



Relationship Between Adenotonsillar Size and Snoring Sound: Acoustic Analysis

Joo Young Woo¹ , Soon Bok Kwon², Tae Kyung Koh¹ , Chang Lok Ji¹ , and Soo Kweon Koo¹

¹Department of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, Busan St. Mary's Hospital, Busan; and

²Department of Language and Information, College of Humanities, Pusan National University, Busan, Korea

구개편도 및 아데노이드 크기와 코골이 소리의 연관성: 음성학적 연구

우주영¹ · 권순복² · 고태경¹ · 지창록¹ · 구수권¹

¹부산성모병원 이비인후과, ²부산대학교 인문대학 언어정보학과

Received May 10, 2022

Revised June 15, 2022

Accepted June 20, 2022

Address for correspondence

Soo Kweon Koo, MD, PhD

Department of Otolaryngology-

Head and Neck Surgery,

Busan St. Mary's Hospital,

25-14 Youngho-ro 232beon-gil,

Nam-gu, Busan 48575, Korea

Tel +82-51-933-7214

Fax +82-51-956-1956

E-mail koosookweon@naver.com

Background and Objectives The most common cause of snoring in children is enlarged tonsils and adenoids. However, there is insufficient evidence to determine whether the subjective measurement of tonsil hypertrophy, the most common prevailing method, reflects the actual tonsil size and volume. Therefore, we tried to determine whether the subjective grading of tonsil size and actual tonsil volume is related, and whether tonsil volume, weight, and adenoid index are correlated with the acoustic analysis of snoring.

Subjects and Method The study was conducted on 21 children between the ages of 4 and 15 who came for tonsillectomy and adenoidectomy due to snoring symptoms. The degree of adenotonsillar hypertrophy was measured using the Brodsky grading scale and adenoid index. After tonsillectomy, the volume and weight of resected tonsil were measured. For acoustic analysis, the Praat software was used to determine formant frequency and sound intensity. A linear regression model and a dummy variable were used to determine the correlation between the quantitative values of tonsil, adenoid and the result of acoustic analysis.

Results The Brodsky tonsil grade tended to match the actual tonsil volume, but it was not statistically significant ($p=0.073$). There was no correlation between snoring intensity and actual tonsil volume, weight, and adenoid index. Formant frequency 1 and 2 were statistically negatively correlated with the actual tonsil volume ($p=0.011, 0.002$).

Conclusion The study confirmed that the acoustic analysis of pediatric snoring could be a screening test to predict tonsil volume and changes in the vocal tract due to tonsil hypertrophy.

Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg 2022;65(12):772-80

Keywords Diagnosis; Phonetics; Snoring; Tonsil.

서론

폐쇄성 수면무호흡증의 주된 원인은 수면 중 상기도 근육의 긴장이 감소할 때 발생하는 상부 기도 폐쇄이다. 소아 폐쇄성 수면무호흡증의 발생률은 2%~4%이며,^{1,2)} 가장 흔한 원

인은 구개편도와 아데노이드의 비대이고, 편도 및 아데노이드 절제술은 소아 수면무호흡증의 일차 치료로 받아들여지고 있다.^{3,4)} 소아 수면무호흡증의 최종 진단은 수면다원검사이지만 비용 등의 문제로 보편적으로 사용되지 않고 있으며,⁵⁾ 이를 보완하기 위해 다양한 진단기법이 사용된다. 소아의 경우 보호자가 진술한 병력과 소아의 야간 증상(습관적 코골이, 무호흡, 비정상적 수면자세 등)에 대한 파악이 중요한데, 보호자가 진술한 소아 수면력과 코골이의 병력에 대한 민감

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

도는 수면다원검사로 진단된 소아의 폐쇄성 수면무호흡증과 일치하는 경향을 보이며, 특히 코골이 병력은 소아의 편도선 절제술 시행여부를 결정하는데 중요한 단서가 된다.^{6,7)}

구개편도와 아데노이드의 크기를 평가하기 위한 이학적 검사도 중요한데, 구개편도의 크기는 폐쇄성 수면무호흡증과 밀접한 관련이 있으며 코골이를 비롯한 수면호흡장애 증상에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 하지만 오늘날 보편적으로 사용되고 있는 구개편도 비대체의 주관적 측정 방식이 실제 구개편도 크기 및 부피를 제대로 반영하는지, 편도 크기가 코골이와 같은 수면호흡장애 증상과 명확한 연관이 있는지에 대한 근거는 충분하지 않다.

이에 저자들은 본 연구를 통해 현재 보편적으로 사용하고 있는 구개편도 비대체에 대한 등급 측정이 실제 구개편도 부피와 관련이 있는지 알아보았다. 또한 환자마다 서로 다른 코골이 소리를 음성학적으로 분석하여, 구개편도 부피가 클수록 코골이 소리가 큰지, 구개편도와 아데노이드의 실제 부피와 연관이 있는지를 통해, 코골이 소리의 음성학적 분석이 소아 코골이 환자의 진단에 선별검사로 유용한지에 대해 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

대 상

본 연구는 코골이 증상으로 편도 아데노이드 절제술을 시행 받기 위해 본원에 내원했던, 4세에서 15세 사이의 소아를 대상으로 진행하였다. 대상 환자의 보호자로부터 병력을 청취하였으며 수술 전에 이학적 검사와 측면경부방사선 촬영을 시행하였다. 남아 14명, 여아 7명 총 21명이었으며, 평균연령은 6.71세, 평균 body mass index (BMI)는 19.27 kg/m²이었다(Table 1). 모든 환자 및 보호자는 연구 등록 전 충분한 설명을 들은 뒤 서면 동의를 작성하였으며, 본 연구는 부산성모병원의 기관윤리심사위원회의 승인을 받아 진행되었다(No. BSM-2021-13).

방 법

편도 및 아데노이드 측정

구개편도와 아데노이드의 비대 정도는 주관적인 방법과 객관적인 방법을 이용하여 측정하였다. 검사자 간의 오차를 줄이기 위해 동일 검사자가 시행하였으며, 먼저 수술 전 보편적으로 사용되어지는 Brodsky tonsil grade scale을 사용하여 구개편도 비대를 평가하였다(Table 2).⁸⁾

구개편도의 객관적인 측정을 위해, 수술 중 구획 내 절제

Table 1. Demographic characteristics of the patients (n=21)

Characteristics	Value
Male	14 (66.6)
Female	7 (33.3)
Age (years)	6.71 ± 2.29
BMI (kg/m ²)	19.27 ± 4.18
Brodsky grade	3.05 ± 0.58
Adenoid index	0.55 ± 0.09
Tonsil volume (mL)	7.32 ± 1.38
Tonsil weight (g)	14.58 ± 4.23

Data are presented as n (%) or mean ± standard deviation. BMI, body mass index

Table 2. Brodsky tonsil grading scale

Grade	Grading criteria
0	Tonsils are situated in the tonsillar fossa, with no impingement on the oropharyngeal airway
1	Tonsils sit just outside of the tonsillar fossa with obstruction of less than 25 per cent of the airway
2	Tonsils are readily seen in the airway-25 to 50 per cent of the airway is obstructed
3	Tonsils denote a 50 to 75 per cent obstruction of the airway
4	Tonsils involve a greater than 75 per cent obstruction of the airway

(en block)를 통해 얻어진 구개편도를 동일한 저울을 이용하여 무게를 측정하였으며, 매스실린더에 넣어 부피를 측정하였다(Fig. 1). 아데노이드는 측면경부 방사선 영상에서 Fujioka 등⁹⁾이 제안한 아데노이드 비인강 비율(adenoid-nasopharynx ratio)을 측정한 값인 아데노이드 지수로 평가하였다(Fig. 2).

코골이 소리의 녹음과 음성학적 분석

코골이 소리의 녹음은 편도 아데노이드 수술 전날 밤 환자가 잠든 뒤 보호자가 코골이 소리를 녹음하도록 했다. 녹음장치 간의 차이를 배제하기 위해 동일한 제품의 녹음기(ICD SX2000; SONY, Tokyo, Japan)를 사용했으며, 환자가 잠들기 직전 녹음기를 환자의 어깨 50 cm 이내에 위치시키게 하였다. 주변 소음을 5 dB 이하로 유지한 채 최소 1시간 동안 코골이 소리를 녹음하도록 설정하였다. 코골이 소리의 음성 분석을 위해 수면 중 녹음된 코골이 소리 중 가장 두드러진 코골이 소리를 10초 이상씩 3구간 선정하였고, Praat 소프트웨어(ver. 5.2.16)를 사용하여 세 소리 모두의 음향 특성을 분석하여 평균값을 구하였다. 소리 sampling 속도는 44 kHz였으며, 소리 강도(dB) 및 포먼트 주파수(Hz)를 측정하였다.

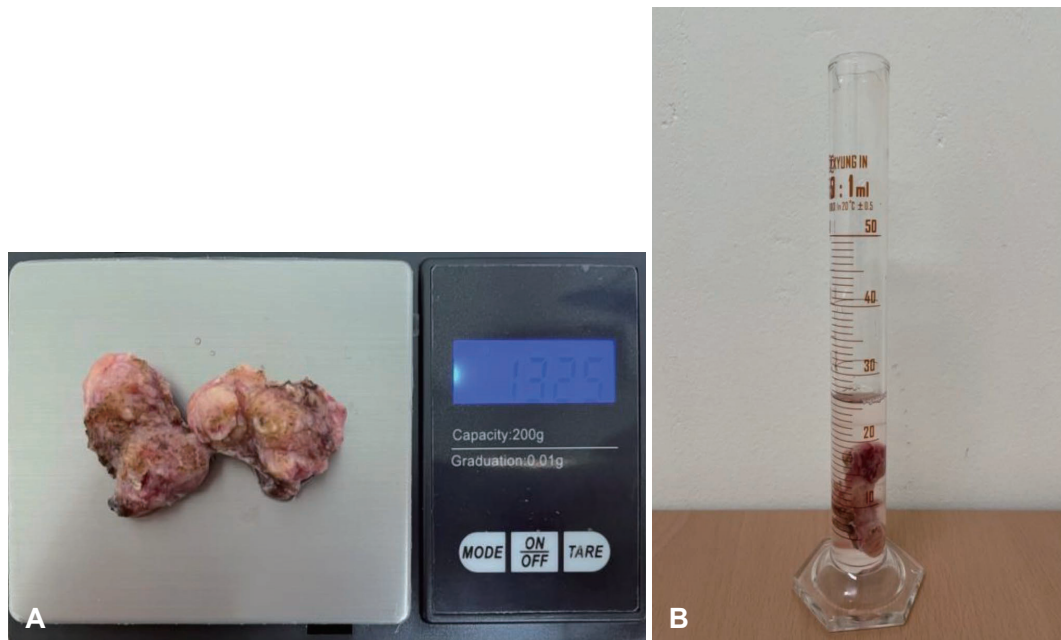


Fig. 1. Measurement of tonsillar weight and volume after tonsillectomy. We measured the weight by placing the surgically removed tonsil on an electronic balance (A) and tonsil volume by putting the tonsil tissue removed by surgery into a measuring cylinder containing water (B).

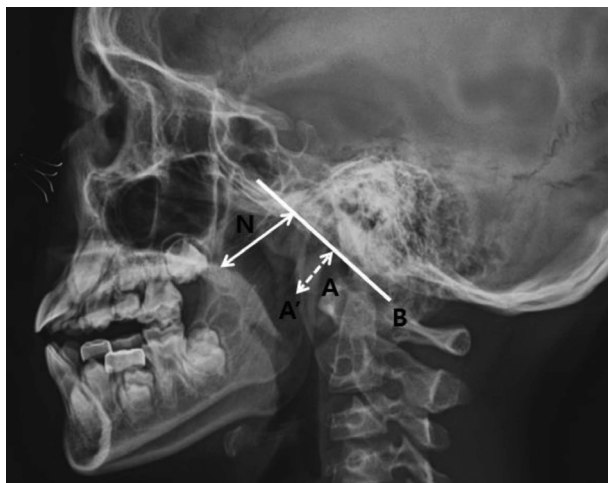


Fig. 2. Adenoid (A) was measured along the line perpendicular to point A' (the maximal convexity along the inferior margin of the adenoid shadow) to its intersection, with line B drawn along the straight part of the anterior margin of the basiocciput. The nasopharyngeal space (N) was measured as the distance between the posterosuperior edge of the hard palate and anteroinferior edge of the sphenobasioccipital synchondrosis. The adenoid-nasopharynx ratio was calculated by dividing A by N.

통계 분석

구개편도와 아데노이드의 정량적 값(편도의 부피, 무게, 아데노이드 지수)과 코골이 음성 분석 지수(formant frequency F_1 , F_2 , F_3 , F_4 및 소리 강도)의 관계를 파악하기 위해 선형 회귀 모델을 사용하였으며, 범주형 변수인 Brodsky tonsil grade와 음성 분석 지수 사이의 관계를 파악하기 위해 더미 변수를 사용하였다. 추가로 구개편도 부피, 무게, 아데노이드

지수에 연령과 BMI를 보정하여 다중회귀분석을 실시해 p value가 0.05 이하인 경우 통계적으로 유의미한 것으로 간주하였다.

결 과

편도 및 아데노이드 측정

이학적 검사상 Brodsky tonsil grade 및 아데노이드 지수 평균은 각각 3.05와 0.55였고, 술후 측정된 구개편도 부피 평균은 7.32 mL, 무게 평균은 14.58 g이었다(Table 1). Brodsky tonsil grade와 실제 구개편도 부피 간의 연관성을 보았을 때 grade II인 환자의 적출된 구개편도 부피 평균은 6.83 mL, grade III는 7.02, grade IV는 8.75로 대체로 증가하는 경향은 보였으나 통계적으로 유의하지는 않았다(Table 3).

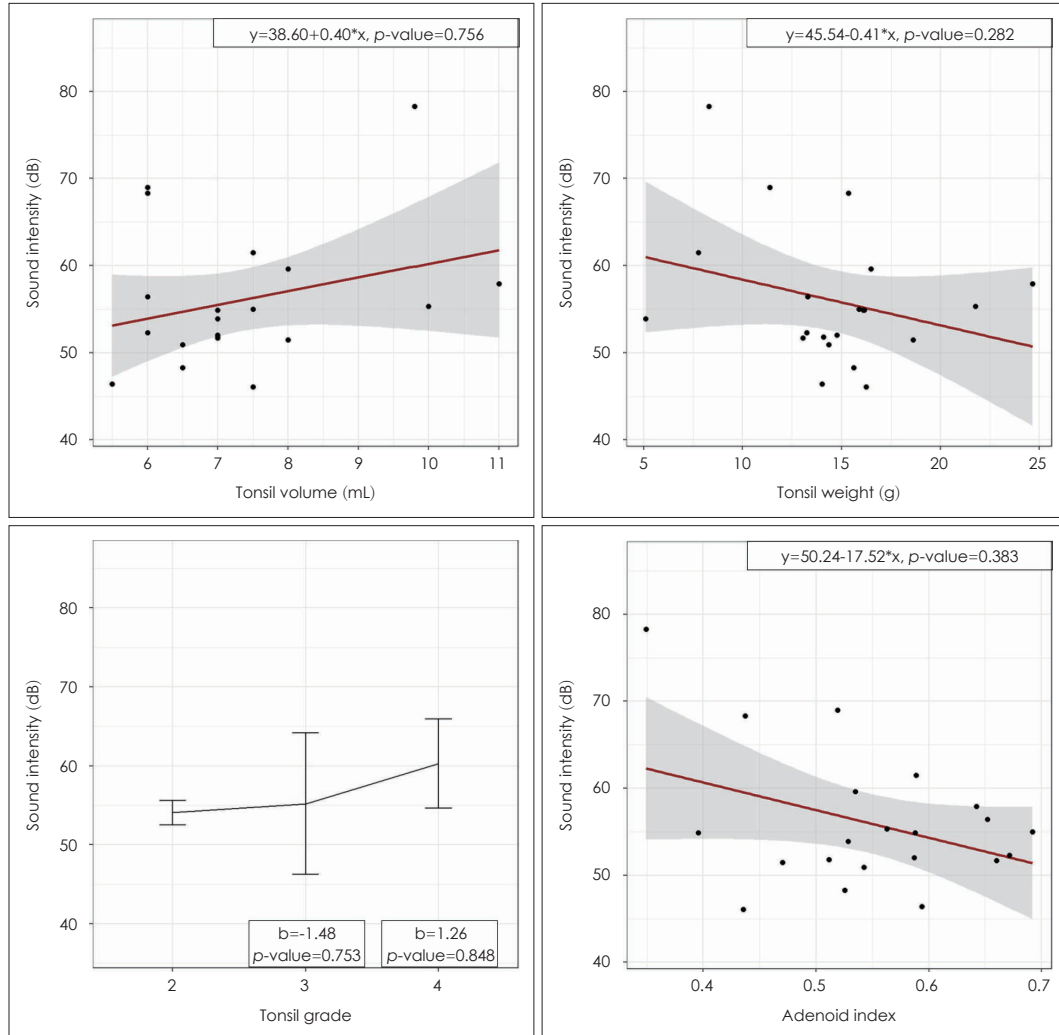
코골이 소리의 음성학적 분석

코골이 소리의 강도와 구개편도의 부피, 무게, Brodsky tonsil grade, 아데노이드지수 간에는 통계적으로 유의미한 연관성이 없었으며(Fig. 3), 다중회귀분석상에서도 코골이 소리 강도와 BMI 사이에서만($\beta=0.465$, $p=0.025$) 유의미한 양의 상관관계가 관찰되었다.

코골이의 formant frequency는 구개편도의 부피가 커질수록 제 1포먼트(F_1)와 제 2포먼트(F_2)가 각각 $p=0.011$, 0.002로 통계적으로 유의하게 감소하였으며(Fig. 4), BMI와 연령을 보정한 다중회귀분석결과에서도 동일한 통계적 유의성을 보

Table 3. Actual tonsil volume according to Brodsky tonsil grade

Tonsil volume (mL)	Grade II (n=2)	Grade III (n=14)	Grade IV (n=4)	p-value
Median (range)	7.0 (6.0–7.5)	6.9 (5.5–9.8)	9.0 (6.0–11.0)	0.260
Mean±standard deviation	6.83±0.76	7.02±1.04	8.75±2.22	0.073

**Fig. 3.** Relationship between quantitative values of tonsil and adenoids (tonsil volume, weight, Brodsky tonsil grade, adenoid index) and snoring sound intensity. There was no significant relationship between adenotonsillar quantitative values and snoring sound intensity.

였다(F_1 에서 $\beta=-0.603$, $p=0.002$, F_2 에서 $\beta=-0.644$, $p=0.002$). 하지만 구개편도의 무게, Brodsky tonsil grade는 formant frequency와 유의미한 연관이 없었고(Figs. 5 and 6), 아데노이드 지수도 F_4 를 제외한 formant frequency와는 유의미한 연관을 보이지 않았다(Fig. 7).

고 찰

인간의 음성은 혀로부터 나온 기류가 음향학적으로 근원(source)이 되는 후두와 여과기(filter) 역할을 하는 성도(vocal tract)를 거쳐 생성된다. 후두에서 성대가 떨리면서 소리

의 원천이 되는 기류가 생기고 혀의 위치, 턱을 벌리는 정도, 입술모양 등에 따라 성도모양을 바꾸어 어떤 주파수에서는 소리 에너지 전달을 억제하고 다른 주파수에서는 최대의 에너지를 허용함으로써 다양한 음성을 만든다. 이렇게 생성된 소리의 특정한 에너지 분포를 나타내는 것이 포만트(formant)이며, 낮은 주파수부터 제 1(F_1), 제 2(F_2), 제 3 포만트(F_3) 등으로 부른다. 따라서 포만트는 특정 소리를 나타내는 지문과 같은 역할을 하고, 성도에 의해 영향을 받으며, 특히 그중에서도 구강과 후두강은 개인이 공간을 자유스럽게 변형시킬 수 있으므로 포만트에 큰 영향을 미친다. 그렇기 때문에 소리의 포만트를 측정하여 분석하면 소리를 만들어 낸 성

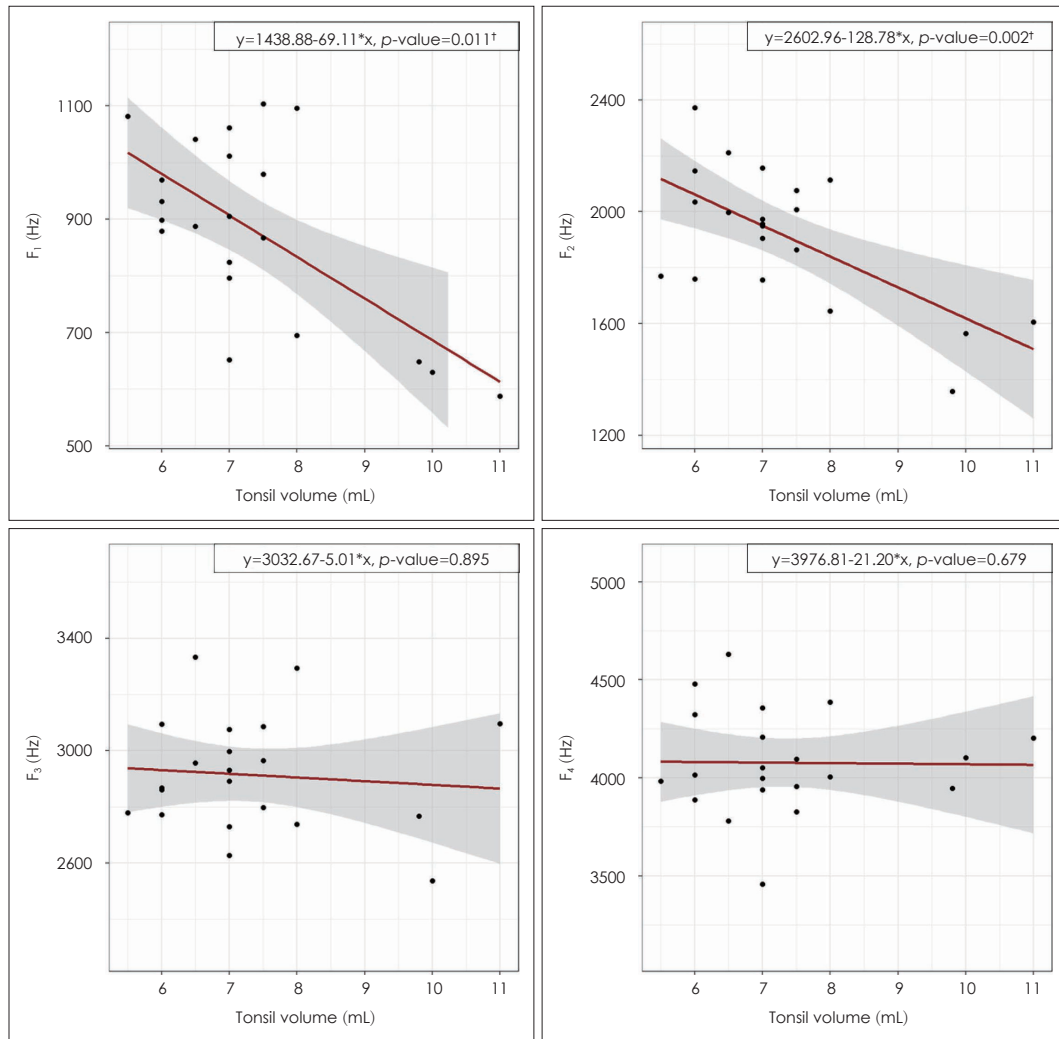


Fig. 4. Relationship between tonsil volume and formant frequencies (F₁, F₂, F₃ and F₄). Tonsil volume showed a significant negative correlation with F₁, and F₂, but no significant correlation with F₃ and F₄. * $p < 0.05$.

도의 해부학적 특징이나 변형 등을 예측할 수 있다.¹⁰⁾

코골이는 수면 중 호흡기류가 기도를 지나면서, 인두, 연구개, 목젓 등의 연조직에 진동을 일으켜 발생하는 잡음이다. 이는 비강에 의해 수정되고 구강에 의해 공명되기 때문에 환자마다의 상기도 해부학적 조건에 따라 다양하며, 음향적 특성에 있어 호흡음 등의 다른 종류의 소리와는 확연한 차이를 보인다.¹¹⁾ 따라서 코골이 소리는 개인의 고유한 특성값으로 작용할 수 있으며, 코골이 소리의 음성학적 분석은 상기도의 해부학적 형태를 선별 예측할 수 있는 좋은 진단수단이 될 수 있다. 코골이 소리의 음성학적 분석의 역사는 1993년 Perez-Padilla 등¹²⁾이 처음으로 단순코골이 환자와 폐쇄성 수면무호흡증 환자간의 코골이 소리의 차이를 연구하였고, 1995년 McCombe 등¹³⁾에 의해 폐쇄성 수면무호흡증을 선별할 수 있는 acoustic index가 고안되었다. 1996년 Fiz 등¹⁴⁾은 코골이 소리의 스펙트럼 분석을 시도하였으며, 1999년 Ita-

saka 등¹⁵⁾이 코골이의 강도에 대한 연구를 진행하는 등 음성학적 분석을 통해 코골이를 진단하는 노력들이 있었다. 하지만 아직까지 이러한 개념들이 보편화되지는 않았으며, 향후 더 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

습관성 코골이의 빈도는 소아에서 2.4%~34.5%로 보고되고 있는데,¹⁶⁾ 연구 간의 차이가 발생하는 것은 습관성 코골이의 정의와 대상 환자의 연령 군의 차이, 코골이 수집의 차이에 기인한다. 성별에 따른 차이는 아직 연구 간 이견이 많으며, 저자들의 경우도 보다 많은 증례를 통한 코골이를 수집하고 나이, 성별 등에 따른 세분화를 진행할 예정이다.

소아 폐쇄성 수면무호흡증의 확실한 진단은 수면다원검사이지만, 시간이 많이 걸리고 비용적인 문제 등으로 대략 20% 정도에서 시행되고,⁵⁾ 대부분 병력청취 및 국소 소견에 대한 이학적 검사에 의존하기 때문에 보다 합리적이고 정량화 할 수 있는 선별검사에 대한 필요성이 존재한다. 그동안 구개편

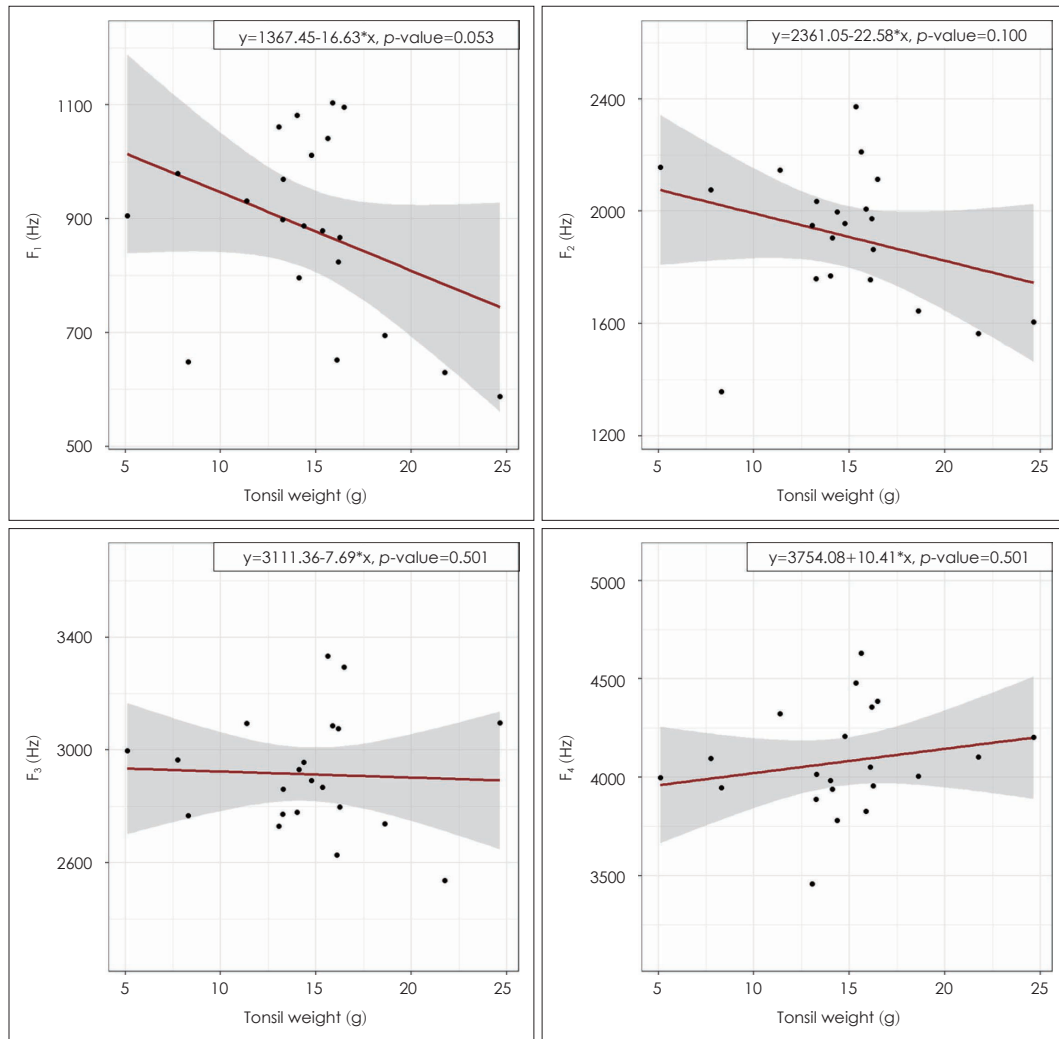


Fig. 5. Relationship between tonsil weight and formant frequencies (F_1 , F_2 , F_3 and F_4). The tonsil weight did not show a significant correlation with any of F_1 , F_2 , F_3 , and F_4 .

도 및 아데노이드 비대를 임상적으로 평가하고 수치화하는 여러가지 방법들이 제시되었다. 구개편도 비대에 대한 측정에는 Brodsky tonsil grade와 Friedman scale, modified 3-point/5-point scales 등이 주로 사용되며, 그중 Brodsky tonsil grade가 소아 편도 비대를 측정하는데 있어서 검사자 간 가장 높은 일치도를 보인다.¹⁷⁾

저자들은 구개편도 비대를 평가하기 위해 주관적인 검사로 Brodsky tonsil grade를 사용했으며, 객관적인 검사로 수술로 적출한 구개편도 부피와 무게를 직접 측정하였다. 아데노이드의 경우 보통 구획 내 절제(en-bloc)보다는 coblator 등으로 조각하는 경우가 많아 정확한 부피나 무게를 측정할 수 없기 때문에, 경부측면방사선을 이용하여 아데노이드 지수를 평가하였다. 그동안 구개편도 비대와 아데노이드 비대의 부피 측정은 보편화 되지 않았지만, 몇몇 연구에서 수술 구개편도 부피측정이 주관적 편도의 크기측정보다 수면호흡장애의 증

상과 더 높은 연관성을 보이는 것을 확인할 수 있었다.¹⁸⁾ 저자들의 경우도 구개편도 부피와 코골이의 음성학적 분석 수치 사이에서 통계적으로 유의미한 결과를 보였으며, 이는 주관적 등급보다는 실제 구개편도의 부피가 코골이의 음성학적 분석과 더 연관성이 높은 변수임을 시사한다.

저자들의 연구에서 Brodsky tonsil grade가 높아짐에 따라 실제 구개편도의 부피가 대체로 증가하는 경향은 보였으나 두 변수 간의 연관성은 통계적으로 유의하지 않았다. 이는 구개편도 전후방의 길이를 정확하게 측정하기 어렵고, 편도와에 깊숙히 박혀있는 경우는 정확한 크기를 측정하기가 어렵기 때문이다. 또한 등급을 평가할 때 관찰자의 주관적인 생각이 개입할 수 있다는 점도 고려할 필요가 있다.

다중회귀분석 결과 코골이의 강도는 BMI 외에는 구개편도의 부피, 무게, 아데노이드 지수와 통계적으로 유의한 연관성이 없었다. Hwang 등¹⁹⁾의 연구에 의하면 구개편도 및 아데노

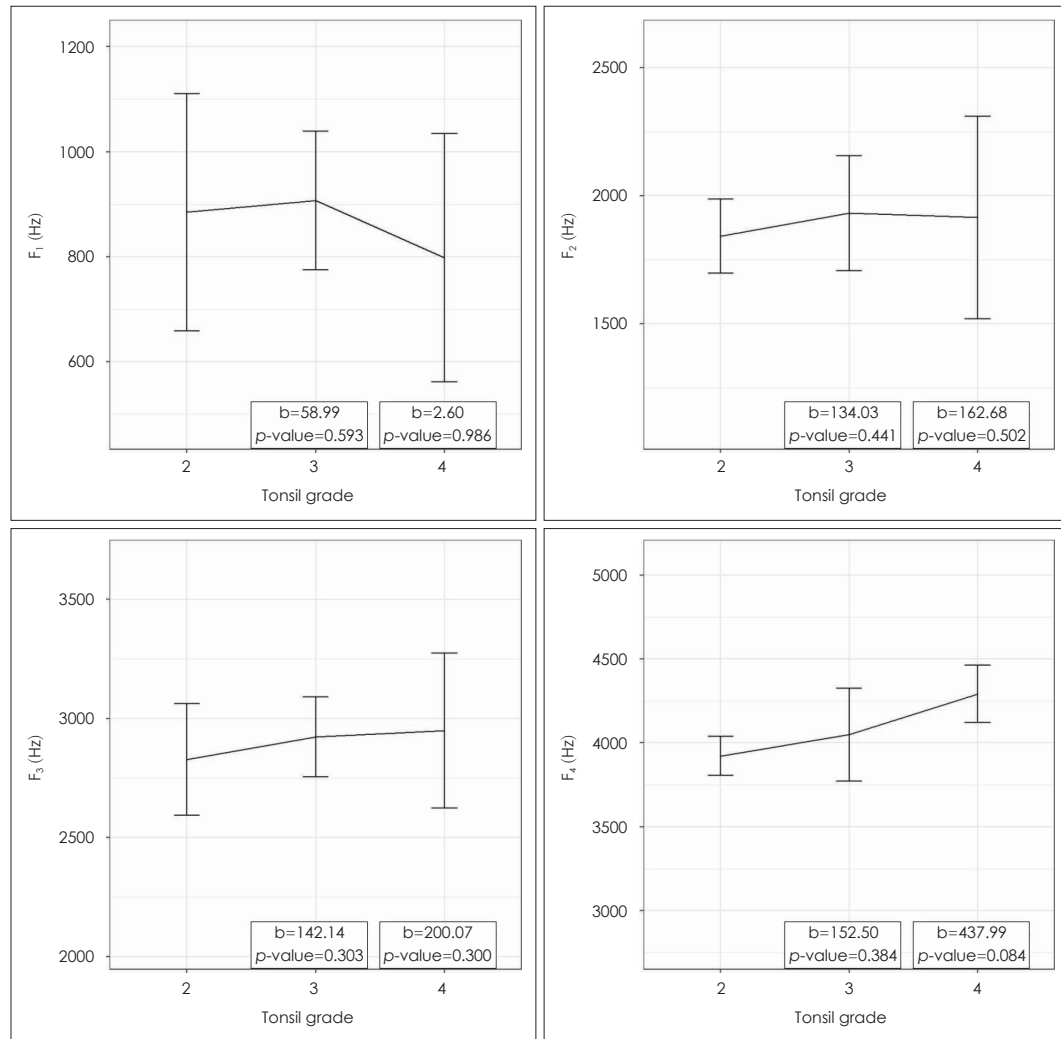


Fig. 6. Relationship between Brodsky tonsil grade and Formant frequencies (F_1 , F_2 , F_3 and F_4). The Brodsky tonsil grade did not show a significant correlation with any of F_1 , F_2 , F_3 , and F_4 .

이드 크기는 폐쇄성 수면무호흡증의 심한 정도와 유의미한 연관성은 없다고 하였고, 이는 구개편도 및 아데노이드 크기가 폐쇄성 수면무호흡증의 심한 정도를 예측하지 못한다는 이전 몇몇 연구 결과와 일치한다. 이에 대해 소아의 코골이 소리의 크기는 단순히 구개편도나 아데노이드의 크기 외에도 비만, 설편도 비대, 알레르기 비염, 혀와 하악의 위치 및 모양에 관여하는 두개안면부 변형 등 다양한 인자가 관련될 것으로 추측할 수 있다.²⁰⁾

코골이의 formant frequency가 구개편도의 무게, 아데노이드 지수와 유의미한 연관이 없었던 것에 반해, 구개편도의 부피가 커질수록 F_1 과 F_2 가 각각 $p=0.011$, 0.002 로 통계적으로 유의하게 감소했으며, BMI와 연령을 보정한 다중회귀분석결과에서도 통계적 유의성을 보이는데, 이는 구개편도비대에 따른 성도의 변화를 잘 반영해 주는 결과로 볼 수 있다. F_1 의 경우 성도의 넓이를, F_2 의 경우 혀의 길이와 위치를 반영

하는데, 둘 다 반비례하는 관계를 지닌다. 일반적으로 구개편도비대가 심할수록 수면 시 기도확보를 위해 입을 벌리고 혀를 내미는 경향이 있기 때문에, 성도가 넓어지고 혀가 길어지면서 F_1 과 F_2 의 감소를 보였을 것으로 유추할 수 있다.^{21,22)}

저자들의 연구를 요약해 보면 구개편도 비대에 대한 이학적 검사와 실제 구개편도 부피는 어느 정도 일치하는 경향성은 보였으나 본 연구에서의 통계적 유의성은 없었으며, 코골이 세기와 실제 구개편도 부피, 무게, 아데노이드 지수는 연관성을 보이지 않았다. 코골이를 음성학적으로 분석하였을 때 실제 구개편도 부피와 F_1 , F_2 는 유의미한 음의 상관관계를 확인할 수 있었는데, 이는 구개편도 비대 환자의 성도 변화를 잘 반영하는 결과로 볼 수 있다. 이와 같은 결과를 통해 소아 코골이에 대한 음성학적 분석, 특히 코골이 소리의 formant frequency 분석을 통해 구개편도 부피를 예측하고 구개편도 비대에 따른 성도의 변화를 예측하는 선별검사로서의 가능

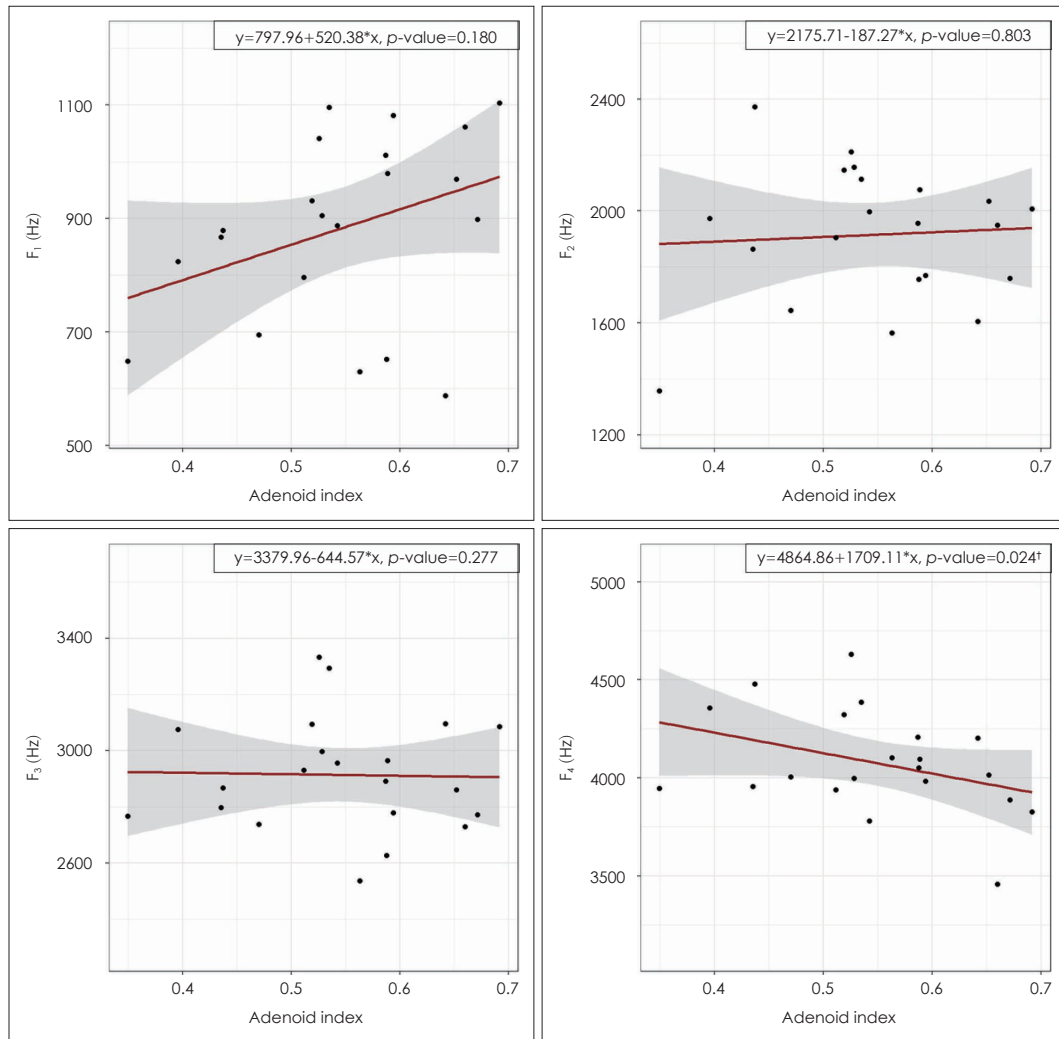


Fig. 7. Relationship between adenoid index and Formant frequencies (F_1 , F_2 , F_3 and F_4). The adenoid index showed a significant negative correlation with F_4 , but no significant correlation with F_1 , F_2 and F_3 . † $p<0.05$.

성을 확인할 수 있었다. 하지만 본 연구의 증례 수가 상대적으로 적기 때문에 앞으로 더 많은 연구를 통한 통계적 검증이 진행되어야 할 것으로 생각된다. 또한 본 연구의 한계로 수면의 단계나 수면의 자세, 수면 환경, 주변 소음 등 코골이 소리 수집 중 발생할 수 있는 변수들을 체계적으로 통제하지 못했으며, 향후 선별검사로 정립하기 위해 반드시 해결해야 할 과제라고 생각한다. 최근 스마트폰의 app 개발이나 원격 진료 등에 대한 관심이 높아지는 추세속에서, 앞으로 더 많은 증례와 연구를 통해 코골이 음성분석의 효용성을 높여나갈 수 있을 것으로 사료된다.

Acknowledgments

None

Author Contribution

Conceptualization: all authors. Data curation: Joo Young Woo,

Tae Kyung Koh. Formal analysis: Joo Young Woo, Soon Bok Kwon, Soo Kweon Koo. Methodology: Joo Young Woo, Soo Kweon Koo. Resources: Soon Bok Kwon, Tae Kyung Koh. Supervision: Soo Kweon Koo. Visualization: Joo Young Woo. Writing—original draft: Joo Young Woo, Chang Lok Ji, Soo Kweon Koo. Writing—review & editing: Joo Young Woo, Tae Kyung Koh, Chang Lok Ji, Soo Kweon Koo.

ORCIDs

Soo Kweon Koo <https://orcid.org/0000-0002-7541-1985>
 Joo Young Woo <https://orcid.org/0000-0002-5972-5714>
 Tae Kyung Koh <https://orcid.org/0000-0002-2805-2270>
 Chang Lok Ji <https://orcid.org/0000-0002-6969-531X>

REFERENCES

- 1) Shine NP, Coates HL, Lannigan FJ. Obstructive sleep apnea, morbid obesity, and adenotonsillar surgery: A review of the literature. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2005;69(11):1475-82.
- 2) Ali NJ, Pitson D, Stradling JR. The prevalence of snoring, sleep disturbance and sleep related breathing disorders and their relation

- to daytime sleepiness in 4-5 year old children. *Am Rev Respir Dis* 1991;143:A381.
- 3) Brouillette RT, Fernbach SK, Hunt CE. Obstructive sleep apnea in infants and children. *J Pediatr* 1982;100(1):31-40.
 - 4) Frank Y, Kravath RE, Pollak CP, Weitzman ED. Obstructive sleep apnea and its therapy: Clinical and polysomnographic manifestations. *Pediatrics* 1983;71(5):737-42.
 - 5) Acar M, Yazıcı D, Bayar Muluk N, Hancı D, Seren E, Cingi C. Is there a relationship between snoring sound intensity and frequency and OSAS severity? *Ann Otol Rhinol Laryngol* 2016;125(1):31-6.
 - 6) Montgomery-Downs HE, O'Brien LM, Holbrook CR, Gozal D. Snoring and sleep-disordered breathing in young children: Subjective and objective correlates. *Sleep* 2004;27(1):87-94.
 - 7) Brietzke SE, Gallagher D. The effectiveness of tonsillectomy and adenoidectomy in the treatment of pediatric obstructive sleep apnea/hypopnea syndrome: A meta-analysis. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2006;134(6):979-84.
 - 8) Brodsky L. Modern assessment of tonsils and adenoids. *Pediatr Clin North Am* 1989;36(6):1551-69.
 - 9) Fujioka M, Young LW, Girdany BR. Radiographic evaluation of adenoidal size in children: Adenoidal-nasopharyngeal ratio. *AJR Am J Roentgenol* 1979;133(3):401-4.
 - 10) Lee JH, Koo GJ, Koo HE, Kim YC, Koo SK, Lee SH, et al. An acoustic and radiologic study on voice change after tonsillectomy and adenotonsillectomy. *Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg* 1999;42(6):762-9.
 - 11) Hoffstein V. Snoring. *Chest* 1996;109(1):201-22.
 - 12) Perez-Padilla JR, Slawinski E, Difrancesco LM, Feige RR, Remmers JE, Whitelaw WA. Characteristics of the snoring noise in patients with and without occlusive sleep apnea. *Am Rev Respir Dis* 1993;147(3):635-44.
 - 13) McCombe AW, Kwok V, Hawke WM. An acoustic screening test for obstructive sleep apnoea. *Clin Otolaryngol Allied Sci* 1995; 20(4):348-51.
 - 14) Fiz JA, Abad J, Jané R, Riera M, Mañanas MA, Caminal P, et al. Acoustic analysis of snoring sound in patients with simple snoring and obstructive sleep apnoea. *Eur Respir J* 1996;9(11):2365-70.
 - 15) Itasaka Y, Miyazaki S, Ishikawa K, Togawa K. Intensity of snoring in patients with sleep-related breathing disorders. *Psychiatry Clin Neurosci* 1999;53(2):299-300.
 - 16) Lumeng JC, Chervin RD. Epidemiology of pediatric obstructive sleep apnea. *Proc Am Thorac Soc* 2008;5(2):242-52.
 - 17) Kumar DS, Valenzuela D, Kozak FK, Ludemann JP, Moxham JP, Lea J, et al. The reliability of clinical tonsil size grading in children. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg* 2014;140(11):1034-7.
 - 18) Cahali MB, Soares CF, Dantas DA, Formigoni GG. Tonsil volume, tonsil grade and obstructive sleep apnea: Is there any meaningful correlation? *Clinics (Sao Paulo)* 2011;66(8):1347-52.
 - 19) Hwang SH, Guilleminault C, Park CS, Kim TW, Hong SC. Usefulness of adenotonsillar size for prediction of severity of obstructive sleep apnea and flow limitation. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2013;149(2):326-34.
 - 20) Gulotta G, Iannella G, Vicini C, Polimeni A, Greco A, de Vincentiis M, et al. Risk factors for obstructive sleep apnea syndrome in children: State of the art. *Int J Environ Res Public Health* 2019; 16(18):3235.
 - 21) Koh TK, Kwon SB, Koo SK, Lee HB, Ji CL, Park GH, et al. Snoring sound intensity and formant frequencies by sleep position in patients with positional obstructive sleep apnea. *Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg* 2020;63(7):308-13.
 - 22) Koo SK, Kwon SB, Kim YJ, Moon JS, Kim YI, Jung SH. Acoustic analysis of snoring sounds recorded with a smartphone according to obstruction site in OSAS patients. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2017;274(3):1735-40.