

새로운 전정-경 반사 검사법

아주대학교 의과대학 재활의학교실

문도준 · 최규철 · 윤승현 · 전보현 · 나은우 · 이일영 · 임신영

A New Method for Vestibulo-Collic Reflex

Do Jun Moon, M.D., Kyu Chuol Choi, M.D., Seung Hyun Yoon, M.D., Bo Hyun Jeon, M.D., Ueon Woo Rah, M.D., Il Yung Lee, M.D. and Shin-Young Yim, M.D.

Department of Physical Medicine and Rehabilitation, Ajou University School of Medicine

Objective: Vestibulo-collic reflex (VCR) has been thought to be a simple and reliable test in evaluating the vestibular function. But it can only be examined by actively contracting the sternocleidomastoid muscle (SCM) and it would be impossible to conduct the examination without the cooperation of the subject. The aim of this study was to demonstrate a new method for VCR in the absence of the subject's cooperation.

Method: Records were collected from 20 volunteers. Each subject was properly positioned on the bed with the head flexed, ipsilaterally bent and contralaterally rotated. An active electrode was placed over the belly of the SCM. 100 dB clicks were delivered through headphones. We compared

the active contraction and passive positioning of the SCM in terms of the P1 latency and amplitude.

Results: Vestibular-evoked myogenic potentials (VEMPs) were recorded without actively contracting the SCMs for all the subjects by using our new method. There was no difference in P1 latency and amplitude between the active contraction and passive positioning of the SCM.

Conclusion: With our new method, VEMPs can be recorded without actively contracting the SCM. It may be useful for evaluating the vestibular function of children and patients who cannot cooperate. (*J Korean Acad Rehab Med* 2006; 30: 19-24)

Key Words: Vestibular function test, Vestibulo-collic reflex, Vestibular-evoked myogenic potential, Sternocleidomastoid muscle

서 론

전정기관은 적절한 균형과 자세의 유지에 관여하는 감각 수용체 중의 하나이며, 전정-척수 반사(vestibulo-spinal reflex)의 일종인 전정-경 반사(vestibulo-collic reflex, VCR)는 머리 위치를 안정적으로 유지하는데 중요한 역할을 한다. 이러한 전정-경 반사를 측정하기 위한 방법으로 전정유발 근원성 전위(vestibular-evoked myogenic potential, VEMP)가 사용되어 왔으며, 전정기관은 클릭(click),^{1,6,7,10)} short tone bursts,¹⁸⁾ 두부타진(head tapping),¹²⁾ 유양돌기를 통한 전기자극(short-duration transmastoid currents),²¹⁾ 두부의 자유 낙하(sudden head dropping)^{2,13)} 등에 의하여 자극될 수 있다고 알려져 있다. VEMP는 1964년 Bickford 등⁷⁾에 의해 처음으로 기술되었는 바, 이들은 클릭을 편측 귀에 주어 동측 뒤통수점(inion)에서 전위를 측정한 바 있다. Young 등²⁵⁾은 원숭이

(squirrel monkey)의 귀에 청각자극을 주어 내이의 평형모래기관(otolith organ)을 자극할 수 있다고 하였고, McCue와 Guinan¹⁶⁾은 고양이의 구형낭 신경(saccular nerve)을 자극하면 동측 목에서 운동반응을 일으킬 수 있다고 하였다. 그 이후 Colebatch⁹⁾와 Colebatch 등¹⁰⁾은 클릭을 이용하여 흉쇄 유돌근에서 전정유발 근원성 전위를 측정하였는바, 전정유발 근원성 전위는 전정기관, 특히 구형낭의 활성화에 기인하는 것으로 보고하였다. 전정기관 혹은 뇌간에 이상이 있거나 전정-척수로에 이상이 있는 경우에는 PIN1 파가 나타나지 않거나^{10,17)} P1 잠시가 지연된다고 알려져 있다.^{14,19,20)} 또한 흉쇄유돌근의 능동적 수축을 유지한 경우에만 정점이 나타나며 수축하지 않은 경우에는 나타나지 않으므로,^{1,3,4,6,10)} 전정유발 근원성 전위를 측정하기 위해서는 흉쇄유돌근의 능동적 수축이 필수적인 조건으로 알려져 있다.

현재까지 알려진 청각자극에 의한 전정-경 반사의 측정은 흉쇄유돌근의 수축을 유지한 채 검사를 시행해야 하는 제한이 있어 협조가 어려운 피검자에서는 검사하는 데에 어려움이 있었다. 이에 저자들은 피검자의 능동적 협조 없이 전정-경 반사를 측정할 수 있는 새로운 검사법을 개발하여 이를 보고하고자 한다.

접수일: 2006년 9월 12일, 게재승인일: 2005년 12월 12일
교신저자: 임신영, 경기도 수원시 영통구 원천동 산5번지
☎ 443-721, 아주대학교 의과대학 재활의학교실
Tel: 031-219-5284, Fax: 031-219-5209
E-mail: syyim@ajou.ac.kr

연구대상 및 방법

신경근육계 및 내과적 질환이 없으며, 부신경(accessory nerve)의 전도 검사가 정상인 성인 20명(남자 7명, 여자 13명)을 대상으로 하였다(평균연령 25.4±7.99세, 범위 21~57세). 자극은 헤드폰(unshielded TDH49P audiometric headphone, Medelec Inc., Surrey, UK)을 통하여 우측 및 좌측 귀에 각각 rare square wave click음(자극기간 0.1 msec, 자극빈도 5/sec)을 100 dB의 자극 강도로 512회씩 주었으며 증폭기의 기록민감도는 50µV/div, 소인속도는 10 msec/div, 주파

수 여과범위는 10 Hz~2 kHz로 하였다. 신호의 기록은 Sapphire Premier[®] 근전도 기기(Medelec Inc., Surrey, UK)를 사용하여 동측의 흉쇄유돌근에서 전정유발 근위성 전위를 기록하였다(Table 1). 20명의 양측 목에서 측정된 40개의 분석했다. 활성화기록전극은 자극을 준 동측 흉쇄유돌근의 중간부위 팽대부에 부착하였고 참고기록전극은 흉쇄유돌근의 종지부인 유양돌기에, 접지전극은 흉쇄유돌근의 기시부인 흉골기시부(sternal end)에 부착한 후 100 dB의 강도를 주어 전정유발 근위성 전위의 정점잠시(P1) 및 진폭을 측정하였다.

저자들은 정상 성인 17명(남자 8명, 여자 9명)을 대상으로 예비실험을 실시한 바, 흉쇄유돌근의 수축 상태에서 우측과 좌측의 P1 잠시 및 진폭을 비교하였을 때 양측의 차이는 없었다. 또한 95 dB로 자극 시 1.5%에서 반응이 유발되지 않았던 반면에 100 dB로 자극했을 때에는 반응이 모두 유발되었으며, 95 dB과 비교하여 100 dB로 자극 시 P1 잠시간의 차이는 없었으나 진폭은 더 크게 나왔다. 또한 100 dB로 자극 시, 참고기록전극을 흉쇄유돌근의 기시부에 부착했을 경우와 종지부에 부착했을 경우의 비교에서 P1 잠시간에는 유의한 차이는 없었으나 진폭에는 유의한 차이가 있었다(Table 2). 이에 저자들은 이번 연구에서 참고기록전극은 흉쇄유돌근의 종지부인 유양돌기에, 접지전극은 흉골기시부에 부착한 후 100 dB의 자극을 이용하였다.

피검자의 흉쇄유돌근의 수축 유무에 따른 정점잠시 및 진폭을 비교하기 위하여 두 가지 상태에서 검사를 시행하였다. 첫 번째로는 피검자로 하여금 앉은 자세에서 흉쇄유돌근의 능동적 수축을 유지한 상태에서 검사를 시행하였다. 두 번째로는 피검자를 이완된 상태로 바로 눕힌 후 수동적으로 흉쇄유돌근이 두드러지게 보이도록 만든 상태에서 검사를 시행하였다. 흉쇄유돌근의 작용은 목의 굴곡, 머리의 동측 측면 굴곡과 반대 측 회전이므로,^{15,22)} 흉쇄유돌근을 두드러지게 만들기 위해서는 머리를 반대 측으로 회전시켜야 하지만 헤드폰으로 인하여 머리를 반대 측으로 회전시키는 것이 어려워 머리를 반대 측으로 회전시키는 대신 머리를 고정된 상태에서 몸을 동측으로 회전시켜 머리를 몸통에 대하여 상대적으로 반대측 회전의 위치를 취하도록

Table 1. EMG Setting for Procedure

EMG machine: Sapphire Premier [®] (Medelec Inc., Surrey, UK)	
Stimulation	
Stimulator: Unshielded TDH49P audiometric headphone (Medelec Inc., Surrey, UK)	
Characteristics: Rare square wave click sound	
Intensity: 100 dB	
Duration: 0.1 msec	
Repetition: 512	
Repetition rate: 5/sec	
Recording	
Electrode: Ag/AgCl surface electrode (VIASYS, Madison, WI, USA)	
Recording site	
Active electrode: Ipsilateral mid-point of SCM ¹⁾	
Reference electrode: Ipsilateral mastoid process	
Ground electrode: Ipsilateral sternal end of SCM ¹⁾	
Sweep Speed: 10 msec/div	
Frequency filter: 10 Hz~2 kHz	
Sensitivity: 50µV/div	
Position of neck: flexion, ipsilateral bending and contralateral rotation	

1. SCM: Sternocleidomastoid muscle

Table 2. Latency and Amplitude of P1 Wave of VEMP¹⁾ according to the Location of Reference Recording Electrode on Actively Contracting SCM²⁾ (n=17)

P1 wave	Location of reference recording electrode		p value
	Mastoid attachment	Sternal attachment	
Latency (msec)	11.85±0.66 (10.30~13.40)	12.08±1.15 (10.30~16.10)	0.130
Amplitude (µV)	22.18±14.05 (5.70~65.70)	17.86±11.57 (5.8~46.70)	0.022

Values are mean±S.D.

1. VEMP: Vestibular-evoked myogenic potential, 2. SCM: Sternocleidomastoid muscle

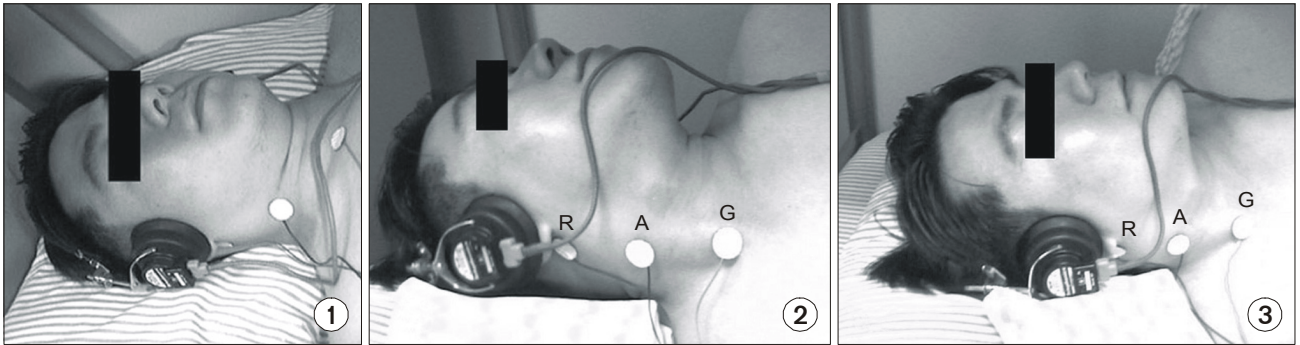


Fig. 1. Steps to get the proper position for the subject who was relaxed. (1) supine position with neck flexion, (2) trunk rotation, (3) ipsilateral neck bending. A: active electrode, R: reference electrode, G: ground electrode.

하였다. 즉 피검자를 이완된 상태로 바로 눕힌 후 베개를 받쳐 고개를 약간 굴곡시킨 상태에서, 클릭 자극을 주는 반대쪽의 어깨가 위로 오도록 피검자의 몸을 옆으로 돌린 후 등 뒤에 베개를 받쳐 고정시킨 후 동측 측면으로 굴곡시켜 흉쇄유돌근이 두드러지게 보이도록 만든 상태에서 검사를 시행하였다(Fig. 1). 흉쇄유돌근의 능동적 수축을 배제하기 위하여 근전도 검사에서 흉쇄유돌근의 능동적 수축이 없음을 확인하였다. 이상의 과정을 통하여 각 자세에서의 전정 유발 근위성 전위의 정점잠시 및 진폭을 기록하여 비교 분석하였다.

통계 분석은 윈도우용 SPSS version 12.0 통계프로그램을 사용하였으며 양측 차이를 비교하기 위하여 paired t-test를 이용하였으며, $p < 0.05$ 를 유의수준으로 정하였다.

결 과

청각자극을 주어 흉쇄유돌근에서 기록한 근전도 신호를 평균화한 결과 P1의 정점이 나타났으며 정점의 출현은 흉쇄유돌근의 능동적 수축을 유지한 경우와 능동적 수축 없이 수동적으로 자세를 취한 경우 모두에서 관찰되었다(Fig. 2). N1 파는 P1 파와는 달리 잠시 및 진폭의 변화가 컸으며 또한 뚜렷하게 나타나지 않는 경우도 있었다. 흉쇄유돌근을 수동적으로 자세를 취한 경우에서, P1 잠시는 남성에서 12.24 ± 0.72 msec, 여성에서 11.89 ± 0.57 msec로 남녀 간의 차이는 없었으며($p > 0.05$), 우측 12.11 ± 0.57 msec, 좌측 11.93 ± 0.47 msec로 좌우측 간의 차이도 없었다($p > 0.05$). 흉쇄유돌근의 능동적 수축을 유지한 경우와 수동적으로 자세 취한 경우의 비교에서, P1 잠시는 각각 11.93 msec, 12.01 msec로 상호간에 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p > 0.05$). 또한 진폭의 비교에서는 각각 $22.88 \mu V$, $18.19 \mu V$ 로 상호간에 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p > 0.05$)(Table 3).

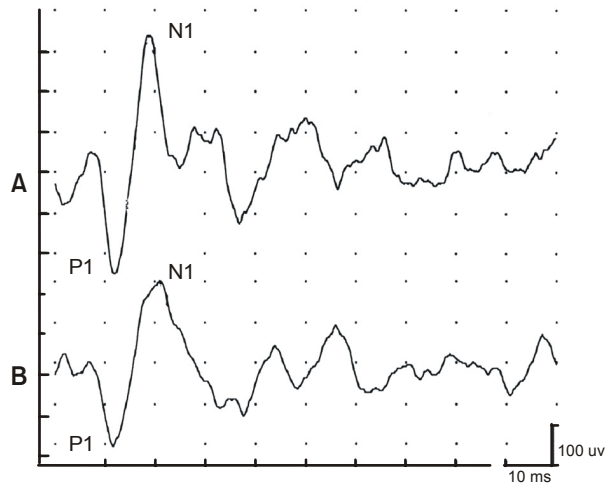


Fig. 2. Vestibulo-colic reflex wave form. (A) With active contraction of sternocleidomastoid muscle, (B) Without active contraction of sternocleidomastoid muscle.

고 찰

저자들의 문헌고찰에 의하면 본 연구는 피검자의 흉쇄유돌근의 능동적 수축 없이 전정유발 근위성 전위를 측정 한 첫 보고이다. 전정기관의 기능을 평가하기 위한 방법으로 전정유발 근위성 전위가 사용되어 왔으나, 현재까지의 방법은 흉쇄유돌근의 능동적 수축이 있어야만 가능하다는 것이었다. 따라서 이런 능동적 수축이 없어도 전정유발 근위성 전위를 측정하기 위한 방법을 모색하게 되었으며 결국 수동적 자세를 취함에 의해 흉쇄유돌근을 두드러지게 만든 후 검사하면 전정유발 근위성 전위의 측정이 가능함을 발견하였다.

전정-척수 반사는 공간 내에서 자세를 바로 잡고 그 자세를 유지하는 데에 관여하는 것으로서 그 중 머리 위치를 유지하는데 중요한 것은 전정-경 반사이며, 이의 생리적 기

Table 3. Latency and Amplitude of P1 Wave of VEMP¹⁾ according to Contraction of SCM²⁾ (n=20)

P1 wave	SCM ²⁾		p value
	With active contraction	Without active contraction	
Latency (msec)	11.93±0.96 (10.30~13.40)	12.01±0.64 (10.50~13.50)	0.448
Amplitude (µV)	22.88±13.48 (5.70~65.70)	18.19±14.12 (2.99~66.70)	0.075

Values are mean±S.D.

1. VEMP: Vestibular-evoked myogenic potential, 2. SCM: Sternocleidomastoid muscle

전으로는 일차 전정 구심 신경원, 전정-경 신경원, 경 운동 신경원이 관여된 반사경로로 추정되고 있다.^{8,10,11,23,24)}

전정기관 중에서 반응이 일어나는 부위는 타원낭(utricle) 보다는 구형낭으로 생각되고 있는데, 이는 해부학적으로 구형낭이 등자뼈의 발판(stapes footplate)에 바로 접해 있어 청각자극에 의해 자극받기 쉽기 때문인 것으로 추정되고 있다.^{6,10,16)} 전정유발 근위성 전위의 P1N1파는 전정기관 혹은 뇌간에 이상이 있거나 전정-척수수에 이상이 있을 경우에 파형이 나타나지 않거나,^{10,17)} P1파의 지연이 발생한다고 알려져 있다.^{14,19,20)} 한편 P1N1 파의 진폭은 자극강도와 홍쇄유돌근의 수축 정도에 따라 비례한다고 하였으며 이에 대한 기전으로는 경 운동신경원의 축통(facilitation)이 작용하는 것으로 추정되고 있다.

Bath 등^{5,6)}은 32명의 정상 성인을 대상으로 하여 청각자극에 의한 홍쇄유돌근에서의 근전위를 측정하였는데 그 중 31명에서 P1N1파를 관찰하였다고 보고하고 있으며 P1의 정점잠시는 11.7 msec, N1의 정점잠시는 20.5 msec, P1N1의 진폭은 63.2µV가 나왔다고 하였다. 이러한 반응은 주로 자극을 준 동측에서 잘 관찰되었으며 반대 측에서도 35.5%에서 관찰되었다고 하였다. 또한 85~90 dB 이하에서 반응이 소실되는 것을 관찰했으며 97 dB에서 97%의 양성률을 보인 반면 88 dB에서는 50%의 양성률을 보였다고 보고하였다. 저자들의 예비 실험에서도 95 dB로 자극했을 때 1.5%에서 반응이 유발되지 않았던 반면 100 dB로 자극했을 때에는 반응이 유발되었고 95 dB과 비교하여 100 dB로 자극 시 진폭이 더 크게 나와 본 실험에서는 100 dB의 자극 강도를 선택하였다.

Colebatch 등¹⁰⁾은 청각자극을 통해 전정-경 반사를 일으키고 홍쇄유돌근에서의 근전위를 기록하였는데, 피검자로 하여금 앉은 자세에서 이마 앞에 막대기를 대어 앞으로 밀거나 혹은 고개를 돌려 홍쇄유돌근의 등척성 수축을 유지한 상태에서 검사를 시행하였고 이 때 정점잠시(P1)는 13.3 msec가 나왔고 정점간의 진폭은 홍쇄유돌근의 수축 정도에 비례한다고 보고하였다. 하지만 이 방법은 홍쇄유돌근의 등척성 수축을 유지한 채 검사를 시행해야 하는 제한이 있으므로 홍쇄유돌근의 수축을 유지하기 어려운 편마비 환자

나 뇌성마비 등에서는 어려움이 있다. 따라서 이를 극복하기 위한 다른 축통 방법의 개발이 필요한데 이에 대한 방안으로 두부의 자유 낙하를 이용하는 방법이 시도되었으며^{2,13)} 이를 통해 전정-경 반사를 유도하여 전정 기능 및 전정-경 반사도가 통과하는 뇌간의 병변 평가에 이용하였다. 이 방법은 예고 없이 두부를 자유 낙하시켜 전정기관에 자연스러운 생리적인 자극을 유발한 것인데, 이는 기본적으로 전정기관 수용체의 자극에 의한 홍쇄유돌근의 수축을 발생하게 한 것이지만, 그 외에 목의 후방 근육의 단축과 전방 근육의 신장, 경부 관절의 움직임, 후두부에서 경추 2, 3번으로 전해지는 압력의 소실, 경부 신전의 제한으로 홍쇄유돌근에 전해지는 감각 자극 등이 홍쇄유돌근의 수축을 유발할 수 있어 여러 오차로 작용할 수 있다. 두부의 낙하를 정확히 측정하기 위해서는 가속도계(accelerometer)가 필요하며 또한 전정기관의 자극 방법에도 차이가 있고, 자극 후에 전정기관의 수용체가 활성화되기까지의 시간에도 차이가 있을 수 있으며 검사 자체도 복잡하기 때문에 여러 제한이 있다.

Al-Abdulhadi 등⁴⁾은 32명을 대상으로 하여 3가지 상태에서 홍쇄유돌근에서의 근전위를 측정하였다. 즉 근육 수축 및 청각자극 모두 없는 경우, 근육 수축은 있으나 청각자극은 없는 경우, 근육 수축과 청각자극 모두 있는 경우의 3가지 군으로 나누었는데, 첫 번째 군에서는 어떠한 이상성 파형(biphasic EMG response)도 관찰되지 않았고 두 번째 군에서는 다상성 파형(multiphasic potentials)이 일부에서 관찰되었으며 세 번째 군에서는 전형적인 이상성 파형이 관찰되었다.

저자들은 홍쇄유돌근의 능동적 수축 없이 수동적으로 자세를 취함에 의해 홍쇄유돌근을 두드러지게 만든 후 검사를 시행하면 전정유발 근위성 전위 얻을 수 있음을 확인하였다. 또한 수동적 자세를 취하는 방법의 선택에서, 피검자를 이완된 상태로 바로 눕힌 후 헤드폰을 착용한 상태에서 몸을 검사하려는 동측으로 회전시키는 방법을 선택했는데 이는 헤드폰 때문에 머리를 반대 측으로 회전시키는 것보다는 몸을 동측으로 회전시키는 것이 용이하기 때문이다. 이러한 자세에서의 홍쇄유돌근의 수축 여부를 알아보기 위하여 표면 전극 및 침전극을 이용하여 검사한 결과 홍쇄유돌근의 수축은 관찰되

지 않았으며, 흉쇄유돌근의 수축 없이 전정유발 근위성 전위를 유발할 수 있음을 알 수 있었다. 참고전극의 위치로는 기존의 보고에서는 흉쇄유돌근의 기시부인 흉골 상단에 부착하는 것이 일반적이었으나,^{1,2,5,6,10} 저자들의 방법 하에서는 흉쇄유돌근의 종지부인 유양돌기에 부착 시 Table 2에서와 같이 전정유발 근위성 전위의 진폭이 더 크게 기록된 바, 이에 저자들은 참고전극을 흉쇄유돌근의 종지부에 부착하였다. 또한 적절한 반응을 얻기 위한 자극 횟수로는 100회,^{19,20} 128회,^{3,5,6,17} 256회, 512회^{1,10} 등이 사용되었으나, 저자들의 방법으로는 512회 자극에 전정유발 근위성 전위의 파형이 가장 잘 기록되어 이에 512회의 자극 횟수를 사용하였다. 한편 본 연구에서는 P1 파에 대한 값을 제시하였는바, 이는 P1파는 기시잠시가 균일하게 나오는 반면 N1 파는 기시잠시의 변화가 컸으며 또한 파형이 뚜렷하게 나타나지 않는 경우가 있어 P1 값만을 기록하였다.

현재까지 알려진 바로는 전정유발 근위성 전위를 측정하기 위해서는 피검자가 흉쇄유돌근을 능동적으로 수축해야 한다는 것이며 따라서 의식이 없거나 협조가 불가능한 피검자나 소아의 경우에 적용할 수 없었으나,^{1,3,4,6,10} 본 연구는 흉쇄유돌근의 능동적 수축 없이도 수동적으로 자세를 취함에 의해서 전정유발 근위성 전위를 측정할 수 있음을 밝혔다는 데에 상당한 의의가 있다고 하겠다. 향후 검사 대상자를 추가해야 하며 소아를 포함한 각 연령에 따른 정상 값을 구하여야 할 것으로 생각하며, 이를 이용하여 전정기관 병변의 진단 및 경과 관찰 등에 사용될 수 있을 것으로 생각한다.

결 론

저자들은 피검자에 의한 흉쇄유돌근의 능동적 수축 없이 전정-경 반사를 측정할 수 있는 새로운 전정-경 반사 검사법을 개발하였다. 환자에게 수동적인 자세를 취하게 하여 흉쇄유돌근을 두드리지게 만든 후 활성화전극을 흉쇄유돌근의 중간부위 팽대부에, 참고전극을 유양돌기에, 접지전극을 흉골 기시부에 붙여서 100 dB의 강도로 512회씩, 자극빈도는 5/sec로 사용할 것을 권장한다.

본 연구의 방법은 소아나 협조가 불가능한 피검자의 전정기관의 기능을 측정할 수 있는 유용한 방법으로 판단되며 더 나아가서는 전정기관의 이상으로 인한 어지러움증, 사경, 자세 이상, 뇌간의 병변 등의 검사에도 응용될 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

1) 이주강: 청각자극에 의한 전정-경반사의 측정. 대한재활의학회지 1996; 20: 1002-1006
 2) 이주강, 김정아: 두부의 자유 낙하로 유도된 전정-경 반사의

측정. 대한재활의학회지 1998; 22: 447-452
 3) Akin FW, Murnane OD, Panus PC, Caruthers SK, Wilkinson AE, Proffitt TM: The influence of voluntary tonic EMG level on the vestibular-evoked myogenic potential. J Rehabil Res Dev 2004; 41: 473-480
 4) Al-Abdulhadi K, Zeitouni AG, Al-Sebeih K, Katsarkas A: Evaluation of vestibular evoked myogenic potentials. J Otolaryngol 2002; 31: 93-96
 5) Bath AP, Harris N, McEwan J, Yardley MP: Effect of conductive hearing loss on the vestibulo-colic reflex. Clin Otolaryngol Allied Sci 1999; 24: 181-183
 6) Bath AP, Harris N, Yardley MP: The vestibule-colic reflex. Clin Otolaryngol Allied Sci 1998; 23: 462-466
 7) Bickford RG, Jacobson JL, Cody DT: Nature of average evoked potentials to sound and other stimuli in man. Ann N Y Acad Sci 1964; 112: 204-223
 8) Brink EE, Jinnai K, Hirai N, Wilson VJ: Cervical input to vestibulocollic neurons. Brain Res 1981; 217: 13-21
 9) Colebatch JG: Vestibular evoked potentials. Curr Opin Neurol 2001; 14: 21-26
 10) Colebatch JG, Halmagyi GM, Skuse NF: Myogenic potentials generated by a click-evoked vestibulocollic reflex. J Neurosurg Psychiatry 1994; 57: 190-197
 11) Fukushima K: The interstitial nucleus of Cajal and its role in the control of movements of head and eyes. Prog Neurobiol 1987; 29: 107-192
 12) Halmagyi GM, Yavor RA, Colebatch JG: Tapping the head activates the vestibular system: a new use for the clinical tendon hammer. Neurology 1995; 45: 1927-1929
 13) Ito Y, Coma S, von Brevern M, Bronstein A, Rothwell J, Gresty M: Neck muscle responses to abrupt free fall of the head: comparison of normal with labyrinthine-defective human subjects. J Physiol 1995; 489: 911-916
 14) Itoh A, Kim YS, Yoshioka K, Kanaya M, Enomoto H, Hiraiwa F, Mizuno M: Clinical study of vestibular-evoked myogenic potentials and auditory brainstem responses in patients with brainstem lesions. Acta Otolaryngol Suppl 2001; 545: 116-119
 15) Jenkins DB: Hollinshead's functional anatomy of the limbs and back, 8th ed, New York: Saunders, 2002, pp87-91
 16) McCue MP, Guinan JJ Jr: Acoustically responsive fibers in the vestibular nerve of the cat. J Neurosci 1994; 14: 6058-6070
 17) Murofushi T, Halmagyi GM, Yavor RA, Colebatch JG: Absent vestibular evoked myogenic potentials in vestibular neuro-labyrinthitis. An indicator of inferior vestibular nerve involvement? Arch Otolaryngol Head Neck Surg 1996; 122: 845-848
 18) Murofushi T, Matsuzaki M, Wu CH: Short tone burst-evoked myogenic potentials on the sternocleidomastoid muscle: are these potentials also of vestibular origin? Arch Otolaryngol Head Neck Surg 1999; 125: 660-664
 19) Murofushi T, Shimizu K, Takegoshi H, Cheng PW: Diagnostic

- value of prolonged latencies in the vestibular evoked myogenic potential. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2001; 127: 1069-1072
- 20) Shimizu K, Murofushi T, Sakurai M, Halmagyi GM: Vestibular evoked myogenic potentials in multiple sclerosis. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2000; 69: 276-277
- 21) Watson SR, Colebatch JG: Vestibulocollic reflexes evoked by short-duration galvanic stimulation in man. *J Physiol* 1998; 513: 587-597
- 22) Williams PL, Bannister LH, Berry MM, Collins P, Dyson M, Dussek JE, Ferguson MW: *Gray's anatomy*, 38th ed, New York: Churchill Livingstone, 1995, pp804-805
- 23) Wilson VJ, Boyle R, Fukushima K, Rose PK, Shinoda Y, Sugiuchi Y, Uchino Y: The vestibulocollic reflex. *J Vestib Res* 1995; 5: 147-170
- 24) Wilson VJ, Maeda M: Connections between semicircular canals and neck motoneurons in the cat. *J Neurophysiol* 1974; 37: 346-357
- 25) Young ED, Fernandez C, Goldberg JM: Responses of squirrel monkey vestibular neurons to audio-frequency sound and head vibration. *Acta Otolaryngol* 1977; 84: 352-360
-