetrii akustycznej, która może być preferowaną metodą do oceny zmian objętości jamy nosowej dzięki braku inwazyjności (2).

Mimo że przeważająca większość badań potwierdza pozytywny wpływ szybkiego poszerzenia szczęki na zwiększenie objętości jamy nosowej, zwiększenie najmniejszej powierzchni przekroju na wysokości zastawki nosa oraz spadek oporu przepływu powietrza przez nos, do innych wniosków doszli Kabalan i wsp. W swojej pracy zbadali 61 pacjentów z poprzecznym deficytem szczęki, których podzielili w sposób zrandomizowany na 3 grupy: grupę kontrolną, grupę leczoną metodą RME za pomocą ekspandera opartego na zębach oraz grupę leczoną RME za pomocą ekspandera zakotwionego szkieletowo. Pacjenci mieli wykonane badania AR (w warunkach podstawowych oraz po podaniu leków obkurczających błonę śluzową) i CBCT przed leczeniem oraz po 6 miesiącach od ostatniej aktywacji aparatu. Zaobserwowano niewielkie zmiany objętości jamy nosowej oraz najmniejszej powierzchni przekroju bez istotnych statystycznie różnic pomiędzy badanymi grupami (32).

Niejednoznaczne wyniki uzyskali również Enoki i wsp., oceniając 29 pacjentów (16 kobiet, 13 mężczyzn) w wieku od 7 do 10 lat leczonych metodą szybkiego poszerzenia szczęki przy użyciu rymetrii akustycznej oraz rymometrii. Badania zostały wykonane przed i po leczeniu oraz po 3 miesiącach retencji. Podczas ostatniego pomiaru opór przepływu powietrza przez nos zmniejszył się istotnie statystycznie, nie udało się natomiast wykazać różnic w minimalnej powierzchni przekroju poprzecznego jamy nosowej (13). Do podobnych wniosków doszedł Matsumoto i wsp., którzy zwiększenie minimalnej powierzchni przekroju poprzecznego jamy nosowej zaobserwowali dopiero po 30 miesiącach od szybkiego poszerzenia szczęki (12). Enoki i wsp. zasugerowali, że wyniki mogą być spowodowane kompensacyjnym obrzękiem błony śluzowej małżowin dolnych. W badaniu tym zastosowano również obrazowanie fiberoskopowe, które pokazało, że najczęstszymi czynnikami ograniczającymi oddychanie przez nos były przerost małżowiny nosowej dolnej (22 pacjentów), przerost migdałka gardłowego (16 pacjentów) i skrzywienie przegrody nosowej (13 pacjentów). Sugeruje to, że u znacznej grupy pacjentów z ograniczonym oddychaniem przez nos działania lecznicze powinny być skoncentrowane na poszerzeniu przedniej części jamy nosowej oraz wyprostowaniu przegrody nosa (13). Według licznych autorów efekty te można przypisać właśnie szybkiemu poszerzeniu szczęki (2–6, 10).

cavity volume, increasing the minimal cross-sectional area at the height of the nasal valve and decreasing the nasal airway resistance, Kabalan et al. reached different conclusions. In their study, they examined 61 patients with transverse maxillary deficits, who were randomized into 3 groups: a control group, a group treated with RME using a tooth-anchored expander, and a group treated with RME using a skeletally-anchored expander. Patients had AR (under baseline conditions and after administration of mucosal decongestants) and CBCT examinations performed before treatment and six months after the last activation of the appliance. Minor changes were observed in the nasal cavity volume and the minimal cross-sectional area with no statistically significant differences between the study groups (32).

Inconclusive results were also obtained by Enoki et al., who evaluated 29 patients (16 females, 13 males) between the ages of 7 and 10 years treated with rapid maxillary expansion using acoustic rhinometry and rhinomanometry. The examinations were performed before and after treatment and after three months of retention. During the last measurement, the nasal airway resistance decreased statistically significantly, while no differences could be demonstrated in the minimal cross-sectional area of the nasal cavity (13). Similar conclusions were reached by Matsumoto et al., who observed an increase in the minimal cross-sectional area of the nasal cavity only 30 months after rapid maxillary expansion (12). Enoki et al. suggested that the results may be due to compensatory swelling of the inferior nasal concha mucosa. This study also used fiberoptic imaging, which showed that the most common factors limiting nasal breathing included hypertrophy of the inferior nasal concha (22 patients), adenoid hypertrophy (16 patients), and nasal septum deviation (13 patients). This suggests that in a significant group of patients with restricted nasal breathing, therapeutic management should focus on widening the anterior part of the nasal cavity and straightening the nasal septum (13). According to numerous authors, these effects can be attributed precisely to the rapid maxillary expansion (2–6, 10).

## Discussion

While the benefits of improved occlusal conditions after RME are clear, its effects on respiratory parameters are still being studied. Most authors agree that rapid maxillary expansion results in an increase in the minimal cross-sectional area and the nasal cavity volume. Although average dimension increases remain small, a decrease in the nasal airway resistance is a frequently observed phenomenon. RME can contribute to the change in a breathing pattern from oral to nasal. Gray's studies including 310 patients confirmed this change in 80% of cases, but the literature proving that the change is exclusive to RME is sparse (44). Studies evaluating the effects of rapid maxillary expansion on the upper



## Dyskusja

Choć korzyści płynące z poprawy warunków zgryzowych po RME są oczywiste, jego wpływ na parametry oddechowe jest nadal badany. Większość autorów jest zgodna, że szybka ekspansja szczęki powoduje wzrost najmniejszej powierzchni przekroju oraz objętości jamy nosowej. Chociaż średnie wzrosty wymiarów pozostają niewielkie, spadek oporu przepływu powietrza przez nos jest często obserwowanym zjawiskiem. RME może przyczyniać się do zmiany toru oddychania z ustnego na nosowy. Badania Graya przeprowadzone na grupie 310 pacjentów potwierdziły tę zmianę w 80% przypadków, jednak piśmiennictwo świadczące o tym, że zmiana jest wyłącznym skutkiem RME jest skąpe (44). Badań oceniających wpływ szybkiego poszerzenia szczęki na górne drogi oddechowe jest wciąż zbyt mało, a różne metody leczenia oraz odmienna metodyka znacznie utrudniają jednoznaczne odniesienie się do ich wyników.

Rozbieżność wyników można tłumaczyć między innymi różnymi metodami leczenia oraz różnicami indywidualnej podatności pacjenta na leczenie, wynikającej z dojrzałości szkieletowej, obrzęku lub przerostu błony śluzowej nosa (4, 13, 14). Badania z użyciem tomografii komputerowej wiązki stożkowej potwierdzają występowanie stałego wzrostu objętości górnych dróg oddechowych u pacjentów w wieku 6–20 lat. Można przypuszczać, że niektóre doniesienia o pozytywnych efektach RME na objętość górnych dróg oddechowych wynikały z braku uwzględnienia w badaniu grupy kontrolnej, a co za tym idzie – nieuwzględnienia naturalnych procesów wzrostowych mogących mieć wpływ na zwiększenie wymiarów górnych dróg oddechowych (45). Istnieje więc duża potrzeba wykonania randomizowanych badań z grupą kontrolną, eliminujące efekty ewentualnego wzrostu.

## Wnioski

Na podstawie analizy piśmiennictwa nie można jednoznacznie stwierdzić, że wzrosty minimalnej powierzchni przekroju oraz całkowitej objętości jamy nosowej są powszechnym i zawsze występującym następstwem szybkiego poszerzenia szczęki.

## Piśmiennictwo / References

1. De Felipe NL, Bhushan N, Da Silveira AC, Viana G, Smith B. Long-term effects of orthodontic therapy on the maxillary dental arch and nasal cavity. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 136: 490.e1-8.
2. Doruk C, Sökücü O, Biçakçı AA, Yılmaz U, Taş F. Comparison of nasal volume changes during rapid maxillary expansion using acoustic rhinometry and computed tomography. *Eur J Orthod* 2007; 29: 251-5.
3. Sökücü O, Doruk C, Uysal OI. Comparison of the effects of RME and fan-type RME on nasal airway by using acoustic rhinometry. *Angle Orthod* 2010; 80: 870-5.
4. Görgülü S, Gokce SM, Olmez H, Sagdic D, Ors F. Nasal cavity volume changes after rapid maxillary expansion in adolescents evaluated with 3-dimensional simulation and modeling programs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011; 140: 633-40.
5. Babacan H, Sokucu O, Doruk C, Ay S. Rapid maxillary expansion and surgically assisted rapid maxillary expansion effects on nasal volume. *Angle Orthod* 2006; 76: 66-71.
6. Oliveira De Felipe NL, Da Silveira AC, Viana G, Kusnoto B, Smith B, Evans CA. Relationship between rapid maxillary expansion and nasal cavity size and airway resistance: short- and long-term effects. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008; 134: 370-82.

respiratory tract are still too few, and different treatment methods and differing methodologies make it much more difficult to address their findings clearly.

The discrepancy in results can be explained, among other things, by different treatment methods and differences in individual patient susceptibility to treatment due to skeletal maturity, swelling or hypertrophy of the nasal mucosa (4, 13, 14). Studies using cone-beam computed tomography confirm the presence of a steady increase in the upper airway volume in patients aged 6–20 years. It can be speculated that some reports of positive effects of RME on the upper airway volume were due to the lack of a control group in the study, and thus the failure to account for natural growth processes that may have an effect on increasing the upper airway dimensions (45). Thus, there is a great need to perform randomized controlled trials in order to eliminate the effects of possible growth.

## Conclusions

On the basis of a literature review, it is not possible to state unanimously that increases in the minimal cross-sectional area and total nasal cavity volume are common and always occurring consequences of rapid maxillary expansion.

7. Bicakci AA, Agar U, Sökücü O, Babacan H, Doruk C. Nasal airway changes due to rapid maxillary expansion timing. *Angle Orthod* 2005; 75: 1-6.
8. Ceroni Compadretti G, Tasca I, Alessandri-Bonetti G, Peri S, D'Addario A. Acoustic rhinometric measurements in children undergoing rapid maxillary expansion. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2006; 70: 27-34.
9. Compadretti GC, Tasca I, Bonetti GA. Nasal airway measurements in children treated by rapid maxillary expansion. *Am J Rhinol* 2006; 20: 385-93.
10. Doruk C, Sökücü O, Sezer H, Canbay EI. Evaluation of nasal airway resistance during rapid maxillary expansion using acoustic rhinometry. *Eur J Orthod* 2004; 26: 397-401.
11. Gokce G, Gode S, Ozturk A, Kirazlı T, Veli I. Evaluation of the effects of different rapid maxillary expansion appliances on airway by acoustic rhinometry: A randomized clinical trial. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2022; 155: 111074.
12. Matsumoto MA, Itikawa CE, Valera FC, Faria G, Anselmo-Lima WT. Long-term effects of rapid maxillary expansion on nasal area and nasal airway resistance. *Am J Rhinol Allergy* 2010; 24: 161-5.
13. Enoki C, Valera FC, Lessa FC, Elias AM, Matsumoto MA, Anselmo-Lima WT. Effect of rapid maxillary expansion on the dimension of the nasal cavity and on nasal air resistance. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2006; 70: 1225-30.
14. Baccetti T, Franchi L, Cameron CG, McNamara JA Jr. Treatment timing for rapid maxillary expansion. *Angle Orthod* 2001; 71: 343-50.
15. Monini S, Malagola C, Villa MP, Tripodi C, Tarentini S, Malagnino I, Marrone V, Lazzarino AI, Barbara M. Rapid maxillary expansion for the treatment of nasal obstruction in children younger than 12 years. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2009; 135: 22-7.
16. Cordasco G, Nucera R, Fastuca R, Matarese G, Lindauer SJ, Leone P, Manzo P, Martina R. Effects of orthopedic maxillary expansion on nasal cavity size in growing subjects: a low dose computer tomography clinical trial. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2012; 76: 1547-51.
17. Smith T, Ghoneima A, Stewart K, Liu S, Eckert G, Halum S, Kula K. Three-dimensional computed tomography analysis of airway volume changes after rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012; 141: 618-26.
18. Haralambidis A, Ari-Demirkaya A, Acar A, Küçükkeleş N, Ateş M, Ozkaya S. Morphologic changes of the nasal cavity induced by rapid maxillary expansion: a study on 3-dimensional computed tomography models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 136: 815-21.
19. Ballanti F, Lione R, Baccetti T, Franchi L, Cozza P. Treatment and posttreatment skeletal effects of rapid maxillary expansion investigated with low-dose computed tomography in growing subjects. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010; 138: 311-7.
20. Motro M, Schauseil M, Ludwig B, Zorkun B, Mainusch S, Ateş M, Küçükkeleş N, Korbmacher-Steiner H. Rapid-maxillary-expansion induced rhinological effects: a retrospective multicenter study. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2016; 273: 679-87.
21. El H, Palomo JM. Three-dimensional evaluation of upper airway following rapid maxillary expansion: a CBCT study. *Angle Orthod* 2014; 84: 265-73.
22. Chang Y, Koenig LJ, Pruszyński JE, Bradley TG, Bosio JA, Liu D. Dimensional changes of upper airway after rapid maxillary expansion: a prospective cone-beam computed tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013; 143: 462-70.
23. Zeng J, Gao X. A prospective CBCT study of upper airway changes after rapid maxillary expansion. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2013; 77: 1805-10.
24. Kim SY, Park YC, Lee KJ, Lintermann A, Han SS, Yu HS, Choi YJ. Assessment of changes in the nasal airway after nonsurgical miniscrew-assisted rapid maxillary expansion in young adults. *Angle Orthod* 2018; 88: 435-441.
25. Almuzian M, Ju X, Almkhatar A, Ayoub A, Al-Muzian L, McDonald JP. Does rapid maxillary expansion affect nasopharyngeal airway? A prospective Cone Beam Computerised Tomography (CBCT) based study. *Surgeon* 2018; 16:1-11.
26. Ribeiro AN, de Paiva JB, Rino-Neto J, Illipronti-Filho E, Trivino T, Fantini SM. Upper airway expansion after rapid maxillary expansion evaluated with cone beam computed tomography. *Angle Orthod* 2012; 82: 458-63.
27. Abdalla Y, Brown L, Sonnesen L. Effects of rapid maxillary expansion on upper airway volume: A three-dimensional cone-beam computed tomography study. *Angle Orthod* 2019; 89: 917-23.
28. Kavand G, Lagravère M, Kula K, Stewart K, Ghoneima A. Retrospective CBCT analysis of airway volume changes after bone-borne vs tooth-borne rapid maxillary expansion. *Angle Orthod* 2019; 89: 566-74.
29. Pangrazio-Kulbersh V, Wine P, Haughey M, Pajtas B, Kaczynski R. Cone beam computed tomography evaluation of changes in the naso-maxillary complex associated with two types of maxillary expanders. *Angle Orthod* 2012; 82: 448-57.
30. Baratieri Cda L, Alves M Jr, Mattos CT, Lau GW, Nojima LI, de Souza MM. Transverse effects on the nasomaxillary complex one year after rapid maxillary expansion as the only intervention: a controlled study. *Dental Press J Orthod* 2014; 19: 79-87.
31. Zhao Y, Nguyen M, Gohl E, Mah JK, Sameshima G, Enciso R. Oro-pharyngeal airway changes after rapid palatal expansion evaluated with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010; 137: 71-8.
32. Kabalan O, Gordon J, Heo G, Lagravère MO. Nasal airway changes in bone-borne and tooth-borne rapid maxillary expansion treatments. *Int Orthod* 2015; 13: 1-15.
33. Monini S, Malagola C, Villa MP, Tripodi C, Tarentini S, Malagnino I, Marrone V, Lazzarino AI, Barbara M. Rapid maxillary expansion for the treatment of nasal obstruction in children younger than 12 years. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2009; 135: 22-7.
34. Langer MR, Itikawa CE, Valera FC, Matsumoto MA, Anselmo-Lima WT. Does rapid maxillary expansion increase nasopharyngeal space and improve nasal airway resistance? *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2011; 75: 122-5.
35. Hilberg O. Objective measurement of nasal airway dimensions using acoustic rhinometry: methodological and clinical aspects. *Allergy* 2002; 57: 5-39.
36. Hilberg O, Jackson AC, Swift DL, Pedersen OF. Acoustic rhinometry: evaluation of nasal cavity geometry by acoustic reflection. *J Appl Physiol* 1989; 66: 295-303.

*Effects of rapid maxillary expansion on the upper airway volume as evaluated by acoustic rhinometry ...*

37. Clement PA, Gordts F; Standardisation Committee on Objective Assessment of the Nasal Airway, IRS, and ERS. Consensus report on acoustic rhinometry and rhinomanometry. *Rhinology* 2005; 43: 169-79.
38. O'Ryan FS, Gallagher DM, LaBanc JP, Epker BN. The relation between nasorespiratory function and dentofacial morphology: a review. *Am J Orthod* 1982; 82: 403-10.
39. Vale F, Albergaria M, Carrilho E, Francisco I, Guimarães A, Caramelo F, Maló L. Efficacy of Rapid Maxillary Expansion in the Treatment of Obstructive Sleep Apnea Syndrome: A Systematic Review With Meta-analysis. *J Evid Based Dent Pract* 2017; 17: 159-68.
40. Cistulli PA, Palmisano RG, Poole MD. Treatment of obstructive sleep apnea syndrome by rapid maxillary expansion. *Sleep* 1998; 21: 831-5.
41. Ozbek MM, Memikoglu UT, Altug-Atac AT, Lowe AA. Stability of maxillary expansion and tongue posture. *Angle Orthod* 2009; 79: 214-20.
42. Farronato G, Giannini L, Galbiati G, Maspero C. Sagittal and vertical effects of rapid maxillary expansion in Class I, II, and III occlusions. *Angle Orthod* 2011; 81: 298-303.
43. Roithmann R, Cole P, Chapnik J, Shpirer I, Hoffstein V, Zamel N. Acoustic rhinometry in the evaluation of nasal obstruction. *Laryngoscope* 1995; 105: 275-81.
44. Gray LP. Results of 310 cases of rapid maxillary expansion selected for medical reasons. *J Laryngol Otol* 1975; 89: 601-14.
45. Schendel SA, Jacobson R, Khalessi S. Airway growth and development: a computerized 3-dimensional analysis. *J Oral Maxillofac Surg* 2012; 70: 2174-83.