

골도 및 기도 자극에 의한 경부 전정유발 근전위의 비교

을지대학교 의과대학 이비인후과학교실

강현우 · 유광규 · 곽민영 · 진소영 · 윤상원 · 심현준 · 안용휘

Comparison of Cervical Vestibular Evoked Myogenic Potentials by Bone-Conducted and Air-Conducted Stimulation

Hyun Woo Kang, MD, Kwang-Kyu Yu, MD, Min Young Kwak, MD, So Young Jin,
Sang Won Yoon, MD, PhD, Hyun Joon Shim, MD, PhD and Yong-Hwi An, MD

Department of Otorhinolaryngology, Eulji University School of Medicine, Seoul, Korea

— ABSTRACT —

Backgrounds and Objectives : The aim of this study was to investigate the incidence of cervical vestibular-evoked myogenic potentials (cVEMP) responses induced by bone-conduction (BC) stimulation and to compare the characteristics of parameters of cVEMP using BC and air-conduction (AC) sounds in normal volunteers. **Materials and Methods** : Thirty seven normal subjects (74 ears) with normal hearing and no previous history of dizziness were included. cVEMP responses were recorded by surface electrodes on sternocleidomastoid muscles in response to AC and BC stimuli sequentially. Variances of parameters, including latencies, amplitudes, inter-latencies difference and inter-aural amplitude asymmetry, were analyzed and compared. **Results** : Responses of cVEMP by AC sounds were clearly observed in all 74 ears whereas those by BC sounds were detected in 41 ears (55.4%). There was no significant difference in latencies and inter-latencies intervals. Inter-aural amplitude asymmetry ratios showed no significant difference between the two tests, although amplitudes in BC-cVEMP testing were significantly smaller than those in AC-cVEMP testing. **Conclusions** : BC-cVEMP requires cautions in clinical application as compared with AC-cVEMP. An effective bone vibrator or high-intensity stimulation is needed to produce more reliable responses of BC-cVEMP. (J Clinical Otolaryngol 2013;24:201-207)

KEY WORDS : Cervical vestibular evoked myogenic potentials · Bone conduction · Vestibule.

서 론

최근 10여 년 간 국내에서도 실용적이고 신뢰할 수 있

논문접수일 : 2013년 9월 2일

논문수정일 : 2013년 9월 25일

심사완료일 : 2013년 11월 12일

교신저자 : 안용휘, 139-872 서울 노원구 한글비석길 14

을지대학교 의과대학 이비인후과학교실

전화 : (02) 970-8276 · 전송 : (02) 970-8275

E-mail : an0072@hanmail.net

는 평형기능 검사법으로서 구형낭(sacculle)이 소리 자극에 반응하여 경부의 흉쇄유돌근(sternocleidomastoid muscle)으로 연결되는 반사궁에 의해 발생하는 경부 전정유발 근전위(cervical vestibular-evoked myogenic potentials, 이하 cVEMP) 검사의 진단적 가치에 대해 활발한 연구들이 진행되어 왔다.¹⁻⁴⁾ 하지만, 기도(air-conduction) 자극에 의한 cVEMP는 다수의 이비인후과 검사실에서 임상적으로 널리 이용되고 있는 반면, 골도(bone-conduction) 자극에 의한 cVEMP는 연구 목적 이외에는 거의 사용되지 않고 있다.

정상인에서 골도 클릭음(clicks)과 골도 톤 버스트(tune bursts)에 의해 cVEMP가 유발되고, 전정신경절제술(vestibular neurectomy)을 받은 환자에서 이 반응들이 사라진다는 점⁵⁾에서 골도 cVEMP도 기도 cVEMP와 마찬가지로 구형낭-경부근 반사(sacculo-collic reflex)에서 기원함을 유추할 수 있다. 특히, 기도 청력이 떨어져 있고 골도 청력은 보존되어 있는 만성 중이염 등 전음성 난청 환자에서 기도 cVEMP에 비해 골도 cVEMP가 일관되고 특이성(specificity)이 높아 임상적으로도 유용한 검사 도구임이 확인된 바 있다.^{6,7)} 그럼에도 불구하고, 동일한 환자를 대상으로 시행한 골도와 기도 cVEMP 검사 결과들을 면밀하게 비교-분석한 연구는 별로 없는 실정이다.

이에 본 연구에서는 정상 청력인 사람들에서 골도 자극에 의해 나타나는 cVEMP 반응의 발생률(incidence)을 조사하고, 기도 자극에 의한 cVEMP의 특성과 비교함으로써 골도 cVEMP검사의 유용성을 알아보려고 하였다.

대상 및 방법

2011년 10월부터 2013년 9월까지 본원 이비인후과에서 난청과 어지럼증의 병력이 없는 정상 고막을 가진 정상인 지원자 37명(74귀, 평균 나이 41.9±13.5세, 범위 16~67세, 남 : 여=17 : 20)을 대상으로 검사를 시행하였다. 병력 청취, 이내시경 검사, 비디오안진 검사, 순음청력검사, 기도 전정유발 근전위 검사, 골도 전정유발 근전위 검사를 시행하였으며, 다른 내이의 이상을 배제하기 위해 순음청력검사 상 정상 청력이 아닌 경우, 비디오안진 검사 상 자발 안진(spontaneous nystagmus) 또는 두진후 안진(head-shaking nystagmus)이 있는 경우에는 연구 대상에서 제외하였다. cVEMP 검사는 기도 자극을 먼저 주어 시행하였고, 이어서 골도 자극을 이용한 반응을 측정하였다.

cVEMP 반응의 측정은 피검자가 방음실에서 누운 자세에서 실시하였고 활성 전극을 검사 측 흉쇄유돌근의 중간 부위에, 기준 전극을 흉골의 상부에 그리고 접지 전극을 이마 정중부에 붙이고 고개를 검사 측의 반대편으로 돌린 후 일정한 힘을 유지하도록 한 후 시행하였다. 전극을 부착하기 전에 저항을 억제하는 젤(impedance lower-

ing gel)을 피부에 도포한 후 전극을 부착하였으며, 피부의 저항은 5 kΩ 이내였다. 기도 cVEMP 검사는 500 Hz의 톤 버스트(tone burst) 자극음을 90 dB nHL 강도로 ER-3 삽입형 수화기(insert phone)를 통해 초당 5.1회로 주었고, 골도 cVEMP 검사는 60 dB nHL 강도의 동일한 자극음으로 B-71(Radioear, New Eagle, PA, USA) 골도 진동자(bone vibrator)를 자극되는 귀 뒤의 유양돌기(mastoid process)에 접촉하게 하여 시행되었다. 자극음의 지속 시간은 최대 진폭으로 오르는 생성시간(rise time)과 다시 영점으로 떨어지는 소멸시간(fall time)을 각각 1 msec로 하였고, 최대 진폭이 일정하게 유지되는 자극유지 시간(plateau time)은 2 msec로 하였다. cVEMP의 측정은 Bio-logic Navigator[®] Pro Evoked Potential System(Natus Medical Inc., San Carlos, CA, USA)을 사용하였고, 신호는 10~1,000 Hz로 필터링 하였으며 최대 120회의 반응을 평균하여 기록하였다.

최대 자극에서 나타난 파형에서 p13, n23 각 파형의 잠복기(latency)와 진폭(amplitude)의 분석을 통해 두 파형의 잠복기의 차이인 파간 잠복기 차이(inter-latencies difference)와 양이간 진폭 비대칭성(inter-aural amplitude asymmetry)을 구하였다. 진폭(amplitude)은 p13과 n23의 최대 진폭 차이를 먼저 구한 후 프로그램화 되어있는 prestimulus rectification function을 통해 자동적으로 계산되었다(Fig. 1).⁸⁾ 양이간 진폭 비대칭성은 p13과 n23의 최대 진폭 차이를 구하여 좌우 진폭의 차를 그 합으로 나눈 값[(우측 진폭 차-좌측 진폭 차)/(우측 진폭 차+좌측 진폭 차)×100%]으로 좌우 양쪽이 어느 정도 비대칭인지를 나타내는 값으로 정의하였다. 따라서, 양의 값은 우측으로의 진폭 비대칭을, 음의 값은 좌측으로의 진폭 비대칭을 나타낸다.

모든 통계적 처리는 SPSS 12.0판(SPSS Inc., Chicago, IL)을 이용하여 실시하였다. 각 검사 방법에 따라 측정된 잠복기 및 진폭, 파간 잠복기 차이, 양이간 진폭 비대칭성의 평균을 비교하기 위해 paired t-test를 이용하였고, 골도와 기도의 양이간 진폭 비대칭성에 대한 상관관계는 이변량 상관계수 중 Spearman's correlation coefficient를 통해 통계적인 유의성을 확인하였다. 유의수준은 0.05 미만을 의미 있는 것으로 해석하였다. 각각의 변수들은 (평균±표준편차)의 형식으로 기술되었다. 이 연구는 본

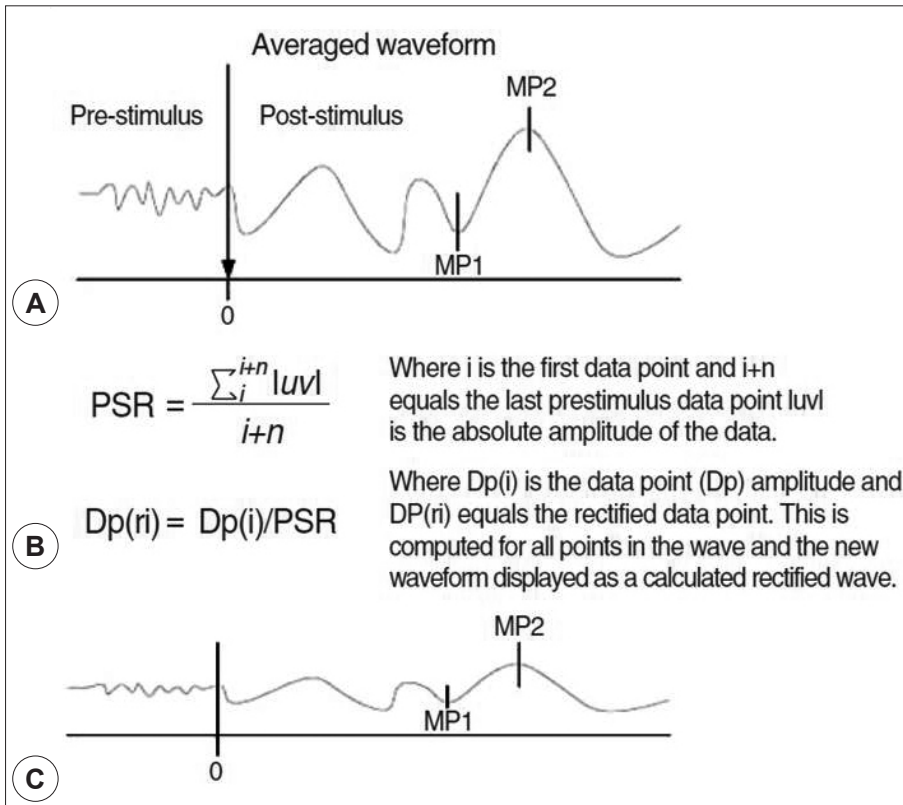


Fig. 1. Schematic flowchart of prestimulus rectification (PSR) function. A : System obtains averaged waveform and user marks points (MP) on it. B : User chooses PSR function on selected waveform and average the absolute value of the prestimulus data. C : New rectified waveforms are calculated and displayed (adopted from Lee KJ et al., 2008).

원 기관윤리심의위원회의 심의를 통과하였다.

결 과

골도 및 기도 cVEMP의 발생률 비교

대상자 37명의 청력 검사 상 500, 1,000, 2,000, 3,000 Hz의 주파수를 합하여 4분법으로 구한 순음청력 평균 (pure tone average)은 우측 10.6 ± 7.3 dB(범위 0~24 dB), 좌측 9.1 ± 6.1 dB(범위 0~20 dB)였다. 기도 cVEMP 검사는 모든 피검자, 총 74귀에서 반응이 명확하게 관찰된 반면(incidence=100%), 골도 자극을 이용한 cVEMP에서는 21명, 41귀에서만 반응이 확인되었다(incidence=55.4%) (Table 1). 모든 대상자 74귀의 기도 cVEMP 검사 상, 우측 p13, n23 파형의 평균 잠복기는 각각 16.4 ± 1.4 msec, 24.5 ± 1.6 msec였고, 좌측 p13, n23 파형의 평균 잠복기

Table 1. Comparison of the presence of cVEMP responses between air conduction and bone conduction

| | Subject no. | Ear no. | Incidence* |
|--------------|-------------|---------|------------|
| AC-cVEMP (+) | 37 | 74 | 100% |
| BC-cVEMP (+) | 21 | 41 | 55.4% |

* : Incidence was calculated by the ratio of ear numbers with positive cVEMP responses to the total ear numbers, i.e.74. AC : air conduction, BC : bone conduction

는 각각 16.3 ± 1.1 msec, 25.0 ± 1.6 msec였다. 골도 cVEMP 반응이 잘 나타난 21명과 이 반응이 나타나지 않는 16명의 대상자 간에 인구 통계학적 및 청각학적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$) (Table 2).

골도 및 기도 cVEMP의 잠복기 비교

골도와 기도 cVEMP 반응이 모두 나타난 41귀에 대해 분석하였을 때, 기도 cVEMP의 경우 p13, n23 파형의

Table 2. Comparison of demographic and audiologic data according to the presence of bone conduction cVEMP responses

| | BC-cVEMP (+) | BC-cVEMP (-) |
|-----------------------------|--------------|--------------|
| Ear No. | 41 | 33 |
| Mean age (years) | 39.1 ± 13.9 | 44.9 ± 12.4 |
| Sex (male : female) | 10 : 11 | 7 : 9 |
| PTA (dB) | 8.5 ± 6.2 | 11.6 ± 7.0 |
| Mean ILD of AC-cVEMP (msec) | -8.2 ± 1.6 | -9.2 ± 1.8 |
| Mean IAA of AC-cVEMP (%) | 0.05 ± 15.0 | 0.13 ± 22.7 |

AC : air conduction, BC : bone conduction, PTA : pure tone average, ILD : inter-latencies difference, IAA : inter-aural amplitude asymmetry

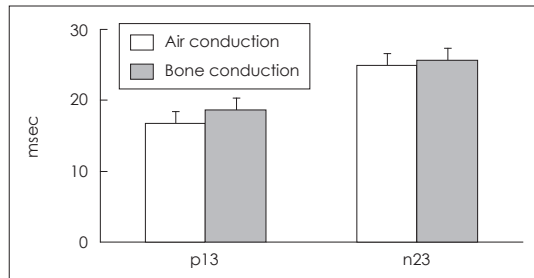


Fig. 2. Comparison of cVEMP latencies in 41 ears whose responses were obviously observed in both air-conducted and bone-conducted stimuli. There was no significant difference in the latencies between air conduction and bone conduction cVEMP ($p > 0.05$).

평균 잠복기는 각각 16.7 ± 1.4 msec, 24.9 ± 1.6 msec, BC cVEMP에서 p13, n23 파형의 평균 잠복기는 각각 18.6 ± 2.0 msec, 25.6 ± 1.8 msec로 두 검사 간에 유의한 차이를 보이지 않았다(Fig. 2). 평균 파간 잠복기 차이(inter-latencies difference)는 기도 cVEMP에서 -8.2 ± 1.6 msec, 골도 cVEMP에서 -6.9 ± 1.6 msec로 두 검사 간에 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$).

골도 및 기도 cVEMP의 진폭 비교

골도와 기도 cVEMP 반응이 모두 나타난 41귀에 대해 분석하였을 때, Prestimulus rectification function에 의해 계산된 진폭(amplitude)의 평균은 기도 cVEMP에서 11.8 ± 5.7 μ V, 골도 cVEMP에서 6.8 ± 3.3 μ V로, 골도 자극에 의한 cVEMP 반응의 진폭이 기도 자극에 비해 통계적으로 의미 있게 작았다($p < 0.001$)(Fig. 3). 양측 귀의 골도 및 기도 cVEMP 반응이 모두 뚜렷하게 나타난 20

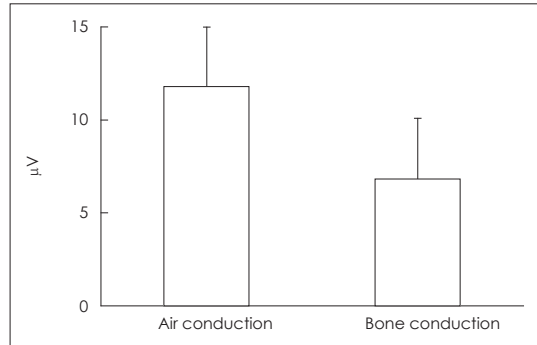


Fig. 3. Comparison of cVEMP amplitudes in 41 ears whose responses were clearly detected in both air conduction and bone conduction. Amplitudes in cVEMP using bone-conducted stimulation were significantly smaller than those in cVEMP using air-conducted sound ($p < 0.001$).

Table 3. Comparison of inter-aural amplitude asymmetry between air conduction and bone conduction cVEMP (N=41 ears)

| | Mean | Standard deviation | Range |
|----------|--------|--------------------|----------|
| AC-cVEMP | 0.05%* | 15.02 | -25~+30% |
| BC-cVEMP | 0.25%* | 19.10 | -24~+54% |

* : $p > 0.05$. There was no significant difference in inter-aural amplitude asymmetry between the two tests. AC : air conduction, BC : bone conduction

명의 대상자를 조사하였을 때, 평균 양이간 진폭 비대칭성(inter-aural amplitude asymmetry)은 기도 cVEMP $0.05 \pm 15.02\%$ (범위 -25~+30%), 골도 cVEMP $0.25 \pm 19.10\%$ (범위 -24~+54%)로 두 검사 간에 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 3). 골도와 기도 cVEMP의 양이간 진폭 비대칭성은 서로 간에 유의한 상관관계를 보이지 않았다(Fig. 4).

고 찰

살아있는 유기체가 생명 현상을 유지하기 위해서는 주위 환경의 변화에 민감하게 대응해야 한다. 변화를 감지하기 위한 감각 기관의 하나로서 귀(ear)는 소리 자극을 받아들이고 중추신경계에 전달함과 동시에 여러 신체적인 반응을 유발한다. 진화론적인 관점에서 와우(cochlea) 이전에 구형낭(sacculle)이 청각기관으로서 소리에 대한 반응을 담당했음은 하등 척추동물 및 어류의 일부에서 여전히 구형낭이 청각기관으로 작용하고 있음을 통해 추

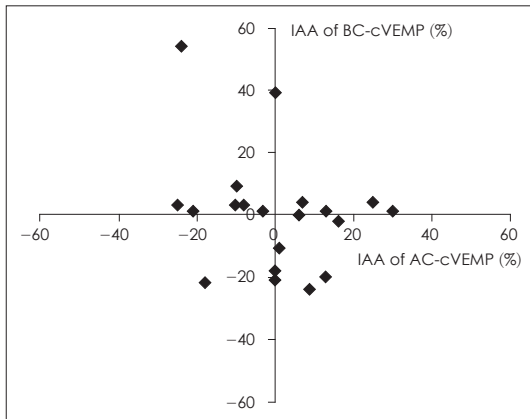


Fig. 4. Correlation between air conduction (AC)-cVEMP and bone conduction (BC)-cVEMP for inter-aural amplitude asymmetry (IAA) in 20 subjects whose bilateral cVEMP responses were definitely recorded in both AC and BC stimulations. There was no significant correlation between IAA of AC-cVEMP and that of BC-cVEMP ($p > 0.05$).

론해 볼 수 있다.^{9,10} 인간을 포함한 포유류에서도 이러한 진화의 흔적이 남아있는데, 중이의 이소골(ossicles)이 직접 내이의 와우에 연결되는 것이 아니라, 구형낭을 거쳐 와우로 소리가 전달된다는 점과, 골도 및 기도 자극에 대해 cVEMP 반응이 나타난다는 점이다. 즉, 생명체들은 구형낭 및 하전정신경(inferior vestibular nerve)에서 기원하는 즉각적인 cVEMP 반응을 통해 소리 변화에 대한 신체반사(sacculo-collic reflex to sound)로서 목을 재빨리 움직일 수 있게 된다. Occluar VEMP는 cVEMP와 비슷한 의미를 지니지만, 구형낭이 아닌 난형낭(utricle)이, 하전정신경이 아닌 상전정신경(superior vestibular nerve)이 관여한다는 점에서 다르다(utriculo-ocular reflex to sound).¹¹ 골도 자극과 기도 자극에 의해 구형낭과 난형낭이 모두 자극을 받을 수 있지만, 흉쇄유돌근에서 관찰되는 cVEMP 반응은 구형낭을 통한 전정-경부반사에 의해 주로 유발되기 때문에 cVEMP는 구형낭의 기능을 확인하는 검사로 알려져 있다.

정상인에서 골도 cVEMP 반응의 발생률은 2000년 Shykholeslami 등이 골도 클릭음과 짧은 톤 버스트(short tone bursts)를 이용해 20명의 정상 지원자에서 클릭음은 젊은 대상자에서만 나타남을 보고한 이래⁵ 자극 방법이나 골도 진동자의 종류에 따라 다양하게 나타나고 있다.^{4,5,12-15} 이번 연구에서는 골도 뇌간청성반응(auditory brainstem

response) 검사에 보편적으로 사용되고 있는 B-71 골도 진동자를 통해 500 Hz의 톤 버스트 자극음을 60 dB nHL 강도로 자극하였을 때, 정상 74귀 중 55.4%에서만 명확한 골도 cVEMP 반응을 확인할 수 있었다. 이는 modified BR71(Rion, Tokyo, Japan) 골도 진동자를 통해 125~4,000 Hz의 톤 버스트 자극음을 50~65 dB nHL 강도로 자극하여 정상 60귀의 100%에서 골도 cVEMP 반응이 관찰되었던 Miyamoto 등의 연구¹³나 특수 골도 진동자인 Mini-shaker®(Brüel & Kjær, Naerum, Denmark)의 강력한 진동을 이용하여 95 dB nHL 이상으로 최대 자극 강도를 주어 정상 48귀의 전부에서 골도 cVEMP 반응을 나타내는 Na 등의 연구⁴와는 상당한 차이를 보였다. 한편, McNerney 등은 B-71 골도 진동자를 통해 120 dB pSPL/FL의 자극음으로도 기도나 골도 cVEMP가 발생되지 않은 일부 정상인 대상자는 연구에서 제외하였다고 기술하고 있다.¹⁴ 본 연구에서 골도 cVEMP의 발생률이 기존 보고보다 낮게 나오는 이유는 60 dB nHL의 저강도로 골도 자극을 했기 때문이거나, B-71 골도 진동자가 골도 cVEMP의 측정에 효율적이지 못했기 때문이었을 것으로 추정된다. 강력한 골도 진동자인 Mini-shaker의 최대 자극 강도로 골도 cVEMP를 얻은 Na 등의 연구⁴에서 골도 자극으로 얻은 cVEMP의 진폭이 기도 자극으로 얻은 진폭보다 의미 있게 크게 나타났다고 기술된 바 있다. 이에 본 저자들은 향후 70 dB nHL 이상의 고강도 골도 자극이나 효과적인 골도 진동자를 사용하는 후속 연구를 통해 골도 cVEMP의 낮은 발생률을 보완하는 방안을 모색하고 있다.

기도 cVEMP 검사에서 임상적으로 흔히 사용되는 지표는 p13, n23 파형의 존재 유무와 양이간 진폭 비대칭성(inter-aural amplitude asymmetry)이다. 이들 파형이 존재하지 않거나 양이간 진폭 비대칭성이 정상치보다 클 경우, 파형이 없는 쪽 또는 진폭의 비대칭 상 작은 쪽을 비정상적으로 판정한다.^{1,4,16-18} 본 연구에서는 정상인을 대상으로 기도 cVEMP 반응을 얻은 것이므로 양이간 진폭 비대칭성의 결과값인 $0.05 \pm 15.02\%$ (범위 $-25 \sim +30\%$)은 정상치에 해당된다. 정상군의 평균에 대해 2표준편차까지를 정상 범위로 고려하면 본 병원 검사실에서 기도 cVEMP 양이간 진폭 비대칭성의 정상 참조값은 $-30 \sim +30\%$ 으로 판단된다. 다른 지표들인 p13, n23 파형의 잠복기, 파간

잠복기 차이(inter-latencies difference), 진폭은 피검자 간, 같은 피검자라도 검사횟수에 따라, 또는 검사장비와 자극 조건에 따라 다양한 결과를 얻을 수 있어¹⁾ 검사마다 안정된 결과를 얻기 위해서는 많은 노력이 필요하고, 이들을 연구마다 단순 비교하는 것은 합리적이지 못하다고 볼 수 있다. 골도 cVEMP 반응에서 p13, n23 파형의 파형이 양쪽 귀에 확인된다면, 양이간 진폭 비대칭성은 비정상성을 암시하는 참고치가 될 수 있다. 본 연구의 값은 $0.25 \pm 19.10\%$ (범위 $-24 \sim +54\%$)이므로, 정상값은 $-38 \sim +38\%$ 으로 판단된다. 향후 만성 중이염, 이경화증과 같은 전도성 난청 환자에서 골도 cVEMP 반응을 검사할 때 양이간 진폭 비대칭성을 활용하는 것이 도움이 될 것으로 기대된다.

골도와 기도 cVEMP 검사의 지표비 비교함에 있어 또 다른 고려사항은 자극음의 교차 청취(crossover hearing)이다. 예를 들어, 기도 청력의 경우 500 Hz에서 약 40 데시벨의 이간감약(inter-aural attenuation)이 있어, 본 연구에서처럼 90 dB nHL의 기도 자극음을 한쪽 귀에 줄 경우 50 dB nHL 크기로 골전도를 통해 반대쪽 귀에 도달하여 반대측 구형낭이 자극된다. 순음청력검사의 경우 반대쪽 귀에 잡음을 들려 주어 차폐(masking)를 함으로써 청력 역치의 정확도를 높일 수 있으나, cVEMP 검사에서는 이를 해결할 만한 마땅한 대안이 없다. 그리고, 골전도 진동기를 통한 음자극의 이간감약은 주파수에 따라 약간의 차이가 있으나 대개 10 데시벨 이하이므로, 골도 자극은 모든 대상자에서 양측 구형낭을 동시에 비슷한 강도로 자극한다고 볼 수 있다. McNeerney 등도 cVEMP 검사가 양측 귀의 동시 자극에 의한 상호작용이라는 것을 강조한 바가 있다.¹⁴⁾ 이러한 점들을 종합해보면 같은 크기의 자극음에 대해서도 양측 구형낭을 자극하는 정도의 차이가 있기 때문에 골도와 기도 cVEMP 검사의 결과가 다르게 나올 수 있다. 본 연구에서는 골도 자극음에 의한 cVEMP 반응은 기도 자극음에 비해 p13, n23 파형의 발생률이 낮고 진폭이 작으며, 잠복기, 파간 잠복기 차이, 양이간 진폭 비대칭성은 의미 있는 차이를 보이지 않았다. 다수의 연구들에 따르면, 본 연구의 결과와 비슷하게 정상인에서 골도 cVEMP의 지표들은 기도 cVEMP에서의 값과 대부분 동일하다고 한다.^{4-6,12-15)} Taylor 등은 골도 및 기도 cVEMP 검사에서 본 연구와 달리 골도 자극

일 때 양이간 진폭 비대칭성이 $8.7 \pm 6.2\%$, 기도 자극일 때 $11.2 \pm 10.7\%$ 로 골도 cVEMP 에서 양이간 진폭 비대칭성이 감소하는 경향을 보인다고 보고했다.¹⁹⁾ 모든 cVEMP 관련 연구에서 자극음의 교차 청취(crossover hearing)를 염두에 두어야 하며, 검사 결과의 해석에 각별히 주의해야 할 것이다.²⁰⁻²²⁾

결론

본 연구에서 난청과 어지럼증이 없는 정상인에서 골도 자극에 의한 cVEMP 검사를 기도 cVEMP와 비교한 결과, 잠복기, 파간 잠복기 차이, 양이간 진폭 비대칭성은 별다른 차이가 없으나, 골도 cVEMP 반응의 전체적인 발생률이 낮고, p13-n23 파형의 진폭이 작았다. 이는 골도 cVEMP 검사 도구나 방법 상에 유의할 점이 있음을 시사하며, 이러한 단점을 극복하기 위하여 고강도의 골도 자극을 사용하거나, 기존의 진동자 이외에 골도 cVEMP에 좀더 효과적인 골도 진동자가 필요할 것으로 판단된다.

중심 단어 : 경부 전정유발 근전위 · 골도 · 전정.

REFERENCES

- 1) Koo JW. Understanding of vestibular evoked myogenic potential and its clinical applications. *Korean J Otolaryngol-Head Neck Surg* 2004;47(12):1203-10.
- 2) Ko I, Hong SK, Jang ES, Lee HJ, Kim HJ. Ocular vestibular evoked myogenic potential in healthy subjects: a comparative study with cervical vestibular evoked myogenic potential. *Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg* 2009;52(12):968-73.
- 3) Kim KR, Kim BK, Hong SA, Lim HY, Son EJ. Inferior vestibular neuritis: absence of vestibular evoked myogenic potentials in the presence of normal caloric responses. *Res Vestib Sci* 2010;9(4):139-43.
- 4) Na BR, Han SH, Ha EJ, Lee YJ, Park MS, Kim JM, et al. Cervical vestibular-evoked myogenic potentials using vibration and sound in normal subjects. *Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg* 2011;54(3):192-6.
- 5) Sheykholeslami K, Murofushi T, Kermany MH, Kaga K. Bone-conducted evoked myogenic potentials from the sternocleidomastoid muscle. *Acta Otolaryngol* 2000;120(6):731-4.
- 6) Miyamoto A, Seo T, Node M, Hashimoto M, Sakagami M. Preliminary study on vestibular-evoked myogenic potential induced by bone-conducted stimuli. *Otol Neurotol* 2006;27(8):1110-4.
- 7) Seo T, Miyamoto A, Saka N, Shimano K, Nishida T, Hashi-

- moto M, et al. Vestibular evoked myogenic potential induced by bone-conducted stimuli in patients with conductive hearing loss. *Acta Otolaryngol* 2008;128(6):639-43.
- 8) Lee KJ, Kim MS, Son EJ, Lim HJ, Bang JH, Kang JG. The usefulness of rectified VEMP. *Clin Exp Otorhinolaryngol* 2008;1(3):143-7.
 - 9) Lowenstein O, Roberts TD. The localization and analysis of the response to vibration from the isolated elasmobranch labyrinth. A contribution to the problem of the evolution of hearing in vertebrates. *J Physiol* 1951;114(4):471-89.
 - 10) Moffat AJM, Capranica RR. Auditory sensitivity of the sacculus in the American toad. *J Comp Physiol* 1976;105(1):1-15.
 - 11) Iwasaki S, Chihara Y, Smulders YE, Burgess AM, Halmagyi GM, Curthoys IS, et al. The role of the superior vestibular nerve in generating ocular vestibular-evoked myogenic potentials to bone conducted vibration at Fz. *Clin Neurophysiol* 2009;120(3):588-93.
 - 12) Welgampola MS, Rosengren SM, Halmagyi GM, Colebatch JG. Vestibular activation by bone conducted sound. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2003;74(6):771-8.
 - 13) Miyamoto A, Seo T, Node M, Hashimoto M, Sakagami M. Preliminary study on vestibular-evoked myogenic potential induced by bone-conducted stimuli. *Otol Neurotol* 2006;27(8):1110-4.
 - 14) McNerney KM, Burkard RF. The vestibular evoked myogenic potential (VEMP): air- versus bone-conducted stimuli. *Ear Hear* 2011;32(6):e6-15.
 - 15) Basta D, Todt I, Ernst A. Normative data for P1/N1-latencies of vestibular evoked myogenic potentials induced by air- or bone-conducted tone bursts. *Clin Neurophysiol* 2005;116(9):2216-9.
 - 16) Murofushi T, Matsuzaki M, Mizuno M. Vestibular evoked myogenic potentials in patients with acoustic neuromas. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1998;124(5):509-12.
 - 17) Young YH, Wu CC, Wu CH. Augmentation of vestibular evoked myogenic potentials: an indication for distended saccular hydrops. *Laryngoscope* 2002;112(3):509-12.
 - 18) Rauch SD, Silveira MB, Zhou G, Kujawa SG, Wall C 3rd, Guinan JJ, et al. Vestibular evoked myogenic potentials versus vestibular test battery in patients with Meniere's disease. *Otol Neurotol* 2004;25(6):981-6.
 - 19) Taylor RL, Wijewardene AA, Gibson WP, Black DA, Halmagyi GM, Welgampola MS. The vestibular evoked-potential profile of Ménière's disease. *Clin Neurophysiol* 2011;122(6):1256-63.
 - 20) Lee JK, Choi SW, Kong SK, Lee IW, Chon KM, Goh EK. Clinical significance of vestibular evoked myogenic potential in sudden sensoryneural hearing loss without vertigo. *J Clinical Otolaryngol* 2009;20(2):201-6.
 - 21) Goh EK. Vestibular evoked myogenic potential. *J Clinical Otolaryngol* 2008;19(1):13-7.
 - 22) Kim KS, Kim YK, Choi SH, Lee JW, Seo SY. Click evoked vestibular myogenic potential in normal subjects. *J Clinical Otolaryngol* 2002;13(1):73-7.