



이관질환에 따른 Sonotubometry의 특성

이동훈¹ · 조봉구¹ · 오세준^{1,2} · 최성원^{1,2} · 공수근^{1,2}부산대학교병원 이비인후과,¹부산대학교 의과대학 이비인후과학교실²

Characteristics of Sonotubometry According to Eustachian Tube Disorder

Dong-Hoon Lee¹, Bong-Goo Cho¹, Se-Joon Oh^{1,2}, Sung-Won Choi^{1,2}, Soo-Keun Kong^{1,2}¹Department of Otorhinolaryngology and Biomedical Research Institute, Pusan National University Hospital, Busan, Korea²Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, College of Medicine, Pusan National University, Busan, Korea

ABSTRACT

Background and Objectives: When the eustachian tube fails to open properly, leading to inadequate ventilation or difficulty equalizing external pressure, it is diagnosed as dilatory eustachian tube dysfunction. If the E-tube remains open without proper closure after opening, it is classified as patulous eustachian tube dysfunction. This study aims to classify groups based on Eustachian tube (E-tube) opening and closure states, analyze sonotubometry characteristics within each group, and provide foundational data for E-tube function testing. **Materials and Methods:** This study analyzed 752 ears from who underwent sonotubometry, categorized into three groups: Normal 147 ears, patulous eustachian tube dysfunction (PET) 81 ears, and dilatory eustachian tube dysfunction (ETD) 41 ears. E-tube opening duration time and changes in sound magnitude were compared among the groups. receiver operating characteristics (ROC) analysis was performed to determine cut-off values for differentiating ETD from Normal based on E-tube opening and closure status. **Results:** The ETD group had significantly shorter E-tube opening duration time compared to both the Normal and PET groups. Conversely, the PET group had significantly longer opening duration time than the Normal group. Additionally, the ETD group showed significantly smaller changes in sound magnitude compared to the other groups, while the PET group had significantly larger changes compared to the Normal group. Cut-off values for normal E-tube function were 242.50 ms for opening duration time and 6.435 dB for changes in sound magnitude. **Conclusion:** Sonotubometry is highly sensitive and specific for assessing normal E-tube function and diagnosing PET and ETD, making it essential for evaluating E-tube disorders.

KEY WORDS: Eustachian tube; Ear, Middle; Sonotubometry; Audiometry.

서론

이관은 비인강과 중이강을 연결해주는 31-38 mm의 S자

형태의 관으로, 구개뿔장근의 영향을 받아 중이와 비인두 사이의 압력차이가 발생하거나,^{1) 호흡, 삼킴, 저작활동에 따라 300-600 ms 동안 일시적으로 개방이 이루어진다.^{2) 이러한}}

Received: July 25, 2024 / Revised: September 10, 2024 / Accepted: October 21, 2024

Corresponding author: Soo-Keun Kong, Department of Otorhinolaryngology and Biomedical Research Institute, Pusan National University Hospital, Busan 49241, Korea

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

Copyright © 2024. 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.

이관의 개방은 중이강 내의 환기와 외부 대기압과의 균형을 맞추는 기능을 한다.^{2,3)} 이관이 정상적으로 개방되지 않아 환기가 되지 않거나 외부 대기압과의 균형을 맞추지 못하는 경우에는 폐쇄성이관(dilatatory eustachian tube dysfunction)으로 진단되기도 하며, 이때 이충만감, 발열, 이통, 난청, 이루 등 다양한 증상을 동반하면서 삼출성, 유착성 중이염 및 진주종이 발생할 수 있다.⁴⁾ 이러한 이관기능부전의 유병률은 국내연구에서 소아 6.1%, 성인 4.6%~10% 정도로 보고되고 있다.⁵⁾ 이관 폐쇄증과 반대로 이관이 개방된 후 폐쇄가 이루어지지 않고 지속적으로 개방되는 경우 이관개방증(patulous eustachian tube dysfunction)으로 분류되며, 자성강청과 고막이 흔들리는 증상을 호소하는 경우가 많다. 이러한 개방성 이관환자의 수는 국내연구에서 2016년 기준 10만 명 기준 약 10.3명 정도로 보고되고 있다.⁶⁾

이관의 기능은 호흡방법에 따른 고식적인 방법과 영상의학적인 방법, 생리학적 방법 등으로 확인할 수 있으며, 특히 최근 사용되고 있는 생리학적 방법 중 하나인 초음파이관계측법(sonotubometry)은 7 kHz의 narrow-band noise를 비강을 통해 제공하고 외이도에서 소리의 변화를 측정하는 방식으로 진행된다. 이때 연하작용에 따라 변화하는 소리의 변화의 양에 따라 능동적인 이관의 개폐여부를 확인할 수 있을 뿐만 아니라 이관 개방시간과 변화하는 소리에너지의 크기변화를 통하여 이관의 개방 시 환기량을 정량적으로 평가할 수 있다는 장점이 있다. 또한 생리학적 검사 중 임상에서 주로 사용하던 Bluestone의 9 step test를 변형시킨 Williams test(Y-226 Hz)와 상관관계를 살펴본 국내 선행연구에서는 높은 상관성이 있는 것으로 나타났다.⁷⁾ 따라서 본 연구는 이관 개폐여부에 따른 집단을 분류하고 각 집단의 sonotubometry의 결과를 통계적으로 비교 분석하여 sonotubometry의 특성을 확인하고, 이관기능검사의 기초 자료가 되고자 시행하였다.

대상 및 방법

연구대상

본 연구는 2024년 이비인후과에 내원하여 JK-05A(Rion,

Kokubunji, Tokyo, Japan)를 이용하여 sonotubometry 검사를 시행한 351명(752귀)을 이관의 개폐여부에 따라서 정상집단 147귀, 개방성 이관(patulous eustachian tube dysfunction, PET) 81귀, 폐쇄성이관(dilatatory eustachian tube dysfunction, ETD) 41귀로 분류하였으며, 중이염이 발생하였거나 sonotubometry의 비강을 통한 NBN(narrow-band noise)의 전달을 영향을 줄 수 있는 비염, 비중격만곡증 등 비과적 질환을 동반하고 있는 경우에는 대상자에서 제외하였다. 각 집단의 평균연령은 정상집단 43.41세(standard deviation, SD 15.066), PET 집단 42.32세(SD 16.793), ETD 집단 46.32세(SD 16.976)로 통계적으로 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았다(Table 1).

연구절차

본 연구는 시행 전 2024년 임상연구심의위원회의 승인 후 진행하였다(2407-008-140). Sonotubometry 시행 전 집단을 분류하기 위해 본원에 내원하여 이비인후과 전문의에 의해 대측 비강을 손으로 막고 호흡을 시행하며 고막을 관찰하였을 때, 고막의 움직임이 호흡과 일치하는 경우에는 PET 집단으로 분류하였으며, 발살바와 ear popper를 이용하여 비강을 통해 압력을 제공하였지만 고막의 움직임이 나타나지 않는 경우에는 ETD 집단으로 분류하였다. 이때, 중이염이나 고막천공으로 인하여 고막의 움직임 관찰이 불가능한 경우에는 대상자에서 제외하였다.

분류된 대상자들은 이비인후과 청력검사실에서 JK-05A(Rion, Kokubunji, Tokyo, Japan; 수허 23-232호)를 이용하여 sonotubometry를 시행하였으며, sonotubometry의 결과를 통해 이관개방 시 소리크기의 변화를 Image J 프로그램을 이용하여 측정하고, 기기의 표시된 이관개방시간을 수집하여 각 집단 간 측정변수를 비교 분석하였다. 집단 간 측정변수의 비교분석을 시행한 후에는 ETD 집단과 정상집단의 이관 개폐여부를 확인할 수 있는 각 변수의 cut-off value를 ROC 분석을 이용하여 확인하였으며, 이때, 민감도와 특이도의 합이 가장 높은 변수를 통하여 cut-off value를 확인하였다.

Table 1. Number and age of subjects in each group

	Normal (SD)	PET (SD)	ETD (SD)
N (ear)	147	81	41
Age	43.41 (15.066)	42.32 (16.793)	46.32 (16.976)

SD: standard deviation, PET: patulous eustachian tube dysfunction, ETD: dilatatory eustachian tube dysfunction.

통계분석

이관의 개폐여부에 따른 각 집단의 sonotubometry의 결과를 비교하기 위해 SPSS version 27(IBM, Armonk, NY, USA) 통계프로그램을 이용하여 독립표본 Kruskal-Wallis 분석을 이용하여 각 집단의 측정 변수를 비교하였으며, 측정 변수 중 이관의 정상적인 개방여부를 확인하기 위해 ROC 분석을 통해 cut-off value를 확인하였다.

결과

각 집단의 sonotubometry결과 정상집단의 경우 인두의 소음과 함께 400 ms 내외의 이관개방시간이 나타났으며(Fig. 1), 이관개방증의 경우 이관의 상시 개방으로 인하여 스피커의 출력이 100 dB 미만이면서 삼킴에 대한 이관개방 시간 및 이관개방 시 소리크기의 변화를 측정할 수 없는 대상자(Fig. 2)와 삼킴 후 이관이 열린 상태로 지속되는 ‘open plateau pattern’이 발생하는 대상자(Fig. 3), 이관개방시간이 정상

이 비해 길었던 대상자들이 나타났다. 이때, 상시개방으로 변수를 측정할 수 없는 2귀는 대상자에서 제외하였으며, ‘open plateau pattern’이 발생하여 2,000 ms 이상 개방되는 경우에는 2,000 ms로 보정하여 분석하였다. 이관폐쇄증 집단의 경우 삼킴으로 인해 인두에서의 소리변화는 측정되었지만 위도에서 소리의 변화가 측정되지 않는 사례(Fig. 4)와 정상 집단에 비해 이관개방시간이 짧고, 소리크기의 변화가 작은 패턴이 나타났다(Fig. 5).

이관개폐여부에 따른 각 집단의 sonotubometry의 결과를 분석한 결과, 이관개방시간의 경우 정상집단에서 379.80 ms(130.280), PET 집단에서 567.47 ms(378.186), ETD 집단에서 115.12 ms(152.948)로 나타나 각 집단의 이관개방시간에 유의한 차이가 나타났으며, 이관개방 시 소리크기의 변화에서도 정상집단에서 17.402 dB(8.075), PET 집단에서 21.262 dB(9.648), ETD 집단에서 5.884 dB(8.279)로 나타나 각 집단의 이관개방 시 소리크기의 변화에서도 유의한 차이가 나타났다(Table 2).

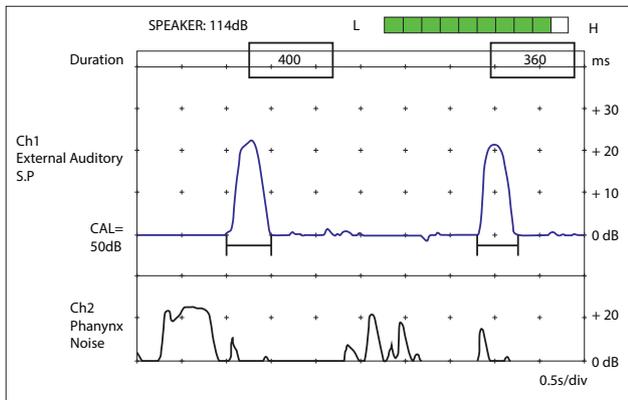


Fig. 1. Sonotubometry results of normal eustachian tube. CAL: calibration.

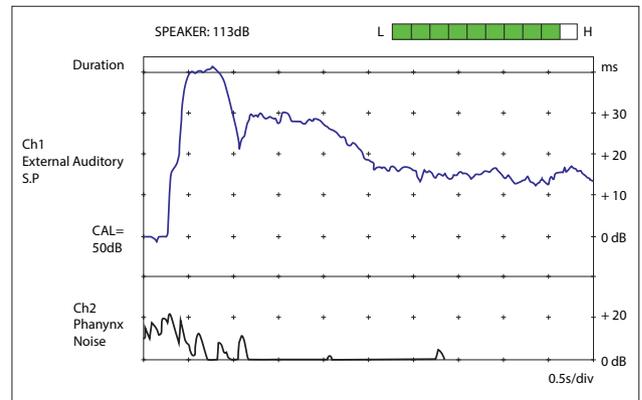


Fig. 3. Sonotubometry results of open plateau pattern PET. CAL: calibration, PET: patulous eustachian tube dysfunction.

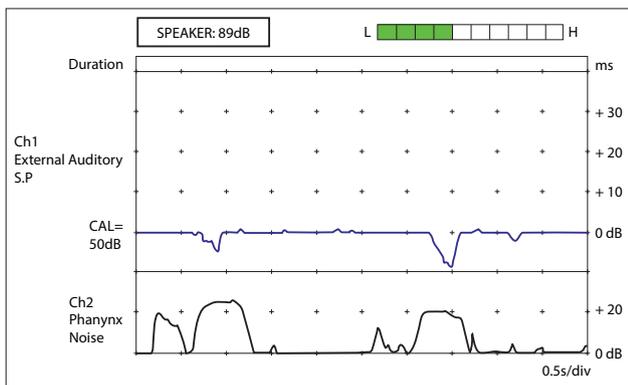


Fig. 2. Sonotubometry results of continuous PET. CAL: calibration, PET: patulous eustachian tube dysfunction.

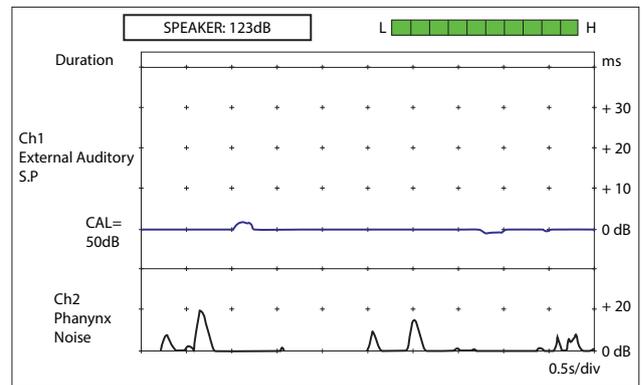


Fig. 4. Sonotubometry results of ETD. CAL: calibration, ETD: dilatory eustachian tube dysfunction.

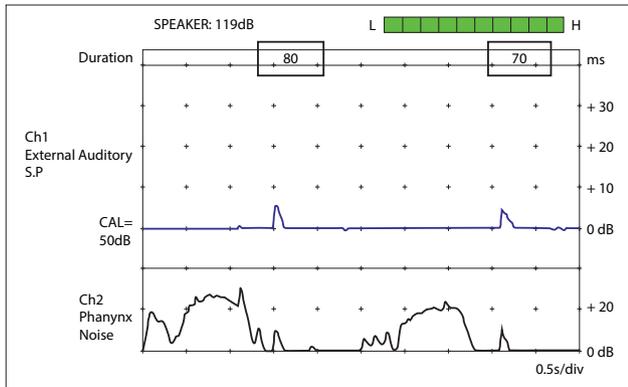


Fig. 5. Sonotubometry results of short-term open ETD. CAL: calibration, ETD: dilatory eustachian tube dysfunction.

각 집단의 이관개방시간의 차이를 비교 분석한 결과 ETD 집단은 정상집단과 PET 집단에 비해 이관개방시간이 유의하게 짧은 것으로 나타났으며, PET 집단은 정상집단에 비해 이관개방시간이 유의하게 긴 것으로 나타났다(Fig. 6).

각 집단의 이관개방 시 소리크기의 차이를 비교 분석한 결과 ETD 집단은 정상집단과 PET 집단에 비해 이관개방 시 변화하는 소리의 크기가 유의하게 작은 것으로 나타났으며, PET 집단은 정상집단에 비해 이관개방 시 변화하는 소리의 크기가 유의하게 큰 것으로 나타났다(Fig. 7).

각 집단의 진단을 위해 사용되는 cut-off value를 확인하기 위하여 ROC 분석을 시행한 결과(Fig. 8), 정상집단과 ETD 집단의 이관개방시간의 경우 242.50 ms에서 민감도 89.1%, 특이도 87.8%로 민감도와 특이도의 합이 가장 높은 cut-off value를 확인할 수 있었으며(Table 3), 이관개방 시 소리크기의 변화는 6.435 dB에서 민감도 92.5%, 특이도 73.2%로 민감도와 특이도의 합이 가장 높은 cut-off value를 확인할 수 있었다(Table 4). 정상집단과 PET 집단의 경우 유의한 ROC 분석이 나타나지 않았다.

고찰

본 연구는 최근 국내에서 사용되기 시작한 sonotubometry를 통해 이관의 개폐여부에 따른 집단의 이관기능의 특성을

확인하고 sonotubometry의 변수를 통해 각 집단의 특성의 기준이 되는 기준점을 찾고자 진행하였다. 본 연구에 앞서 집단분류는 이비인후과 전문의 문진과 이과학적 진단을 통해 정상, 이관개방증, 이관폐쇄증으로 대상자를 선별하여 분류하고, 각 집단의 sonotubometry의 특성과 개폐여부를 확인할 수 있는 기준점을 확인하였다. 그 결과 이관폐쇄증 집단의 경우 정상집단에 비해 개방시간이 유의하게 짧고, 이관개방 시 변화하는 소리크기의 변화가 유의하게 작았으며, 이관개방증 집단의 경우 정상집단에 비해 이관개방시간이 유의하게 길고, 이관개방 시 변화하는 소리의 크기변화가 유의하게 큰 것으로 나타났다. 정상집단의 경우 2-30대 정상인을 대상으로 시

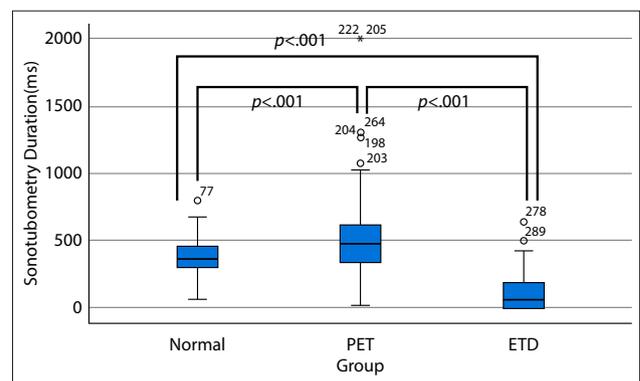


Fig. 6. Differences in sonotubometry opening duration time between groups. PET: patulous eustachian tube dysfunction, ETD: dilatory eustachian tube dysfunction.

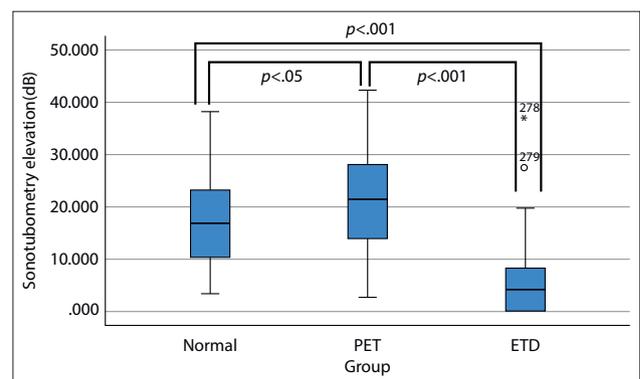


Fig. 7. Differences in sonotubometry desibel elevation between groups. PET: patulous eustachian tube dysfunction, ETD: dilatory eustachian tube dysfunction.

Table 2. Results of sonotubometry in each group

	Normal (SD)	PET (SD)	ETD (SD)	p-value
Sonotubometry opening duration time (ms)	379.80 (130.280)	567.47 (378.186)	115.12 (152.948)	<0.001
Sonotubometry decibel elevation (dB)	17.402 (8.075)	21.262 (9.648)	5.884 (8.279)	<0.001

SD: standard deviation, PET: patulous eustachian tube dysfunction, ETD: dilatory eustachian tube dysfunction.

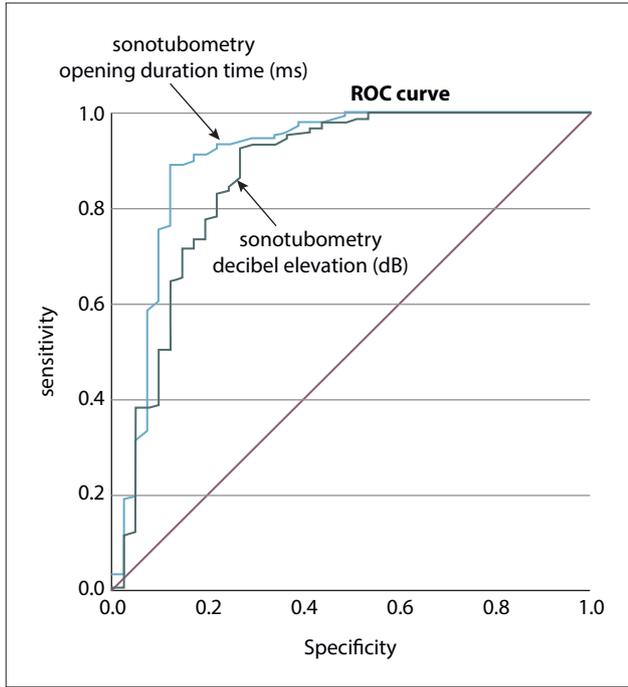


Fig. 8. ROC analysis according to sonotubometry results. ROC: receiver operating characteristics.

행한 328.50 ms, 19.031 dB와 매우 유사한 것으로 나타났으며,⁷⁾ 이관개방시간이 400 ms라고 주장하는 선행연구와 비슷한 결과가 나타났다.³⁾ 이관폐쇄증 비강에서 제시한 소리가 위 이도까지 전달되기 위해 더 큰 소리에너지가 필요했으며, 위 이도에 전달된 후에도 삼킴에 의한 소리의 변화가 나타나지 않거나, 변화가 있더라도 정상집단에 비해 짧은 시간 동안 개방되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 이관폐쇄증의 경우 삼킴에 의해 이관이 개방되지 않거나, 정상집단에 비해 이관

의 넓이가 좁고, 삼킴에 의한 개방 시 정상집단에 비해 비교적 짧게 개방되기 때문으로 판단된다.

이관개방증 집단은 정상집단에 비해 삼킴에 의한 능동적 이관개방 후 닫히는 시간이 유의하게 길거나, 선행연구에서 주장한 이관 개방 후 닫히지 않는 “open plateau” 유형의 결과도 나타났으며,⁸⁾ 이관개방증을 대상으로 시행했던 해외 선행연구와 일치하는 것을 확인할 수 있었다.⁹⁾ 이러한 결과를 통해 이관이 상시개방 되어 있는 경우에는 비강을 통해 제공된 소리가 위이도에 바로 전달이 되면서 “open plateau” 유형이 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, 이관이 상시개방 되지 않은 경우에는 삼킴에 의해 이관의 개폐가 진행되는 경우도 나타났는데, 이러한 경우에는 정상에 비해 이관 개방시간과 전달되는 소리의 크기가 큰 것으로 나타났다. 이관개방증의 다양한 패턴을 통해서 이관개방증의 경우 정상집단에 비해 삼킴에 의한 개방이 길게 되거나 구조적으로 이관이 넓기 때문으로 판단된다.

추가적으로 이관의 개폐여부를 확인할 수 있는 기준점인 cut-off value를 확인하기 위해 ROC 분석을 시행하였으며, 그 결과 이관폐쇄증 집단과 정상집단 간의 이관개방시간에서는 242.50 ms에서 cut-off value를 확인할 수 있었으며, 이러한 결과는 이관폐쇄증의 경우 약 400 ms 동안 개방되는 선행연구들에 비해 개방시간이 짧거나 개방되지 않는 것을 확인할 수 있었으며,³⁾ 소리크기의 변화에서는 6.435 dB에서 cut-off value가 나타나 이관폐쇄증의 소리크기의 변화는 5 dB 미만으로 나타난다는 선행연구와 유사하게 나타났다.⁸⁾ 하지만 정상집단과 이관개방증 집단의 경우에는 이관개방증 집단이 유의하게 개방시간이 길고 변화하는 소리가 컸지만, cut-off

Table 3. Sensitivity and specificity of sonotubometry opening duration time for ETD and normal (ms)

	Sensitivity	Specificity	Sensitivity+specificity
202.50	0.925	0.220	1.706
207.50	0.912	0.805	1.716
212.50	0.912	0.829	1.741
220.00	0.905	0.829	1.734
227.50	0.898	0.829	1.727
242.50	0.891	0.878	1.769
247.50	0.884	0.878	1.762
252.50	0.878	0.878	1.756
257.50	0.871	0.878	1.749
262.50	0.864	0.878	1.742
270.00	0.837	0.878	1.715

ETD: dilatory eustachian tube dysfunction.

Table 4. Sensitivity and specificity of sonotubometry decibel elevation for ETD and normal (dB)

	Sensitivity	Specificity	Sensitivity+specificity
5.628	0.952	0.634	1.587
5.818	0.946	0.634	1.580
6.010	0.932	0.659	1.591
6.135	0.932	0.683	1.615
6.310	0.932	0.707	1.639
6.435	0.925	0.732	1.657
6.625	0.918	0.732	1.650
6.755	0.912	0.732	1.643
6.945	0.898	0.732	1.630
7.190	0.891	0.732	1.623
7.375	0.844	0.732	1.616

ETD: dilatory eustachian tube dysfunction.

value를 찾을 만큼의 차이가 나타나지 않아 정상과 이관개방 증을 나누는 기준점을 정하기에는 한계점이 있었다.

또한 본 연구의 경우 문진을 통해 비염과 비중격만곡증 등 비과적인 질환의 유무만 판단하였으며, 비강의 넓이와 같은 비과적 구조와 이관의 길이와 넓이 등에 대한 영향으로 나타나는 측정변수에 대한 오류는 통제되지 않았으며, 이관질환의 경우 대상자의 컨디션과 환경적 요인에 의해서도 달라질 수 있으며, 대상자 수 또한 일반화하기에는 한계점이 있었다. 따라서 개폐여부에 따른 민감도와 특이도가 높더라도 일본이과학회에서 권고에 따라 주관적 증상과 체위 변동에 따른 개선 소견 및 호흡에 따른 외이도의 압력 변화 등을 종합적으로 비교하기 위해 선행연구에 따라 체위 변환에 따른 sonotubometry와 TTAG(tubo-tympano-aerodynamic-graphy) 등 다양한 검사를 통해 종합적으로 비교하여 진단할 필요가 있을 것으로 판단된다.¹⁰⁾ 따라서 이에 따른 기준을 마련하기 위해 체위변동에 따라 변화하는 이관질환의 검사 특성과 압력을 이용한 검사인 TTAG와의 상관성을 비교한 후속 연구가 필요할 것으로 사료된다.

결론

본 연구를 통해 이관의 개폐여부에 따른 sonotubometry의 측정변수들을 종합적으로 비교해 보았을 때, 정상이관과 이관폐쇄증, 이관개방증의 특성을 확인할 수 있다는 부분에서 선행연구와 일치하였으며,¹¹⁾ 이관의 개폐여부 확인 및 이관폐쇄증 진단을 위한 임상적 방법으로는 민감도와 특이도가 높아 임상적 의의가 있는 것으로 나타났다. 하

지만 “open plateau”가 나타나지 않는 이관개방증의 경우 sonotubometry의 측정변수만을 통해서 정상집단과 구분하여 진단하기에는 명확한 기준점이 없어 한계점이 있을 것으로 판단된다.

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>

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

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

Sung-Won Choi, <https://orcid.org/0000-0002-7463-7720>

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, Cho BG, Oh SJ, Choi SW, 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. 2407-008-140).

References

1. Smith ME, Blythe AJC, Baker C, Zou CC, Hutchinson PJA, Tysome JR. Tests of eustachian tube function: the effect of testing technique on tube opening in healthy ears. *Otol Neurotol* 2017;38(5):714-20.
2. Lee SA, Lee CK. Pathophysiology and classification of eustachian tube disorder. *J Clin Otolaryngol Head Neck Surg* 2022;33(4):165-73.
3. Kong SK. Diagnosis and management of the patulous Eustachian tube. *J Clin Otolaryngol Head Neck Surg* 2009;20(2):149-56.
4. Tysome JR, Sudhoff H. The role of the eustachian tube in middle ear disease. In: Lloyd SKW, Donnelly NP, editors. *Advances in Oto-Rhino-Laryngology*. Basel: karger; 2018. p. 146-152.
5. Chung JH, Lee SH, Woo SY, Kim SW, Cho YS. Prevalence and associated factors of chronic suppurative otitis media: data from the Korea National Health and Nutrition Examination Survey, 2009–2012. *Laryngoscope* 2016;126(10):2351-7.
6. 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.
7. Lee DH, Kim MS, Cho BG, Oh SJ, Kong SK. Eustachian tube function test using sonotubometry. *J Clin Otolaryngol Head Neck Surg* 2023;34(4):130-5.
8. Lee HY. Diagnosis of eustachian tube diseases. *J Clin Otolaryngol Head Neck Surg* 2022;33(4):174-83.
9. Kawamura Y, Ikeda R, Kikuchi T, Miyazaki H, Kawase T, Katori Y, et al. The characteristic of patulous eustachian tube patients diagnosed by the JOS diagnostic criteria. *PLOS ONE* 2019;14(12):e0226908.
10. Lee JM, Lee HJ. Eustachian tube function test. *Korean J Otorhinolaryngol Head Neck Surg* 2022;65(4):193-201.
11. Ikeda R, Ohta S, Yoshioka S, Endo S, Lee K, Kikuchi T, et al. A manual of Eustachian tube function tests—illustration of representative test results obtained from healthy subjects and typical disorders with suggestion of the appropriate test method of choice. *Auris Nasus Larynx* 2024;51(1):206-13.