

Analysis of Electrocochleography: According to the Position of Summating Potential Peak

Kijeong Lee, Karam Kang, Dongju Oh, Sung Kyun Kim, Hak Hyun Jung, and Gi Jung Im

Department of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, College of Medicine, Korea University, Seoul, Korea

가중 전압 정점 선정에 따른 전기와우도 결과의 분석

이기정 · 강가람 · 오동주 · 김성균 · 정학현 · 임기정

고려대학교 의과대학 이비인후-두경부외과학교실

Received December 31, 2015

Revised March 21, 2016

Accepted April 6, 2016

Address for correspondence

Gi Jung Im, MD

Department of Otolaryngology-

Head and Neck Surgery,

College of Medicine, Korea University,

73 Incheon-ro, Seongbuk-gu,

Seoul 02841, Korea

Tel +82-2-920-5345

Fax +82-2-925-5233

E-mail earkorea@gmail.com

Background and Objectives The aim of this study was to analyze the summating potential (SP)/action potential (AP) ratio of electrocochleography (ECoG) recorded from the position of SP peak. We compared the SP/AP ratios of negative polarity and positive polarity graphs from the same ECoG of each patient by assuming different the position of SP peak. In addition, we attempted to evaluate the utility of two different manners of recording the ECoG graph in the diagnosis of Meniere's disease.

Subjects and Method Retrospectively, we analyzed the results of ECoG in 67 patients with unilateral definite Meniere's disease. ECoG was analyzed in two different manners. From the AP peak, the SP peak was determined close when positioned in the negative polarity; on the other hand, SP peak was considered distant when positioned in the positive polarity. The SP/AP ratio was interpreted with reference to the base line value. The ratio of two different ECoG values from each patient of Meniere's disease was calculated.

Results In the abnormal side, the negative polarity ECoG showed significantly greater value of SP/AP ratio (mean: 0.334 ± 0.10) than the positive polarity ECoG (mean: 0.283 ± 0.09) ($p < 0.001$). In the normal side, the negative polarity ECoG, showed significantly greater value of SP/AP ratio (mean: 0.250 ± 0.09) than the positive polarity ECoG (mean: 0.204 ± 0.06), as well as in the abnormal cases ($p < 0.001$).

Conclusion The standard SP/AP ratio for the diagnosis of Meniere's disease can be variable according to the manner of determining the SP peak.

Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg 2016;59(6):442-7

Key Words Action potentials · Electrocochleography · Evoked potentials · Meniere's disease · Summating potentials.

서론

메니에르병은 특발성 내이질환의 하나로 그 진단은 반복적인 현훈 삽화, 변동성이 있는 청력저하, 이명 및 이충만감 등의 임상적 증상을 바탕으로 하여 이루어진다. 이러한 임상적 진단을 뒷받침하는 객관적 검사로는 청력검사 이외에 전기와우도 검사(electrocochleography, ECoG)가 널리 이용되고 있으며 검사의 진단적인 효용성에 대한 연구 및 민감도를 상승시키기 위한 연구가 많이 이루어져 왔다.

전기와우도 검사는 청각 자극으로부터 유발된 와우의 전기적 반응을 기록하여 내이의 기능을 반영하게 된다. 활성화된 메니에르병이나 내림프수종에서는 기저막 및 와우 유모세포의 해부학적 위치의 변동으로 인하여 가중 전압(summating potential, SP)의 증가나 활동 전압(action potential, AP)의 감소가 발생하고 이로 인하여 수치의 변화가 생긴다고 알려져 있다.^{1,2)}

메니에르병에서의 내림프수종을 진단할 수 있는 SP/AP 비의 기준 값에 대한 연구들이 보고되었으며, 그 기준 값은 문헌

별로 차이가 있으나 대개 0.3~0.5 사이의 값을 보였다.³⁻⁹⁾ 또한, 전기와우도 검사 시 전극의 위치, 자극음의 종류, 강도, 간격 또는 SP/AP 비 혹은 그래프의 각이나 넓이를 구함에 따라 검사의 민감도나 특이도가 달라질 수 있다는 많은 연구들이 보고되었다.¹⁰⁻¹⁵⁾

SP/AP 비를 계산하기 위한 활동 전압 정점(AP peak)은 그래프 상 명확한 최고조 지점을 보여 쉽게 선정할 수 있는 반면, 가중 전압 정점(SP peak)은 수평형(flat) 혹은 상승형(ascending)의 양상을 보이는 경우가 많아 쉽게 감별되지 않는 경우가 많다. 따라서, 전기와우도 값(ECoG value), 즉 SP/AP 비의 결정에는 SP peak의 정확한 선정이 매우 중요한 요소가 된다. 일부 검사자들은 SP peak의 선정을 용이하게 하기 위하여 원래의 양극(positive polarity) 그래프에서 음극(negative polarity)의 그래프로 극성을 변화시켜, 즉 그래프를 단순히 위아래로 전환시킴으로써 SP peak를 용이하게 찾으려는 시도를 하기도 한다. 이는 그래프의 극성에 따른 동일한 전기와우도 그래프를 음극으로 전환시킬 경우 볼록한 곡선을 보여 SP peak로 선정 가능한 지점이 더 명확하게 보일 수 있기 때문이다.

현재까지, 전기와우도 검사 시 전극의 위치, 자극음의 종류, 강도, 간격 또는 SP/AP 비 혹은 그래프의 각이나 넓이를 구함에 따라 검사의 민감도가 달라질 수 있다는 연구들이 보고되었으나,¹⁰⁻¹⁵⁾ 메니에르병에서 설계된 그래프의 극성에 따른 SP peak의 선정위치 및 전기와우도 검사의 결과의 차이에 대한 연구는 아직 보고된 바가 없다.

본 연구의 목적은 같은 전기와우도 그래프에서 SP peak의

위치 선정을 달리함에 따른 각각의 SP/AP 비의 값을 비교하고, SP peak의 위치 선정 변화에 따른 메니에르병의 진단에 있어서의 전기와우도 검사의 유용성을 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

2012년 7월부터 2013년 7월까지 고려대학교 안암병원 이비인후과 외래에 내원하여 명확한(definite) 일측성 메니에르병을 진단받았으며 정기적인 순음청력검사와 전기와우도 검사를 시행한 67명의 환자를 대상으로 후향적으로 조사하였다. 대상자들은 고막 또는 중이에 다른 병변이 없는 환자로 메니에르병의 진단은 1995년 American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery(AAO-HNS standard, 1995)¹⁶⁾가 제시한 방법을 기준으로 이루어졌다.

대상 환자들에서 현훈, 난청, 이명 및 이충만감 등 임상증상에 대한 문진과 순음청력검사를 시행하였으며 순음청력검사는 0.25, 0.5, 1, 2, 3, 4, 8 kHz에서 혼합법을 사용하여 측정하였으며, 청력 역치는 4분법[(500 Hz+1000 Hz+2000 Hz+3000 Hz)/4]으로 계산하였다.

전기와우도 검사(Navigator Pro, Biologics, San Carlos, CA, USA)는 외이도에 전극을 위치시키고 90 dB의 자극음을 100 ms 동안 반복하여 자극하는 방법(alternating polarity click, 1000회)으로 시행하였으며, 2명의 숙련된 청각사가 시행하였다. 모든 전기와우도 검사는 양극, 음극의 전기와우도 그래프에 따라 각각의 SP/AP 비가 계산되었다(Fig. 1). 전기

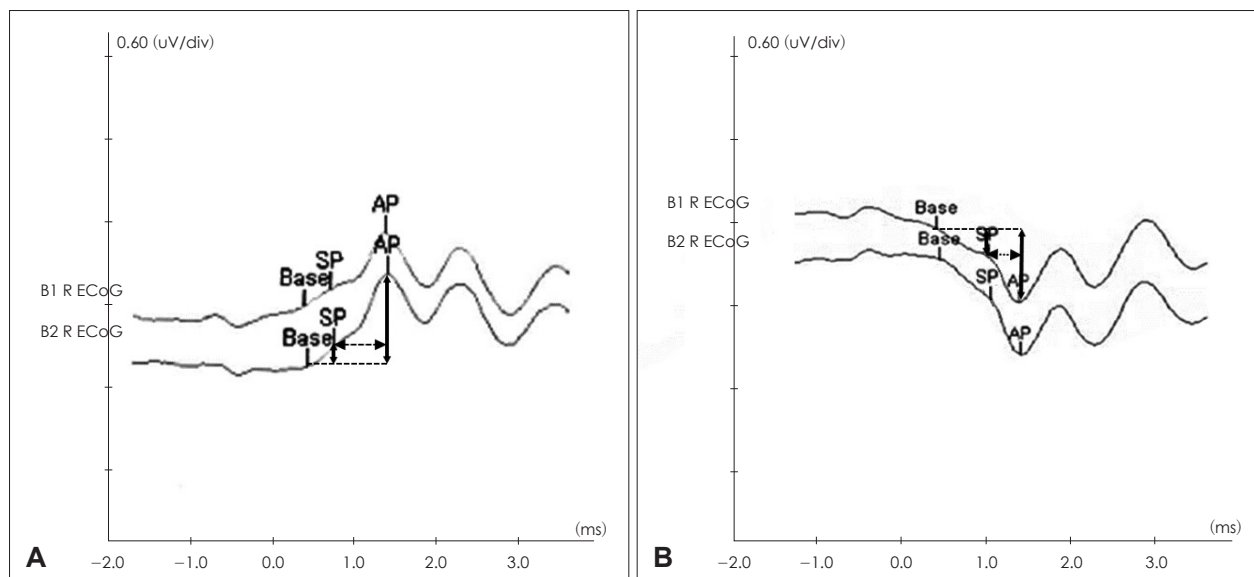


Fig. 1. Same electrocochleography (ECoG) graph recorded in (A) positive polarity and (B) negative polarity. The summing potential (SP)/action potential (AP) ratios were interpreted with reference to a base line value. SP peak in the graph was determined to be on the convex curve of graph, which was as distant as possible from AP peak in positive polarity ECoG, and to be close as possible in negative polarity ECoG. The distance between SP peak and AP peak (dotted line) of positive polarity ECoG determined to be greater than that of negative polarity ECoG.

와우도 그래프의 상승형 혹은 수평형의 SP 곡선에서 볼록한 굴곡을 나타내는 지점을 SP peak로 선정하여, 양극 그래프에서는 가능한 한 SP peak를 AP peak와 멀리 찍도록 하고, 음극 그래프에서는 가능한 한 SP peak를 AP peak와 가까이 찍도록 결정하였다.

계측은 기준선(base line)에서 AP peak의 최대굴곡이 되는 점까지를 AP의 진폭으로, AP의 상향곡선의 굴곡점까지를 SP의 진폭으로 하였으며, 메니에르병 환자에서의 병측 귀와 정상측 귀에서의 SP/AP 비의 비교가 이루어졌다.

결과분석은 독립표본 T 검정(independent t-test)과 대응표본 T 검정(paired t-test)을 이용하여 통계학적으로 검증하였고 유의수준은 $p<0.05$ 를 기준으로 하였다. 검사의 정확성은 receiver operating characteristics(ROC) 곡선을 이용하여 분석하였다.

결 과

대상 환자군

남녀 구성비는 남녀가 각각 14:53명이었고 연령분포는 17세

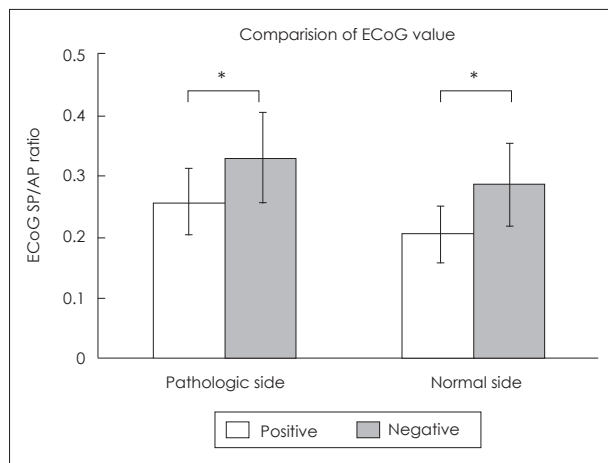


Fig. 2. SP/AP ratio of negative polarity ECoG (greater distance between SP peak and AP peak) revealed significantly greater value than that of positive polarity ECoG (shorter distance between SP peak and AP peak) for both pathologic side and normal side ($*p<0.001$) (paired t-test). SP: summating potential, AP: action potential, ECoG: electrocochleography.

에서 74세로 평균연령은 45.5 ± 13.1 세였다. 일측성 메니에르병 환자가 67명으로 우측이 18명, 좌측이 49명으로 조사되었다.

정상측과 병변측에 따른 SP/AP 비 결과

양극의 전기와우도 검사를 시행한 경우 SP/AP 비 평균값은 병측에서 0.283 ± 0.08 , 정상측에서 0.204 ± 0.06 으로 유의한 차이를 보였다($p<0.0001$, independent t-test). 또한, 음극의 전기와우도 검사를 시행한 경우 SP/AP 비 평균값은 병측에서 0.334 ± 0.10 , 정상측에서 0.250 ± 0.08 로 역시 유의한 차이를 보였다($p<0.0001$, independent t-test)(Table 1, Fig. 2).

양극의 전기와우도와 음극의 전기와우도

SP/AP 비 값의 비교

병측의 SP/AP 비 평균값을 양극으로 시행한 경우와 음극으로 시행한 경우로 나누어 비교하였다. 음극의 전기와우도 검사를 시행한 경우(0.334 ± 0.10)가 양극의 전기와우도 검사를 시행한 경우(0.283 ± 0.08)보다 평균적으로 0.051 ± 0.06 더 높은 결과를 보였으며 통계학적으로 유의한 차이를 보였다($p<0.001$, paired t-test). 또한, 정상측의 전기와우도 검사 역시 SP/AP 비 평균값이 음극의 전기와우도 검사를 시행한 경우(0.250 ± 0.08)가 양극의 전기와우도 검사를 시행한 경우(0.204 ± 0.06)보다 평균적으로 0.046 ± 0.06 높은 결과를 보였으며 통계학적으로 유의한 차이를 보였다($p<0.001$, paired t-test)(Table 1, Fig. 2). 이는, SP peak를 AP peak와 멀리 선정할수록(양극) SP/AP 비의 값이 작아지고, 가까이 선정할수록(음극) SP/AP 비의 값이 증가하는 것에 따른 결과로 볼 수 있다.

또한 각 환자에서 양극의 전기와우도 검사를 시행하였을 때 얻은 SP/AP 비 값을 오름차순으로 배열하여 음극의 전기와우도 검사로 얻은 SP/AP 비의 값과 비교하였을 때, 병측과 정상측에서 각각의 차이가 일정한 추세를 보임을 확인할 수 있었다(Fig. 3).

양극의 전기와우도와 음극의 전기와우도에서

SP/AP 비 비율의 비교

각 환자의 병측 SP/AP 비와 정상측 SP/AP 비의 비율을

Table 1. Comparison of SP/AP ratio between positive polarity ECoG and negative polarity ECoG

	Positive	Negative	p
Pathologic side	0.283 ± 0.09	0.334 ± 0.10	$<0.001^*$
Normal side	0.204 ± 0.06	0.250 ± 0.09	$<0.001^*$

For pathologic side of Meniere's disease, negative polarity ECoG showed significantly greater value of SP/AP ratio (mean: 0.334 ± 0.10) than positive polarity ECoG (mean: 0.283 ± 0.09) ($*p<0.001$). For normal side, negative polarity ECoG showed significantly greater value (mean: 0.250 ± 0.09) of SP/AP ratio than positive polarity ECoG (mean: 0.204 ± 0.06) as well as in pathologic side ($*p<0.001$) (paired t-test). Further, SP/AP ratio of pathologic side showed significantly greater value than that of normal side for both positive polarity ECoG and negative polarity ECoG ($*p<0.0001$) (independent t-test). SP: summating potential, AP: action potential, ECoG: electrocochleography

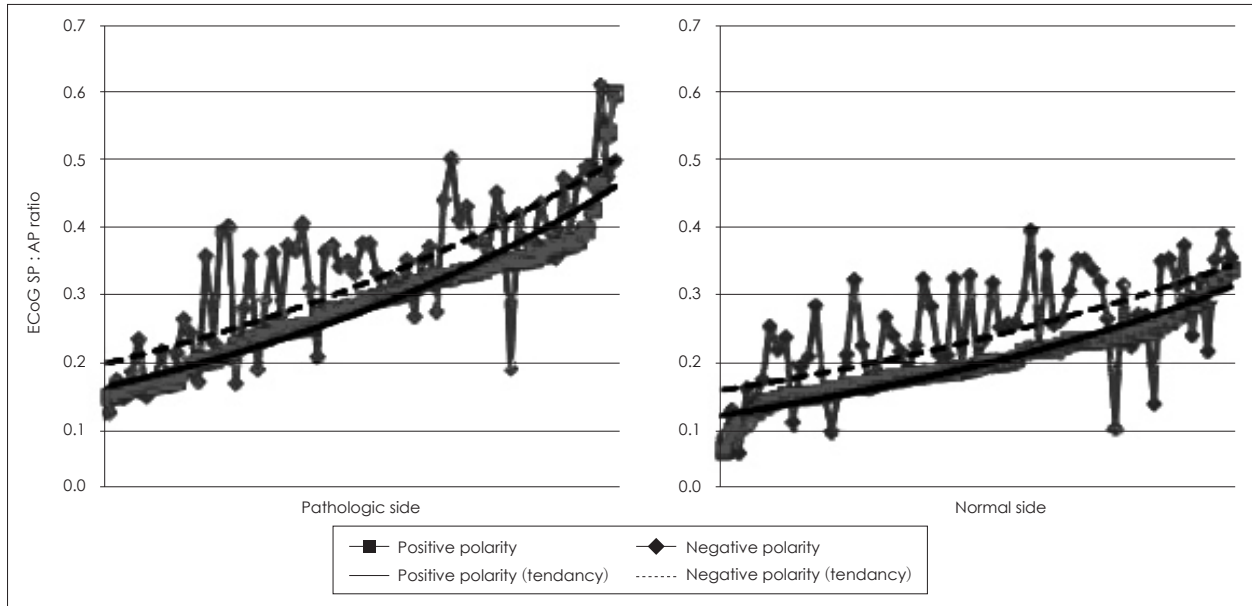


Fig. 3. Sorting summing potential (SP)/action potential (AP) ratio value of positive polarity electrocochleography (ECoG) (greater distance between SP peak and AP peak) in ascending order, both positive polarity and negative polarity-analyzed (shorter distance between SP peak and AP peak) SP/AP ratios of each subject are demonstrated in the graph. These graphs show consistent tendency for difference of SP/AP ratio value between positive polarity ECoG (black line) and negative polarity ECoG (dotted line) in both pathologic (mean: 0.051 ± 0.06) and normal side (mean: 0.046 ± 0.06).

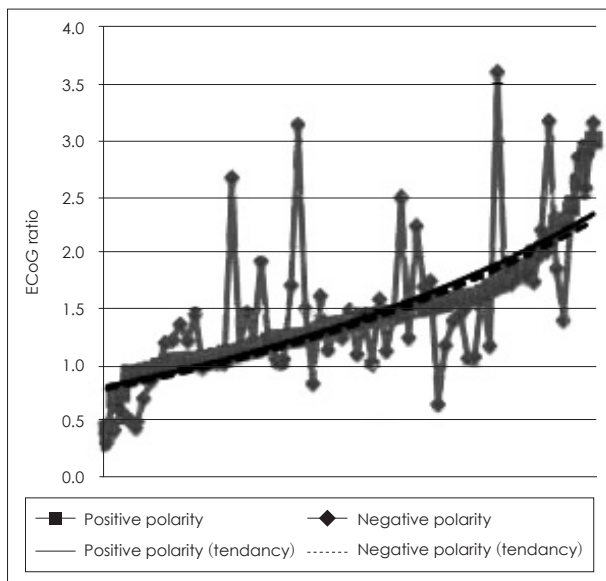


Fig. 4. Sorting ECoG ratio [(SP/AP ratio of pathologic side)/(SP/AP ratio of normal side)] of positive polarity ECoG in ascending order, both positive polarity and negative polarity-analyzed ECoG ratio of each subject are demonstrated in the graph. Tendency of ECoG ratio shows no significant difference between negative polarity ECoG (dotted line) and positive polarity ECoG (black line) ($p=0.57$). SP: summing potential, AP: action potential, ECoG: electrocochleography.

양극의 전기와우도 검사와 음극의 전기와우도 검사에서 각각 비교하였다. 양극의 전기와우도 검사에서 구한 비율은 1.46 ± 0.04 이고, 음극의 전기와우도 검사에서 구한 비율은 1.49 ± 0.06 으로 관찰되었다. 이는 메니에르병 환자군에서 음

극 또는 양극의 전기와우도를 시행하였을 때 병측과 정상측의 SP/AP 비의 비율이 약 1.5배로 병측에서 높다는 것을 시사한다. 메니에르병 환자군에서 음극 혹은 양극 전기와우도를 사용하는 것에 관계 없이 병측과 정상측의 SP/AP 비의 비율 추세선 사이에 차이를 보이지 않았으며 통계학적으로도 의미 있는 차이가 없었다($p=0.57$, paired t-test)(Fig. 4).

양극의 전기와우도와 음극의 전기와우도 사용 시 민감도와 특이도 비교

ROC 곡선에서 하방의 면적(area index)을 통하여 검사의 정확성을 분석한 결과 양극의 전기와우도 검사가 0.79, 음극의 전기와우도 검사가 0.72로 양극의 전기와우도에서 약간 더 높은 결과를 보여 정상인과 환자군을 구별하는 것에 유용한 것으로 확인되었다. 양극의 전기와우도를 이용한 메니에르병 환자에서의 내림프수종 진단을 SP/AP 비 값 0.243 이상을 기준으로 하였을 때, 병측의 SP/AP 비가 검사 상 양성을 보인 환자는 67명 중 45명으로 민감도 67.6%, 특이도 77.9%로 확인되었다. 음극의 전기와우도에서 SP/AP 비 값 0.302 이상을 내림프수종 진단 기준으로 하였을 때는 검사 상 양성을 보인 환자는 67명 중 43명으로 민감도 64.7%, 특이도 67.6%로 확인되었다.

고 찰

본 연구에서 메니에르병 환자들에게 양극의 전기와우도를 이용하여 SP peak를 AP peak와 멀리 선정하여 검사를 시행하였을 때, 병측 SP/AP 비의 평균이 0.283 ± 0.08 로 확인되었고 민감도가 67.6%, 특이도가 77.9%로 확인되었다. 반면, 음극의 전기와우도로 SP peak를 AP peak가 가까이 선정하여 검사를 시행하였을 때, 병측 SP/AP 비의 평균은 0.334 ± 0.10 로 확인되었으며 민감도가 64.7%, 특이도가 67.6%로 확인되었다. 본 연구에서 동일한 환자에게 동일한 조건으로 시행한 전기와우도 검사를 양극 혹은 음극으로 설계하여 지정한 SP peak의 차이에 따라 SP/AP 비의 결과가 다를 수 있었으며, 이러한 결과가 진단의 민감도나 특이도에도 영향을 미침을 확인할 수 있었다. 이는 대개 AP peak의 최대 굴곡은 비교적 그래프의 극성에 따른 변화가 없이 일정하나, SP peak로 정의할 수 있는 전기와우도의 굴곡 지점은 검사자의 선택에 따라, 즉 어느 지점을 SP peak로 선정하느냐에 따라 다르게 지정될 수 있어 나타나는 현상이다. SP 곡선이 상승하였다가 하강하여 명확한 정점을 만드는 그래프에서는 SP peak를 명확하게 선정할 수 있으나 SP 곡선이 AP peak까지 지속적으로 상승하는 모양의 그래프에서는 SP peak의 선정에 검사자 간의 차이가 발생하며, SP peak의 선정 지점이 AP peak에 가까워질수록 SP 값이 증가하므로 SP/AP 비가 증가하게 된다. 본 연구와 유사하게 Roland와 Roth¹⁷⁾는 50개의 전기와우도를 10명의 청각사가 각각 분석할 경우 SP peak 값을 서로 다르게 선정함에 따라 SP/AP 비 값이 달라짐에 대해서 보고한 바 있어 SP peak의 선정이 중요한 요소임을 역설하였다.

전기와우도 검사에서 SP와 AP의 진폭은 검사자의 SP peak 선정 외에도 전극의 위치 및 종류, 자극음의 종류와 강도, 측정 환경에 따라 다른 결과 값을 보일 수 있다. 표준화된 자극방법이나, 기록방법, 해석방법이 정립되지 않았기 때문에 이러한 방법의 차이에 따라 메니에르병 혹은 내림프수종 진단의 민감도와 특이도가 달라질 수 있다. 그러므로 기관별로 혹은 연구실별로 독자적인 기준에 따라 전기와우도를 임상적으로 적용하고 있다.

SP/AP 비에 따라 메니에르병에서 내림프수종을 진단하는 기준 역시 문헌에 따라 차이가 있다. Pappas 등⁷⁾은 252명의 메니에르병 환자와 20명의 대조군을 대상으로 한 전향적 연구에서 내림프수종 진단을 내릴 수 있는 SP/AP 비의 기준을 0.5로 정의하였으며, Chung 등⁹⁾은 메니에르병 환자에서 고막 외 측정을 이용한 전기와우도 검사의 임상적 유용성을 연구한 문헌에서 SP/AP 비 0.34를 내림프수종의 진단기준으로

정의하였으며 민감도와 특이도가 각각 71%와 96%로 보고하였다. 그 외 Orchik 등¹³⁾은 SP/AP 비 값 0.4를¹⁰⁾ 기준으로 내림프수종을 진단하는¹⁸⁾ 등 대부분의 문헌에서 0.3~0.5를 진단의 기준값으로 정의하였다.^{3-8,19)} 반면, Ghosh 등²⁰⁾은 SP/AP 비 값 0.29를 기준으로 할 때 전기와우도 검사를 고막외법으로 시행하였을 때 효용성이 있음을 입증하였다. 본 연구에서는 ROC 분석을 통하여 양극과 음극의 전기와우도 검사에서 각각 진단의 기준값을 결정하였다.

본 연구에서 제시한 전기와우도 그래프에서 SP peak의 위치 선정법은 서로 다른 검사실에서 전기와우도 검사 결과가 서로 다르거나, 메니에르병에서 내림프수종을 결정하는 SP/AP 비의 기준이 서로 다른 이유를 설명할 수 있다. 검사실별로 양극의 그래프 혹은 음극의 그래프에서의 SP peak 선정법을 선택하거나, 일부 검사실에서는 그 중간 값을 택하는 등 서로 다른 SP peak의 위치 선정법을 택하게 되는 것이 현실이다. 이처럼 다양한 방법으로 SP/AP 비가 결정되므로 서로 다른 기관의 값을 비교하는 것에 문제가 발생하며, 메니에르병의 진단에서 전기와우도 검사의 유용성에 대한 논란이 발생한다.

본 연구에서는 ROC 곡선의 면적이 양극의 전기와우도 검사에서는 0.79, 음극의 전기와우도에서는 0.72로 두 검사 모두 확진을 위한 검사로는 충분하지 않으나 비교적 신뢰도 있는 결과를 보였다. 저자들은 메니에르병의 일차적인 진단은 증상과 순음청력검사를 바탕으로 이루어지며, 본 연구에서 SP peak의 위치 선정법과 무관하게 메니에르병 환자에서 병측과 정상측의 SP/AP 비의 값이 유의한 차이를 보였으므로 의료기관별로 일관된 SP peak 선정법을 사용한다면 전기와우도 검사를 이용한 메니에르병의 진단과 추적관찰이 가능할 것으로 판단하였다.

REFERENCES

- 1) Coats AC. The normal summing potential recorded from external ear canal. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 1986;112(7):759-68.
- 2) Kim YJ, Shin JE, Yoon TH. Clinical characteristics and diagnostic value of electrocochleography according to group of unilateral Meniere's disease. Korean J Otolaryngol-Head Neck Surg 2002;45(9):853-7.
- 3) Densert B, Densert O, Arlinger S, Sass K, Odkvist L. Immediate effects of middle ear pressure changes on the electrocochleographic recordings in patients with Meniere's disease: a clinical placebo-controlled study. Am J Otol 1997;18(6):726-33.
- 4) Campbell KC, Harker LA, Abbas PJ. Interpretation of electrocochleography in Meniere's disease and normal subjects. Ann Otol Rhinol Laryngol 1992;101(6):496-500.
- 5) Gibson WP, Prasher DK. Electrocochleography and its role in the diagnosis and understanding of Meniere's disease. Otolaryngol Clin North Am 1983;16(1):59-68.
- 6) Goin DW, Staller SJ, Asher DL, Mischke RE. Summing potential in Meniere's disease. Laryngoscope 1982;92(12):1383-9.

- 7) Pappas DG Jr, Pappas DG Sr, Carmichael L, Hyatt DP, Toohey LM. Extratympanic electrocochleography: diagnostic and predictive value. *Am J Otol* 2000;21(1):81-7.
- 8) Orchik DJ, Shea JJ Jr, Ge NN. Summating potential and action potential ratio in Meniere's disease before and after treatment. *Am J Otol* 1998;19(4):478-82; discussion 483.
- 9) Chung WH, Cho DY, Choi JY, Hong SH. Clinical usefulness of extratympanic electrocochleography in the diagnosis of Ménière's disease. *Otol Neurotol* 2004;25(2):144-9.
- 10) Ferraro JA, Tibbils RP. SP/AP area ratio in the diagnosis of Ménière's disease. *Am J Audiol* 1999;8(1):21-8.
- 11) Ikino CM, de Almeida ER. Summating potential-action potential waveform amplitude and width in the diagnosis of Ménière's disease. *Laryngoscope* 2006;116(10):1766-9.
- 12) Sass K, Densert B, Magnusson M, Whitaker S. Electrocochleographic signal analysis: condensation and rarefaction click stimulation contributes to diagnosis in Ménière's disorder. *Audiology* 1998;37(4):198-206.
- 13) Orchik DJ, Shea JJ Jr, Ge X. Transtympanic electrocochleography in Ménière's disease using clicks and tone-bursts. *Am J Otol* 1993;14(3):290-4.
- 14) Devaiah AK, Dawson KL, Ferraro JA, Ator GA. Utility of area curve ratio electrocochleography in early Meniere disease. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2003;129(5):547-51.
- 15) Coats AC. The summating potential and Meniere's disease. I. Summating potential amplitude in Meniere and non-Meniere ears. *Arch Otolaryngol* 1981;107(4):199-208.
- 16) Monsell EM. New and revised reporting guidelines from the Committee on Hearing and Equilibrium. American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery Foundation, Inc. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1995;113(3):176-8.
- 17) Roland PS, Roth L. Interinterpreter variability in determining the SP/AP ratio in clinical electrocochleography. *Laryngoscope* 1997;107(10):1357-61.
- 18) Moon IJ, Park GY, Choi J, Cho YS, Hong SH, Chung WH. Predictive value of electrocochleography for determining hearing outcomes in Ménière's disease. *Otol Neurotol* 2012;33(2):204-10.
- 19) Cho SL, Yoon TH, Chung JW, Lee KS. Clinical significance of the extratympanic electrocochleography. *Korean J Otolaryngol-Head Neck Surg* 1997;40(4):531-6.
- 20) Ghosh S, Gupta AK, Mann SS. Can electrocochleography in Meniere's disease be noninvasive? *J Otolaryngol* 2002;31(6):371-5.