



Sonotubometry를 이용한 이관기능검사

이동훈¹ · 김민성² · 조봉구¹ · 오세준^{1,3} · 공수근^{1,3}

부산대학교병원 이비인후과,¹

부산대학교 인지과학과정,²

부산대학교 의과대학 이비인후과학교실³

Eustachian Tube Function Test Using Sonotubometry

Dong-Hoon Lee¹, Min-Sung Kim², Bong-Goo Cho¹, Se-Joon Oh^{1,3}, Soo-Keun Kong^{1,3}

¹Department of Otorhinolaryngology and Biomedical Research Institute, Pusan National University Hospital, Busan, Korea

²Major in Cognitive Science, Pusan National University, Busan, Korea

³Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, College of Medicine, Pusan National University, Busan, Korea

ABSTRACT

Background and Objectives: The methods for testing Eustachian tube function include conventional, radiological, and physiological tests. Sonotubometry is one of the physiological test methods. Sonotubometry checks the openness of the ear canal by transmitting 7 kHz narrow-band noise through the nasal cavity and measuring sound energy in the external canal using a microphone. To confirm the clinical significance, the Williams test (Y-226 Hz) was performed and compared to sonotubometry by analyzing their results. **Materials and Methods:** We recruited a total of 40 participants (80 ears), consisting of 20 men and 20 women between the ages of 20 and 40, who did not have any rhinological or otological issues. The subjects were selected based on pure tone audiometry, categorized using the Williams test (Y-226 Hz), and their sonotubometry results were compared. **Results:** The sonotubometry results for the normal group indicated longer duration, greater elevation, and a wider dimension compared to the Eustachian Tube Dysfunction (ETD) group. Furthermore, a correlation was observed between each variable. **Conclusion:** The Williams test (Y-226 Hz) confirmed tube status as either open or closed based on changes in impedance with tube opening. However, Sonotubometry had the advantage of quantitatively confirming not only whether the Eustachian tube was open but also the duration of tube opening and the amount of ventilation during that time.

KEY WORDS: Eustachian tube; Sonotubometry; Williams test; Audiometry.

서론

성인의 이관(eustachian tube)은 비강과 인두, 구개, 중이, 유양돌기를 연결해주는 기관으로 31-38 mm의 좁고 긴 형태

의 연골부, 협부, 골부로 수평면으로부터 45°, 시상평행면에 서는 42°의 각도로 중이강과 비인강을 S자 형태로 연결하여 준다.¹⁾ 이관은 저작과 삼킴, 다양한 호흡법을 통하여 구개범장근(tensor veli palatini muscle)에 의해 400 ms 동안 개방되

Received: November 23, 2023 / Revised: December 20, 2023 / Accepted: December 24, 2023

Corresponding author: Soo-Keun Kong, Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, Pusan National University Hospital, Busan 49241, Korea

Tel: +82-51-240-7332, Fax: +82-51-246-8668, E-mail: entkong@gmail.com

Copyright © 2023. The Busan, Ulsan, Gyeongnam Branch of Korean Society of Otolaryngology-Head and Neck Surgery.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://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.

며, 이때 중이강 내부의 압력과 대기압의 균형을 맞추며, 중이강 내의 노폐물을 비강으로 배출하는 등의 기능을 한다.²⁾

이관이 지속적으로 개방되는 ‘개방성 이관(patulous eustachian tube dysfunction)’의 경우에는 말소리가 울리는 자성강청(autophony)과 고막이 계속 떨리는 느낌을 호소하는 경우가 많다. 이러한 증상은 구개범장근 지방조직의 위축이나 소실로 이관의 연골부가 개방되면서 발생한다.²⁾ 최근 국내연구에서는 최근 마른체형과 다이어트로 인해 개방성 이관 환자 수가 2010년 10만 명당 7.2명에서 2016년 10.3명까지 증가된 것으로 보고하고 있다.³⁾

‘폐쇄성 이관’의 경우에는 중이강 내 환기부전으로 중이염이 유발될 수 있으며,⁴⁾ 중이와 고막에 통증을 유발할 수 있는데 심한 경우에는 고막에 천공이 발생할 수 있다.⁵⁾ 이관이 열리지 않고 지속적으로 폐쇄되어 있는 폐쇄성 이관(dilatatory eustachian tube dysfunction)은 2014년 암스테르담에서는 발표된 “이관기능부전: 정의, 분류, 임상증상 및 진단에 대한 합의문”에 따라 3가지로 분류할 수 있는데, 첫째, 물리적 구조에는 문제가 없지만 이관의 기능적 문제로 확장 되지 않는 ‘기능적 폐쇄(functional obstruction)’, 둘째, 물리적 막힘이 발생하는 ‘해부학적 폐쇄(anatomical obstruction)’, 셋째, 근육의 이상으로 발생하는 ‘동적 폐쇄(dynamic dysfunction)’로 나누어진다.¹⁾

이관의 기능을 평가하는 방법으로는 발살바, 토인비, 프렌젤법 등 다양한 호흡법을 통하여 호흡에 따른 고막의 움직임을 관찰하는 고식적인(conventional) 검사와 CT(computed tomography) 및 MRI(magnetic resonance imaging)를 이용한 영상학적 검사, 공기를 역학적으로 이용하여 정량화하여 측정할 수 있는 생리적 기능검사가 있다. 고식적인 검사는 이관의 개폐 여부만 확인하므로 정량적인 평가가 불가능하고, 영상의학적 검사는 비용과 실시간 모니터링에서 비효율적인 단점이 있기 때문에 보다 효율적인 생리학적 검사가 주로 시행되고 있다. 생리학적 검사로는 대표적으로 Bluestone 9 step test를 변형시킨 Williams test(Y-226 Hz)를 주로 사용하는데, 이 검사는 대기압에서 고막운동도(tympanometry)를 측정하고 외이도에 +400 daPa, -400 daPa을 각각 자극 후 삼킴을 유도하여 정적탄성의 위치변화를 확인하여 이관개방 여부를 확인할 수 있다(Fig. 1). 이러한 방법으로 5분 이내에 비침습적으로 고막과 중이강 내부의 생리를 검증할 수 있다는 장점이 있다.⁶⁾ 하지만 Williams test(Y-226 Hz)는 측정하는 동안 피검자의 침삼킴으로 인해 프로브의 밀폐(sealing)가 정확하게 되지 않아 검사가 중단될 수 있어 환자의 협조도

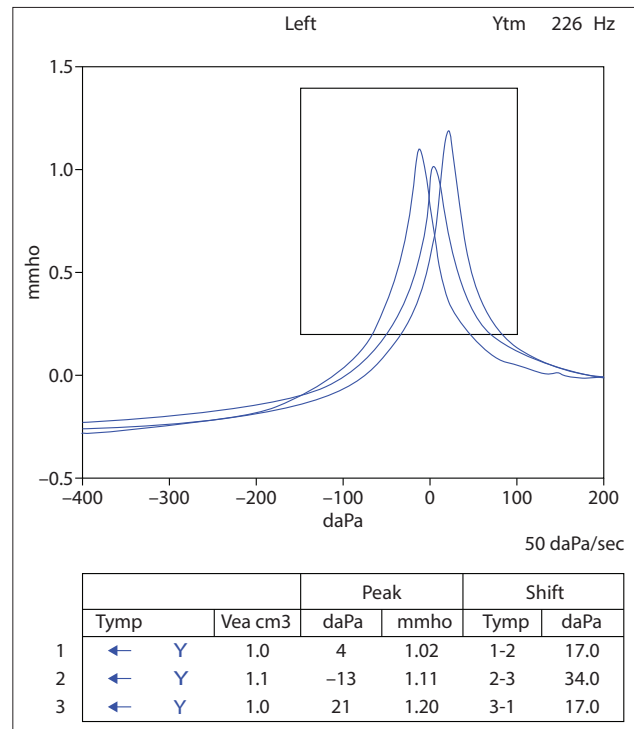


Fig. 1. Williams test (Y-226) changes according to positive and negative pressure stimulation. Static compliance was 4 dPa, but changed to -13 daPa for positive pressure stimulation and 21 daPa for negative pressure stimulation.

가 매우 중요하다. 또한, 고막천공이 있는 경우 또는 중이강 내 문제로 인해 고막운동성계측(tympanometry) 결과, 피크가 나타나지 않는 경우에는 검사의 진행이 불가능하고 명확한 양성 판단 기준이 없다는 제한점이 있다.

이러한 제한점을 보완하기 위한 생리학적인 검사법으로 초음파이관계측법(sonotubometry)이 있으며, sonotubometry는 비강을 통해 7 kHz 협대역잡음을 제공하고 외이도에서 소리에너지를 마이크를 통하여 측정하는 방식으로 이관의 개폐 여부를 확인한다. 이때, 침삼킴을 통해 이관이 개방되면서 마이크에서 측정되는 소리에너지의 전달량의 변화를 비교하여 이관의 개폐여부를 확인할 수 있는 검사로 가로축은 개방시간, 세로축은 이관개방에 따른 소리에너지의 변화량을 나타낸다. 그 결과를 통하여 침삼킴을 통한 이관의 개방된 시간을 확인할 수 있으며, 이관의 개방 전후 외이도에서 측정된 소리의 변화양을 통해 이관의 개방여부, 그리고 소리가 전달되면서 나타나는 개방시간과 소리변화의 양에 따른 그래프의 면적을 통해 이관 개방 시 통과되는 소리에너지의 전달량을 비교하여, 이관 개방 시 전달되는 환기량을 추측할 수 있다. 이때 삼킴을 통해 인두강의 소음발생과 함께 소리의 변화량이 변화하는 경우 정상이관으로(Fig. 2), 인두강에서의 소리는 발생하고

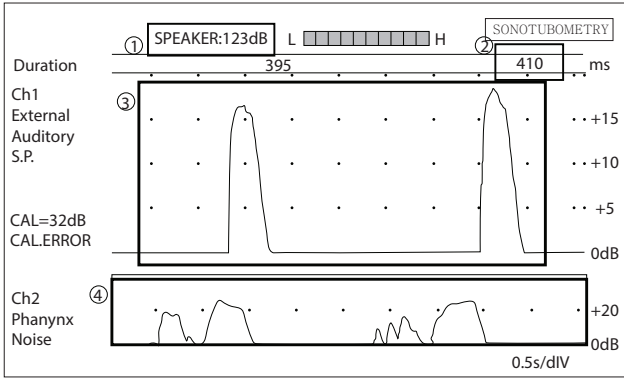


Fig. 2. Sonotubometry results of Normal Eustachian tube. The test results confirm the volume output from the speakers (Fig. 1-①), the duration of eustachian tube opening (Fig. 1-②), sound changes measured in the external canal (Fig. 1-③), and sound changes in the pharynx (Fig. 1-④).

삼킴을 진행하였지만 외이도에서 소리의 변화가 측정되지 않는 경우 폐쇄성 이관으로(Fig. 3), 삼킴으로 인해 외이도에서 소리변화가 나타났지만 완전히 삼키기 전만큼 소리가 감소하지 않는 경우에는 이관 개방증으로 추측할 수 있다(Fig. 4).⁷⁾

단순히 이관의 개폐 여부에 따른 소리의 전달량의 변화를 비교하기 때문에 고막천공 여부와는 상관없이 비교적 짧은 시간에 이관의 기능을 정량적이고 능동적으로 평가가 가능하다는 장점이 있다. 하지만 아직 국내외적으로 이관의 sonotubometry의 임상적의의와 특이도, 타당도 및 검사결과의 정량화에 대한 연구가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 이관의 문제로 불편함을 느끼지 못했던 정상집단군을 대상으로 Williams test(Y-226 Hz)와 sonotubometry를 시행하고 Williams test(Y-226 Hz)에서 결과에 따른 sonotubometry의 결과를 비교하여 생리학적인 관점 방법으로서의 임상적의의를 확인하고자 진행하였다.

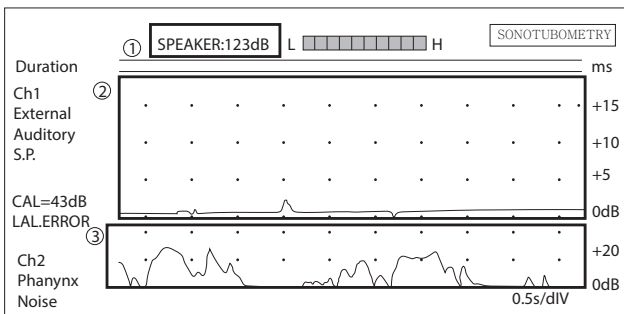


Fig. 3. Sonotubometry results of dilatory eustachian tube dysfunction. In the case of dilatory eustachian tube dysfunction, the sound reaches its maximum volume (Fig. 2-①), and a change in sound occurs in the pharyngeal cavity (Fig. 2-③), while no change in sound is measured in the external auditory canal (Fig. 2-②).

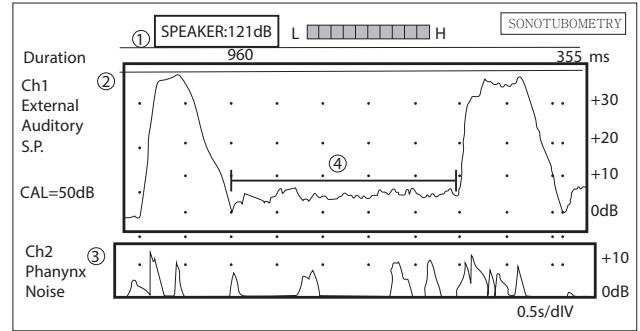


Fig. 4. Sonotubometry results of patulous eustachian tube dysfunction. In the case of patulous eustachian tube dysfunction, sound entered normally (Fig. 3-①), the eustachian tube opened during swallowing (Fig. 3-②), and noise occurred in the pharyngeal cavity (Fig. 3-③), However, it is noteworthy that sound transmission occurred twice without complete closure between swallowing (Fig. 1-④).

대상 및 방법

연구절차

본 연구는 2023년 부산대학교병원 임상연구심의위원회의 승인을 받고 진행하였다(2211-023-120). 대상자들은 본인의 공고문을 통하여 선착순으로 모집하여 진행하였으며, 이관 기능검사에 앞서 문진을 통해 비과적, 이과적 진단을 받은 적 없으면서, 순음청력검사결과 기도전도 역치와 골전도 역치가 10 dB 이내로 차이 나는 경우 대상자로 선정하여 이관기능 검사를 진행하였다. 이관기능 검사는 Tymstarpro(GSI, Eden Prairie, MN, USA)를 이용하여 Williams test(Y-226 Hz)를 먼저 시행하고, 이어서 식품의약품 안전처를 통해 수입 허가를 받은(수허 23-232호) JK-05A(Rion, Kokubunji, Tokyo, Japan)를 이용한 sonotubometry로 이관의 기능을 평가하고 두 검사 간 비교분석을 시행하였다. 이때 sonotubometry를 통해 기기에 표기된 이관의 개방시간과 개방시간 동안의 전달된 소리에너지 차이의 정도 및 양을 분석하기 위해 Image J 프로그램을 통해 높이와 넓이 측정하고 소리에너지의 전달정도를 정량적으로 비교하였다.

연구대상

본 연구의 대상자는 2023년 부산대학교병원 이비인후과에서 공고문을 통하여 모집하여 만 20-40세 남성 및 여성을 각 20명(40귀), 총 40명(80귀)를 선착순으로 모집하여 시행하였다. 전체 대상자의 평균연령은 30.6세(SD 4.374)였으며, 남성 평균 31.7세(SD 4.719), 여성 평균 29.50세(SD 3.742)였다(Table 1). 모든 대상자는 연구 시행 전 설문을 통

Table 1. Group classification according to the results of the Williams test (Y-226 Hz)

	Normal (SD)	ETD (SD)
AGE	30.40 (4.229)	30.80 (4.558)
Air conduction	7.41 dB HL (3.788)	8.040 dB HL (3.851)
Bone conduction	7.21 dB HL (3.851)	7.80 dB HL (3.571)

ETD: Eustachian tube dysfunction.

하여 과거 중이염 및 이과, 비과적 질환이 있는 경우, 대상자에서 제외하였으며, 비행기나 스쿠버 등 대기압의 변화에 따라 이퀄라이징을 통하여 이관개방에 불편함이 없는 대상자만을 선별하여 진행하였다. 대상자의 분류는 선행연구에 따라 Williams test(Y-226 Hz)에서 양압과 음압 모두에서 대칭적으로 6-25 daPa 변화한 대상자를 양성으로 분류하였다.⁸⁾ 분류 결과 전체 80귀 중 40귀(남성 19귀, 여성 21귀)가 양성으로 나타났으며, 나머지 40귀에서는 양압과 음압에 따른 정적탄성의 변화가 나타나지 않았다. 이때 양성으로 나타난 집단을 정상 집단으로 분류하고, 변화가 나타나지 않은 경우에는 ETD(Eustachian Tube Dysfunction) 집단으로 분류하였다. 정상집단의 평균연령은 30.40세(SD 4.229)였으며, 포함되지 못한 ETD 집단의 평균연령은 30.80세(SD 4.558)로 집단 간 연령에는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 또한 두 집단 간 청력 비교에서도 정상집단 기도전도 7.41 dB HL(SD 3.788), 골전도 7.21 dB HL(SD 3.851), ETD 집단 기도전도 8.040 dB HL(SD 3.851), 골전도 7.80 dB HL(SD 3.571)로 두 집단 간 청력에도 유의한 차이가 나타나지 않았다.

통계분석

Williams test(Y-226 Hz)의 결과에 따른 sonotubometry의 결과를 분석하기 위해 SPSS version 27(IBM, Armonk, NY, USA) 통계프로그램을 이용하여 독립표본 Mann-Whitney U test를 시행하여 비교하였으며, Pearson 적률 상관분석을 통하여 각 결과 간 상관관계를 분석하였다.

결과

이관의 기능을 평가하기 위해 Williams test(Y-226 Hz)에서 전체 80귀 중 6-25 daPa의 변화가 양압과 음압 모두에서 대칭적으로 나타난 귀 40귀와 대칭적으로 나타나지 않은 40귀를 분류하여 sonotubometry 결과와 비교하였다. Sonotubometry에서의 이관개방 시간을 비교한 결과 Williams test(Y-226 Hz)에서 정상집단의 경우 378.50 ms(177.404)의 개방시간이 측정되었으며, ETD 집단의 경우에는 223.13 ms(183.972)로 개방시간이 측정되어, Williams test(Y-226 Hz) 결과, 정상집단이 ETD 집단보다 이관의 개방시간이 유의하게 긴 것으로 나타났다. 이관개방 시간 동안의 소리전달 크기의 변화는 정상집단에서 19.031 dB(8.169), ETD 집단에서 10.734 dB(9.253)로 정상집단이 ETD 집단에 비해 소리변화의 정도가 유의하게 큰 것으로 나타났다. Sonotubometry의 이관이 개방된 시간 동안의 전달된 소리 에너지의 양을 면적으로 비교한 결과 Williams test(Y-226 Hz)에서 정상집단의 경우 sonotubometry에서 0.360 cm²(0.2864)의 넓이가 측정되었으며, ETD 집단은 0.170 cm²(0.1880)로 측정되어, 정상집단이 ETD 집단보다 유의하게 넓은 것으로 나타났다(Table 2). 이때, sonotubometry의 반응이 전혀 나타나지 않은 귀는 전체의 16.25%에 해당하는 13귀(남성 5귀, 여성 8귀)가 있었으며, 반응이 나타나지 않은 13귀 중 12귀에서는 Williams test(Y-226 Hz)의 양압 또는 음압에서의 변화가 5 daPa 이하인 것으로 나타났다. Williams test(Y-226 Hz)의 양압과 음압 자극에 따른 정적탄성의 변화와 sonotubometry 각 변수와의 상관관계를 비교한

Table 2. Sonotubometry result according to Williams test (Y-226 Hz)

	Normal (SD)	ETD (SD)	p-value
Sonotubometry duration time (ms)	378.50 (177.404)	223.13 (183.972)	0.000
Sonotubometry elevation (dB)	19.031 (8.169)	10.734 (9.253)	0.001
Sonotubometry dimension (cm ²)	0.360 (0.2864)	0.170 (0.1880)	0.000

ETD: Eustachian tube dysfunction.

결과 Williams test(Y-226 Hz)의 양압과 음압자극에 따른 변화에 상관관계가 나타났으며, sonotubometry 각 변수들 간에도 유의한 상관관계가 나타났다. 또한 두 검사 간 변수들의 상관관계를 비교하였을 때 Williams test(Y-226 Hz)의 변화 양과 sonotubometry의 개방시간, 변화하는 소리의 양, 소리의 전달양 모두에서 상관관계가 나타났다(Table 3).

고찰

본 연구는 이관기능 검사 중 현재 임상에서 이관의 기능을 평가하기 위해 사용되고 있는 생리학적검사인 Williams test(Y-226 Hz)와 sonotubometry의 상관성을 확인하여 sonotubometry의 임상적 의의를 확인하고자 진행하였다. 본격적인 연구에 앞서 설문과 순음청력검사를 통하여 이관의 기능에 불편함을 없는 대상자만을 선별하여 진행하였으며, Williams test(Y-226 Hz)를 선행적으로 시행하여 이관의 개폐 여부를 확인하여 정상집단과 ETD 집단을 분류하여 sonotubometry를 통한 측정변수인 이관개방시간과 이관개방시간 동안의 소리에너지의 양을 비교하였다. 그 결과 Williams test(Y-226 Hz)에서 양압과 음압으로 가압과 감압을 하였을 때 이관이 개방되는 정상집단에서는 sonotubometry에서 개방시간이 378.50 ms로 가압과 감압에 따라 임피던스가 대칭적으로 변화하지 않았던 ETD 집단의 개방시간인 223.13 ms에 비해 유의하게 긴 것으로 나타났다. 이러한 결과는 이관개방시간이 400 ms로 주장하는 선행연구와 근사한 수치가 나타였으며,²⁾ ETD 집단의 경우에는 이관이 침삼킴에 의해 개방되더라도 비교적 이관의 개방시간이 짧은 것을 알 수 있었다. 또한 이관개방 시간 동안 변화하는 소리의 크기를 비교한 결과 정상집단이 ETD 집단보다 더 큰 것으로 나타나 이관 개방 시 개방시간뿐만 아니라 개방시간 동안 통과하는 소리의 크기변화도 큰 것을 알 수 있었다. 추가적으로 이관의 개방시간 동안 변화하는 소리에너지의 양을 측정하기

위해 sonotubometry의 그래프의 가로축인 지속시간과 세로축인 소리에너지의 변화 정도와 그래프의 모양에 따른 면적을 비교한 결과에서도 정상집단이 유의하게 넓은 것으로 나타났다. 이러한 면적의 차이로 인하여 침삼킴으로 발생하는 이관의 개방시간 동안 전달되는 소리 에너지의 양이 양성집단군이 유의하게 많다는 것을 알 수 있었다.

각 변수별로 상관성을 비교하기 위해 시행한 상관분석에서는 Williams test(Y-226 Hz)의 양압과 음압 자극에 따른 정적탄성의 변화가 정적 상관관계가 나타났으며, sonotubometry의 지속시간과 최대소리변화의 정도, 소리전달양 모두 상관성이 있는 것으로 나타나 각 검사의 변수 간 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 또한 두 검사간 변수의 상관성 비교에서도 Williams test(Y-226 Hz)의 변수와 sonotubometry의 지속시간, 최대 소리변화의 정도, 소리의 전달양 모두와 정적상관이 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 면적을 측정할 때 가로축인 지속시간과 세로축인 최대 소리변화의 정도가 포함되기 때문에 상관관계가 높은 것으로 판단되며, Williams test(Y-226 Hz)에서 정적탄성의 위치가 양압과 음압 자극에 따라 많이 변화할수록 sonotubometry의 지속시간과 최대소리변화의 정도, 소리전달양이 증가하는 것을 알 수 있었으며, 특히 양압과 음압 모두 sonotubometry의 변수 중 최대소리변화의 정도와 가장높은 상관관계를 나타냈다.

결과를 종합하여 봤을 때 지금까지 많은 임상에서 이관의 개폐여부를 확인하기 위해 사용하는 Williams test(Y-226 Hz)는 가압과 감압 시 이관개방에 따른 임피던스의 변화를 통해 이관의 개폐여부만을 확인할 수 있다면, sonotubometry는 이관의 개폐여부 뿐만 아니라 이관개방 시간과 이관개방 시간 동안 환기되는 양을 정량적으로 확인할 수 있다는 장점이 있었다. 따라서 현재 많은 임상현장에서 주로 사용 중인 Williams test(Y-226 Hz) 만큼 이관의 개폐여부를 짧고 간편한 방법으로 측정할 수 있는 sonotubometry도 임상적으로 의의가 있을 것으로 판단된다.

Table 3. Correlation between Williams test (Y-226 Hz) and sonotubometry

	Positive Williams test	Negative Williams test	Sonotubometry duration time	Sonotubometry elevation	Sonotubometry dimension
Positive Williams test		.752 [†]	.295 [†]	.371 [†]	.271*
Negative Williams test	.752 [†]		.305 [†]	.327 [†]	.285*
Sonotubometry duration time	.295 [†]	.305 [†]		.837 [†]	.892 [†]
Sonotubometry elevation	.371 [†]	.327 [†]	.837 [†]		.838 [†]
Sonotubometry dimension	.271*	.285*	.892 [†]	.892 [†]	

* p<0.05, † p<0.01.

하지만 본 연구는 연령을 2-30대로만 구성하여 대상자의 수도 80귀로 일반화하기에는 한계가 있으며, 비강의 넓이와 이관의 개폐여부를 내시경으로 관찰하고 sonotubometry와 비교하지 않았기 때문에 생리적인 검사만으로 이관의 개폐여부를 확인하기에는 한계점이 있다. 따라서 일본이과학회에서 권고한 절차에 따라 주관적증상과, 체위변동에 따른 개선소견과 호흡에 따른 고막과 외이도압력의 변화를 종합적으로 비교하여 진단할 필요가 있다.

또한 아직까지 sonotubometry의 민감도 및 특이도에 대한 연구가 부족하여 추후 후행연구에서는 정상집단과 이관의 개폐여부에 따른 환자군을 분류하여 sonotubometry의 민감도와 특이도를 확인하고 sonotubometry의 양성기준을 정량화하는 후행적 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Acknowledgements

Not applicable.

Funding Information

Not applicable.

Conflicts of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

ORCID

Dong-Hoon Lee, <https://orcid.org/0000-0003-3678-5738>

Min-Sung Kim, <https://orcid.org/0000-0001-7459-4233>

Bong-Goo Cho, <https://orcid.org/0009-0008-3232-6837>

Se-Joon Oh, <https://orcid.org/0000-0001-8910-0064>

Soo-Keun Kong, <https://orcid.org/0000-0002-6783-3766>

Author Contribution

Conceptualization: Lee DH.

Data curation: Lee DH, Cho BG.

Formal analysis: Lee DH.

Methodology: Kong SK.

Validation: Kong SK.

Writing - original draft: Lee DH.

Writing - review & editing: Lee DH, Kim MS, Cho BG, Oh SJ, Kong SK.

Ethics Approval

Research was conducted according to all ethical standards, and written informed consent was obtained from all patients. This study was approved by the Institutional Review Board (IRB) of the Pusan National University Hospital, Korea (Approval No. 2211-023-120).

References

1. Lee SA, Lee CK. Pathophysiology and classification of eustachian tube disorder. *J Clin Otolaryngol Head Neck Surg* 2022;33(4):165-73.
2. Kong SK. Diagnosis and management of the patulous eustachian tube. *J Clin Otolaryngol Head Neck Surg* 2009;20(2):149-56.
3. Choi SW, Kim J, Lee HM, Oh SJ, Lee IW, Goh EK, et al. Prevalence and incidence of clinically significant patulous eustachian tube: a population-based study using the Korean National Health Insurance Claims database. *Am J Otolaryngol* 2018;39(5):603-8.
4. Bluestone CD. Eustachian tube: structure, function, and role in middle-ear disease. Raleigh, NC: Peoples Medical Publishing House; 2017.
5. Yoo MH, Park HJ. Diagnosis and treatment of otalgia. *Korean J Otorhinolaryngol Head Neck Surg* 2013; 56(4):191-200.
6. Heo SD, Yoo YS. Audiology. 3rd ed. Busan: Dong-A University; 2004. p.241-51.
7. Kobayashi T, Morita M, Yoshioka S, Mizuta K, Ohta S, Kikuchi T, et al. Diagnostic criteria for patulous eustachian tube: a proposal by the Japan Otological Society. *Auris Nasus Larynx* 2018;45(1):1-5.
8. Lee DH, Kim MS, Jang MH. Eustachian tube function test of normal ear in patients with unilateral chronic otitis media. *Audiol Speech Res* 2023;19(1):51-5.