

Cervical Vestibular-Evoked Myogenic Potentials Using Vibration and Sound in Normal Subjects

Bo Ra Na, Soo Hee Han, Eun Jung Ha, Yeo Jin Lee, Mun Su Park,
Jae Myung Kim, Jung Eun Shin and Hong Ju Park

Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, Konkuk University School of Medicine, Seoul, Korea

정상인에서 진동 및 소리 자극에 의한 경부 전정유발근전위

나보라 · 한수희 · 하은정 · 이여진 · 박문수 · 김재명 · 신정은 · 박홍주

건국대학교 의학전문대학원 이비인후과학교실

Received January 10, 2011

Revised January 31, 2011

Accepted February 11, 2011

Address for correspondence

Hong Ju Park, MD, PhD

Department of Otorhinolaryngology-

Head and Neck Surgery,

Konkuk University

School of Medicine,

1 Hwayang-dong, Gwangjin-gu,

Seoul 143-701, Korea

Tel +82-2-2030-7663

Fax +82-2-2030-5299

E-mail hpark@kuh.ac.kr

Background and Objectives The aim of this study was to investigate and compare the incidence and the characteristics of parameters of cervical vestibular-evoked myogenic potentials (cVEMPs) using air-conducted (AC) and bone-conducted (BC) stimulations in normal subjects.

Subjects and Method Twenty-four normal subjects (48 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 thresholds, amplitudes and interaural amplitude difference ratios (IADR), were analyzed and compared.

Results cVEMP responses were clearly observed in all 48 ears in both AC and BC cVEMP tests. There was no significant difference in latencies (p1 and n1). However, the thresholds in BC cVEMP testing were significantly lower than those in AC cVEMP testing, when compared to the maximum stimulation level. Interaural amplitude difference ratios showed no significant difference in between the two tests, although amplitudes at maximum stimulation intensity in BC cVEMP testing were significantly larger than those in AC cVEMP testing.

Conclusion This study shows that BC cVEMP testing shows lower thresholds compared to AC cVEMP testing in normal subjects, suggesting that the threshold value can be used as a parameter in detecting vestibular dysfunction in the clinic. Further studies in patients with various vestibular disorders are needed.

Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg 2011;54:192-6

Key Words Cervical vestibular evoked myogenic potentials · Vestibule · Vibration.

서론

소리 자극에 의해 흉쇄유돌근(sternocleidomastoid muscle)에서 기록되는 경부 전정유발근전위(cervical vestibular evoked myogenic potentials, cVEMPs)검사는 구형낭의 기능을 확인할 수 있는 방법으로 알려져 있으며, 수축하고 있는 흉쇄유돌근에서 소리 자극에 의해 발생하는 억제성의 근전위이다. 이러한 cVEMP검사의 임상적 지표로는 p1

및 n1 잠복기의 연장이나 p1 및 n1 파형 간의 진폭(peak-to-peak amplitude of p1 and n1)의 차이 등이 있다.¹⁻⁴⁾ 그러나 전음성 난청이 있는 환자의 경우에는 소리 자극이 양쪽 구형낭에 비슷한 정도로 자극할 수 없게 되어 cVEMP검사 결과를 해석하는 데 어려움이 있다. 이 경우 골전도를 이용한 진동 자극을 주어 양쪽 구형낭을 동시에 자극하여 cVEMP를 유발할 경우에는 소리 자극에 의한 검사의 해석상의 어려움은 극복할 수 있으리라 생각된다.⁵⁾ 또한, 소리 자극에 의한 c-

VEMP 검사의 경우 60세 이상의 고령에서는 정상인에서도 반응이 나타나지 않을 수 있는 단점이 있어 고령의 환자에서 검사 결과를 해석하는 데 어려움이 있다.⁶⁾

따라서, 본 연구에서는 정상인에서 새로운 자극 방법인 진동 자극을 주어 발생하는 cVEMP의 특성을 알아보고 소리 자극에 나타나는 cVEMP 반응과 비교함으로써 진동 자극을 이용한 cVEMP검사의 특성과 임상적인 사용 가능성을 확인하고자 하였다.

대상 및 방법

난청과 어지럼증의 병력이 없는 정상 고막을 가진 20~34세의 정상인 24명(48귀, 남 2명, 여 22명)을 대상으로 검사를 시행하였다. cVEMP검사는 Navigator Pro기기(Bio-logic Systems Corp., IL, USA)를 이용하여 시행하였다. 활성 전극(active electrode)은 고개를 좌우로 돌린 후 관찰되는 흉쇄 유돌근의 상부 1/3 부위와 가운데 1/3 부위의 경계에 부착하였으며, 기준 전극(reference electrode)은 흉골의 상부에 부착하였고, 접지 전극(ground electrode)은 이마에 부착하였다. 전극을 부착하기 전에 저항을 억제하는 젤(impedance lowering gel)로 피부를 마찰한 후 전극을 부착하였으며, 피부의 저항은 5 kΩ 이내였다.

먼저 소리 자극을 통한 cVEMP 파형을 기록하고, 다음으로 진동 자극을 통해 파형을 기록하였다. 소리 자극은 귀속 삽입용 earphone을 이용하여 500 Hz의 tone burst 자극을 주었으며, rise/fall time은 1 msec, plateau time은 2 msec, repetition time은 5 Hz였다. 경부의 흉쇄유돌근에서의 cVEMP 반응을 기록하여 점차 소리 자극 강도를 줄이면서 역치를 확인하였다. 골도 자극은 기 보고된 방법을 참조하였으며,⁷⁾ 골전도 진동자(Mini-shaker®, Brüel & Kjær, Naerum, Denmark)에 연결된 지름 2 cm의 원통 모양의 플라스틱을 환자 이마(Fz)에 접촉하게 한 후(Fig. 1), 500 Hz의 자극(rise/fall time은 1 msec, plateau time은 2 msec, repetition time은 5 Hz)을 주며 경부의 흉쇄유돌근에서의 cVEMP 반응을 기록하고, 점차 자극 강도를 줄이면서 역치를 확인하였다. 진동자의 무게는 약 1 kg이며, 검사자는 진동자를 정확한 위치에 유지할 수 있을 정도로 가볍게 잡아서 진동자의 무게만으로 진동 자극이 가해지도록 하여 동일한 자극이 주어지도록 하였다.⁷⁾

모든 검사는 피검자를 방음실에서 편안한 자세로 눕게 한 후에 머리를 15도 정도 든 상태로 일정한 힘을 유지하도록 한 후 소리 자극과 진동 자극을 주면서 파형을 기록하였다. 유발되는 cVEMP 파형은 증폭되고(1,000배), 구간여과(30 Hz~

1,500 Hz)되었으며, 각 조건에서 128회 반복하여 측정되었다. 최대 자극에서 나타난 파형에서 p1과 n1의 진폭(amplitude)과 잠복기를 계산하였으며, 최대 자극부터 점차 자극 강도를 줄이면서 p1과 n1이 사라지는 경향을 관찰하여 p1과 n1이 구별되는 가장 낮은 자극 강도를 역치로 판단하였다(Fig. 2). 양이 진폭의 상대적 차이를 확인하기 위해 자극에서 나타나는 파형에서 양이진폭차이비(interaural amplitude difference ratio, IADR)를 구하였다. 양이진폭차이비는 최대 양측 진폭의 합과 양측 진폭의 차이의 비율[(우측 진폭-좌측 진폭)/(우측 진폭+좌측 진폭)×100%]로서 계산하였다.

통계학적 분석

통계적인 처리는 SPSS 13.0(SPSS Software, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하였으며, 각 검사 방법에 따라 측정된 역치, 잠복기 및 진폭, 양이진폭차이 비의 차이를 확인하기 위해 Wilcoxon Signed Ranks검사를 시행하였다. 자극 강도에 따른 진폭의 크기의 변화는 선형회귀를 통해 통계적인 유의성을 확인하였다. 유의수준은 0.05 미만을 의미 있는 것으로 해석하였다.

결 과

AC 및 BC cVEMP의 발현 빈도와 잠복기의 차이

기도(air-conducted, AC) 및 골도(bone-conducted, BC) cVEMP검사에서 모든 피검자에서 cVEMP 반응이 관찰되었다. 각 검사에서 최대 자극 강도에서의 잠복기를 비교하여 보면, AC cVEMP의 경우 p1, n1 파형의 잠복기가 각각 15.0±2.1 ms, 22.1±2.0 ms, BC cVEMP의 경우 14.6±2.2 ms, 22.1±2.4 ms로 두 검사 간 차이가 없었다.



Fig. 1. Cervical vestibular evoked myogenic potentials using bone-conducted stimulation.

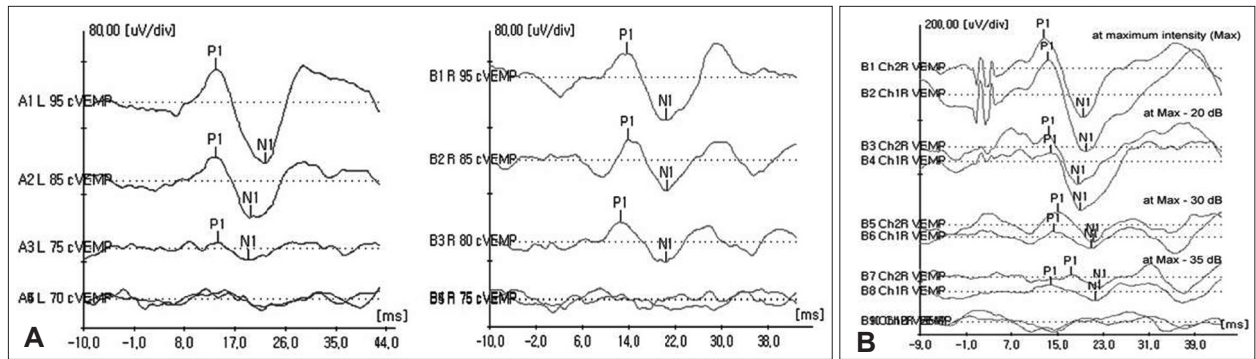


Fig. 2. Cervical vestibular evoked myogenic potentials (cVEMPs) using air-conducted (A) and bone-conducted (B) stimulation in a normal subject. The thresholds of air-conduction (AC) cVEMPs were found at Max-15 dB, Max-20 dB on the right and left ear, respectively, and the thresholds of bone-conduction (BC) cVEMPs were at Max-35 dB on both sides. Note the difference of amplitudes in figures.

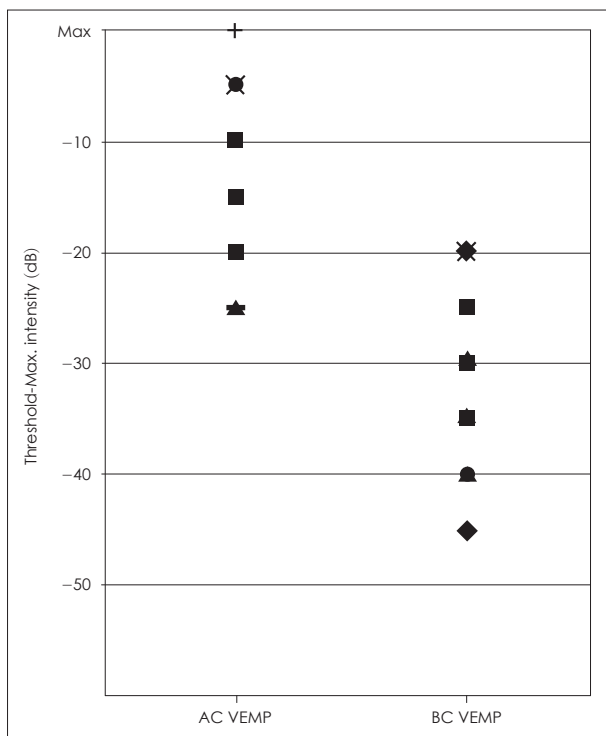


Fig. 3. Thresholds in vestibular evoked myogenic potential (VEMP) tests using air-conduction (AC) and bone-conduction (BC) stimulations. Thresholds in BC VEMPs are lower than those in AC VEMPs by 20 dB.

AC cVEMP와 BC cVEMP에서의 역치 차이

역치는 AC cVEMP의 경우 최대 자극 강도와 같거나 25 dB 작은 범위(0~25, 14 ± 6 dB)를 보였고, BC cVEMP의 경우 최대 자극 강도보다 20~45(32 ± 6) dB 작은 범위를 보였다. AC cVEMP의 경우 가장 높은 역치가 최대 자극 강도인 경우가 있었으나, BC cVEMP의 경우에는 가장 높은 강도의 역치가 최대 자극 강도보다 20 dB 낮은 강도에서 관찰되었다. BC cVEMP의 역치가 AC cVEMP의 역치와 비교하여 의미 있게 최대 자극 강도보다 낮은 값을 보였다($p < 0.0001$)(Fig. 3).

AC cVEMP와 BC cVEMP에서 진폭과 IADR의 차이

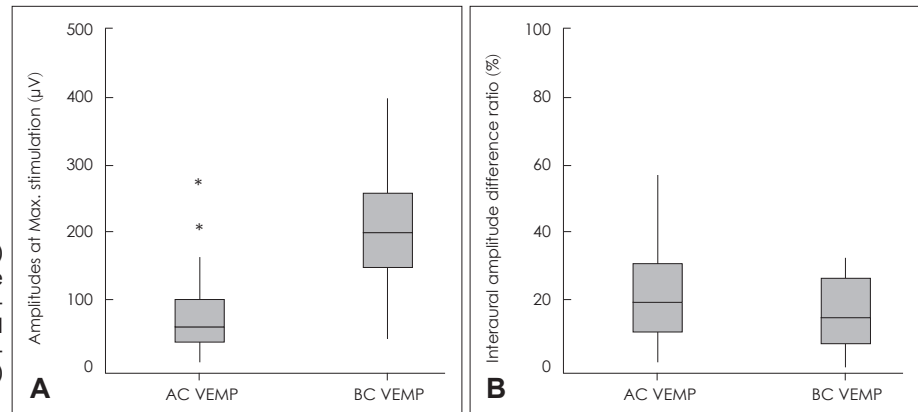
BC cVEMP 검사에서 최대자극에서의 진폭의 크기($43 \sim 397$, 199 ± 84 μ V)가 AC cVEMP검사에서의 최대 자극에 대한 진폭의 크기($8 \sim 275$, 76 ± 54 μ V)보다 의미 있게 컸으며($p < 0.0001$)(Fig. 4A), 자극 강도가 커질수록 진폭의 크기도 증가하였다($p < 0.0001$, $R-Sq=27.6$). 최대 자극 강도에서의 IADR은 BC cVEMP검사에서의 값(0~59, $16 \pm 13\%$)의 평균치가 AC cVEMP검사에서의 값(1~51, $20 \pm 14\%$)의 평균치보다 작았으나, 통계적으로 의미 있는 차이를 보이지 않았다($p=0.27$)(Fig. 4B).

고 찰

소리나 진동 자극에 의해 자극되어 홍채유돌근에서 cVEMP를 유발하는 부위는 이석 기관으로 알려져 있다. 전정신경원에서 신경전위를 기록하며 소리 자극에 의해 발생하는 신경전위의 변화를 측정하는 동물 실험에 의하면, 반고리관에서 기원하는 전정신경원은 소리자극에 반응하지 않고, 이석 기관(특히, 구형낭 기원)의 불규칙적 아형 전정신경원은 소리 자극에 반응하는 것으로 보고된다. 또한 소수의 난형낭에서 기원한 전정신경원에서도 반응을 보이는 것으로 보고된다.^{8,9)} 동물 실험을 통한 진동 자극에 대한 전정신경원의 반응도 소리 자극에 의한 전정신경원의 반응과 유사한 양상을 보였다. 극소수의 반고리관 기원 전정신경원이 진동 자극에 반응하였으나 그 역치가 높았으며, 이석 기관에서 기원하는 전정신경원(특히, 불규칙 아형)이 진동 자극에 반응하는 경우가 많았고, 난형낭 및 구형낭에서 기원하는 전정신경원 모두에서 반응이 관찰되었다.¹⁰⁾ 그러나 현재까지 소리 및 진동 자극에 반응하는 이석 기관의 특정 부위나 반응 양상의 차이에 대한 연구는 아직까지 이루어 지지 않은 상태이다.

이처럼 소리 자극과 진동 자극에 의해 난형낭과 구형낭이

Fig. 4. Boxplots of amplitudes (A) and interaural amplitude difference ratios (B) at maximum stimulation intensities in air-conduction (AC) and boneconduction (BC) vestibular evoked myogenic potential (VEMP) tests.



모두 자극을 받을 수 있지만, 소리 자극과 진동 자극에 의한 홍채유돌근에서의 cVEMP는 주로 구형낭이 자극되어 발생하는 것으로 생각된다.¹¹⁾ 소리 자극과 진동 자극은 난형낭과 구형낭을 모두 자극하지만, 홍채유돌근에서 관찰할 수 있는 cVEMP는 구형낭을 통한 전정-경부반사에 의해 주로 유발되기 때문에 홍채유돌근에서 기록되는 cVEMP는 구형낭의 기능을 확인하는 검사로 추정된다. 마찬가지로 소리나 진동 자극으로 난형낭이나 구형낭이 모두 자극되지만, 안구 주위에서 기록되는 전정유발근전위는 주로 난형낭을 통한 전정-안반사를 통해 유발되므로 안구 전정유발근전위는 난형낭의 기능을 확인하는 검사로 생각된다.¹¹⁾

일반적으로 소리 자극을 이용한 cVEMP검사서 사용되는 지표는 파형의 존재 유무와 IADR이다. 파형이 존재하지 않거나 IADR이 정상치보다 클 경우, 파형이 존재하지 않는 쪽과 진폭이 작은 쪽을 비정상적으로 판단한다.¹²⁻¹⁵⁾ 본 연구에서는 소리 자극과 진동 자극을 이용하여 cVEMP를 확인하는 두 검사 모두 48귀에서 반응을 얻을 수 있었다. 그러나 소리 자극의 경우에는 역치가 최대 자극 강도(95 dB nHL)인 경우도 있어 연령이 증가함에 따라 역치가 증가하는 경향을 보이는 점을 감안하면⁶⁾ 노인의 경우에는 정상인에서도 반응이 나타나지 않을 수 있음을 시사한다. 그러나, BC cVEMP검사는 역치가 최대 자극 강도보다 20~45 dB 이상 더 낮은 자극에서 반응을 보이기 때문에 나이가 들에 따라 역치가 증가하더라도 양성 반응이 나올 수 있음을 추정할 수 있다. 따라서, BC cVEMP검사는 몇몇 정상 고령 환자에서 음성 반응을 보이는 AC cVEMP의 단점을 극복하여 환자와 정상인과의 차이를 보다 쉽게 확인할 수 있으리라 생각되며, 이를 확인하기 위해 나이에 따른 cVEMP의 발생률을 확인하는 추가 연구가 필요하다.

또한, 진동 자극은 전음성 난청이 있는 환자에서 양쪽 구형낭을 동시에 자극하며, 순차적으로 구형낭을 자극해야 하는 소리 자극과 비교하여 양측을 동시에 자극하므로 소리 자

극에 비교하여 결과가 다를 수 있다. 본 연구에서는 최대 자극 강도에서의 IADR은 BC cVEMP검사서 16±13%로 AC cVEMP검사서에서의 값(20±14%)보다 작은 경향을 보였지만 의미 있는 차이를 보이지 않았다. 여러 보고에 따르면, 본 연구의 결과와 비슷하게 소리 자극에 대한 cVEMP검사서 IADR의 값의 정상치는 34.1~60.4%로 보고된다.¹²⁻¹⁹⁾ 진동 자극과 소리 자극을 주며 홍채유돌근에서 rectified electromyography를 이용하여 cVEMP를 기록한 최근의 논문²⁰⁾에 의하면, 본 연구와 유사하게 진동 자극일 경우에 IADR이 8.7±6.2%, 소리 자극을 이용한 경우에는 11.2±10.7%로 진동 자극을 사용할 경우 IADR이 감소하는 경향을 보이는 것으로 생각된다.

Acknowledgments

This work was supported by the Konkuk University Medical Center Research Grant 2010.

REFERENCES

- 1) Colebatch JG, Halmagyi GM. Vestibular evoked potentials in human neck muscles before and after unilateral vestibular deafferentation. *Neurology* 1992;42(8):1635-6.
- 2) Colebatch JG, Halmagyi GM, Skuse NF. Myogenic potentials generated by a click-evoked vestibulocollic reflex. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1994;57(2):190-7.
- 3) Lim CL, Clouston P, Sheean G, Yiannikas C. The influence of voluntary EMG activity and click intensity on the vestibular click evoked myogenic potential. *Muscle Nerve* 1995;18(10):1210-3.
- 4) Robertson DD, Ireland DJ. Vestibular evoked myogenic potentials. *J Otolaryngol* 1995;24(1):3-8.
- 5) Halmagyi GM, Yavor RA, Colebatch JG. Tapping the head activates the vestibular system: a new use for the clinical reflex hammer. *Neurology* 1995;45(10):1927-9.
- 6) Su HC, Huang TW, Young YH, Cheng PW. Aging effect on vestibular evoked myogenic potential. *Otol Neurotol* 2004;25(6):977-80.
- 7) Iwasaki S, Smulders YE, Burgess AM, McGarvie LA, Macdougall HG, Halmagyi GM, et al. Ocular vestibular evoked myogenic potentials to bone conducted vibration of the midline forehead at Fz in healthy subjects. *Clin Neurophysiol* 2008;119(9):2135-47.
- 8) McCue MP, Guinan JJ Jr. Acoustically responsive fibers in the vestibular nerve of the cat. *J Neurosci* 1994;14(10):6058-70.
- 9) Murofushi T, Curthoys IS, Topple AN, Colebatch JG, Halmagyi GM.

- Responses of guinea pig primary vestibular neurons to clicks. *Exp Brain Res* 1995;103(1):174-8.
- 10) Curthoys IS, Kim J, McPhedran SK, Camp AJ. Bone conducted vibration selectively activates irregular primary otolithic vestibular neurons in the guinea pig. *Exp Brain Res* 2006;175(2):256-67.
 - 11) Curthoys IS. A critical review of the neurophysiological evidence underlying clinical vestibular testing using sound, vibration and galvanic stimuli. *Clin Neurophysiol* 2010;121(2):132-44.
 - 12) 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.
 - 13) Young YH, Wu CC, Wu CH. Augmentation of vestibular evoked myogenic potentials: an indication for distended saccular hydrops. *Laryngoscope* 2002;112(3):509-12.
 - 14) Hong SM, Cha CI, Byun JY, Yeo SG. The results of vestibular evoked myogenic potential in the patients with central vertigo. *Korean J Otolaryngol-Head Neck Surg* 2006;49(11):1061-4.
 - 15) 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.
 - 16) Welgampola MS, Colebatch JG. Vestibulocollic reflexes: normal values and the effect of age. *Clin Neurophysiol* 2001;112(11):1971-9.
 - 17) 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.
 - 18) 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.
 - 19) Isaradisaiikul S, Strong DA, Moushey JM, Gabbard SA, Ackley SR, Jenkins HA. Reliability of vestibular evoked myogenic potentials in healthy subjects. *Otol Neurotol* 2008;29(4):542-4.
 - 20) Taylor RL, Wijewardene AA, Gibson WP, Black DA, Halmagyi GM, Welgampola MS. The vestibular evoked-potential profile of Ménière's disease. *Clin Neurophysiol*. In press 2010.