

평류전정자극에 의한 H 반사의 변화

황 태 연

(전남과학대학 물리치료과)

김 태 열

(동신대학교 물리치료학과)

박 장 성

(서남대학교 물리치료학과)

The Change of H Reflex by Galvanic Vestibular Stimulation

Hwang Tae-Yeun, P.T., Ph.D.

(Dept. of Physical Therapy, Chunnam techno college)

Kim Tae-Youl, P.T., Ph.D.

(Dept. of Physical Therapy, Dongshin University)

Park Jang-Sung, P.T., Ph.D.

(Dept. of Physical Therapy, Seonam University)

ABSTRACT

In experimental method, this study was that galvanic vestibular stimulation in vestibular system influenced the excitability of spinal neuron through. H-reflex was measured by galvanic vestibular stimulation of binaural(right-negative pole and left-positive pole) at left head turning and prone position in sixteen normal subjects in

their twenties age were selected.

The summary of the comparison results were obtained below.

1. In the change of H reflex according to galvanic vestibular stimulation(GVS), Hmax amplitude($p<.05$) increased significantly after stimulation.

2. In the change of H reflex according to galvanic vestibular stimulation(GVS), Hmax/Mmax ratio($p<.05$) increased significantly after stimulation.

In the conclusion, galvanic vestibular stimulation influenced the excitability of vestibulospinal tract and spinal neuron.

1. 서론

전정계는 기립균형조절을 위한 중요한 감각인자로 인식되고 있다(Inglis와 Macpherson, 1995). 전정계로부터의 구심성 정보는 공간에서의 머리의 움직임과 인지에 대한 정보뿐만 아니라(Horak 등, 1994), 자세동요 시에 사지의 진폭을 조절하여 미세하게 신체의 재 정렬을 이루는 자세반응의 역할을 수행하며(Inglis 등, 1995), 시각 및 고유수용체 등과 함께 반사적인 자세나 운동의 조절에 있어 전정계가 중요한 기능을 수행한다(Wilson과 Melvill, 1979).

전정계의 기능장애는 인지, 안구운동, 자세, 자율증상의 출현과 같은 복합적인 문제를 일으키며, 어지럼증이나 현기증, 안구진탕, 운동실조와 오심(nausea)의 증상을 일으킨다(Brandt와 Daroff 1980). 따라서 전정계

의 기능적인 중요성이 크며, 신체의 다양한 문제를 일으키기 때문에 이의 영향을 알아보기 위하여 다양한 연구들이 이루어지고 있다.

실험적으로 이용되고 있는 전정계의 영향을 연구하기 위한 전정계의 자극 방법은 자세의 변화를 이용한 자연적인 방법(Greenwood와 Hopkins, 1976)과 인위적인 자극(Watson과 Colebatch, 1997; Welgampola와 Colebatch, 2002)이 이용된다. 이러한 방법 중에서 인위적인 전정계 자극의 방식으로 이용되는 평류전정자극(galvanic vestibular stimulation; GVS)은 전정계에 단속평류 전기자극을 적용하는 방법으로 근래 들어 활발한 연구가 진행되고 있다(Cauquil 등, 1997; Watson과 Colebatch, 1997; Scinicarello 등, 2001; Bacsi 등, 2003). Goldberg 등(1984)은 전정계가 위치한 유양돌기부 위에 저장도의 전기자극을 가하면 구심성 전정신경의 불규칙한 발화가 이루어

진다고 하였다. 따라서 평류전정자극은 생체의 전정계를 활성화시키는 비통증성 기법에 활용되고 있다(Day 등, 1997; Watson과 Colebatch, 1997).

평류전정자극에 따른 전정계의 영향평가를 위해 H 반사에 대한 연구가 이루어지고 있는데(Kennedy와 Inglis, 2001; Kennedy와 Inglis, 2002), 이는 단일연접반사(monosynaptic reflex)로 S1 신경근증 등의 말초신경병의 진단에 사용되며 Ia 방추 구심성 섬유를 역치하 전기자극하여 유도된 후기반사를 말한다(Burke 등, 1989). 또한 근 신장반사에 대한 신경학적 검사로 감마운동계에 의해 조절되는 근방추의 민감도에 대한 간접적인 정보를 제공하기 때문에(Bishop, 1968), 척수 운동신경원의 변화를 측정하여 경련이나 다른 신경학적 상태를 확인할 수 있다. 따라서 뇌졸중, 척수손상 등 상위운동신경원 병변으로 인한 근 긴장의 증가를 정량적으로 측정하는데 적용될 수 있다(Tarkka와 Larsen, 1987). 또한 인위적인 감각투입에 따른 척수신경원의 흥분성 변화에 대한 연구로 하지의 인위적인 감각투입에 의한 H 반사의 변화(Kennedy와 Inglis, 2001), 특별히 제작한 균형 작업대(balancing task) 위에서의 하퇴의 고유수용성 변화에 따른 변화(McIlroy 등, 2003)에 대한 연구 등이 이루어지고 있다.

Watson과 Colebatch(1997)는 전정계에 대한 전기자극 시 양극은 전정신경의 발화를 감소시키고, 음극은 증가시켜 평류전정자극이 전정척수반사에 영향을 미치는 것으로 보고하였다. 따라서 실험적으로 적용된 평류전정자극에 따른 H 반사의 변화에 대한

연구는 전정척수반사에 대한 연구로 임상적으로 중요한 의미가 있다. 또한 평류전정자극은 전정계 기능을 강화시키는 것으로 알려져 있어(Scinicariello 등, 2001) 전정척수계의 기능평가뿐만 아니라 치료방법으로의 활용 가능성도 높을 것으로 생각된다. 그러나 아직까지 물리치료 분야에서는 평류전정자극을 이용한 전정계 평가나 치료적 활용에 대한 연구가 많이 이루어지지 않고 있다. 전기자극은 임상에서 가장 보편적으로 적용되어지는 물리치료양식 중에 하나이지만, 이에 대한 연구는 주로 전기진통, 신경근전기자극, 창상치유 등에 집중되어 있어 향후 이러한 새로운 영역에 대한 연구도 지속적으로 이루어질 필요가 있는 것으로 생각된다.

II. 연구방법

1. 연구대상

이 연구는 평류전정자극이 H 반사에 미치는 영향을 알아보기 위하여 실험에 참가 의사를 밝힌 남·여 대학생 중에서 신경학적 및 근골격계 장애가 없고, 일상생활에 지장이 없는 건강한 20대의 정상인을 대상으로 하였다.

연구대상자는 남자 8명과 여자 8명으로 총 16명이었다. 평균연령은 22.75 ± 2.27 세, 평균체중은 60.56 ± 3.86 kg, 평균신장은 168.06 ± 5.36 cm이었다.

2. 실험방법

평류전정자극은 맥동기간이 0.05~1,000 ms, 맥동간 간격이 0~5,000 ms인 Endomed 581(Enraf-Nonius, Netherlands)을 사용하였다. 적용방법은 머리를 좌측으로 돌려 엎드린 자세에서 측두골 유양돌기부에 3×5 cm의 일회용 자가-접착식 표면전극(Enraf Nonius, Netherlands)을 우측-음극, 좌측-양극의 양극(binaural) 배치방식으로 적용하였다. 자극조건은 맥동기간 1,000 ms, 맥동간 간격은 4,000 ms로 하여 순환주기(duty cycle) 25%의 단상 직사각파형을 사용하여 자극강도는 1 mA, 자극시간은 60초로 하였다.

평류전정자극에 따른 척수신경원 흥분성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 진단 근전도기(Cadwell, 6200A, USA)를 이용하여 H 반사를 측정하였다. 평류전정자극 전·후의 H 반사를 측정하기 위하여 진단 근전도기의 기록전극은 아킬레스건과 비복근이 만나는 부위에서 근위부 2 cm에 있는 내측 비복근의 근복에 배치하였고, 접지전극은 발목의 외측과 부위에 부착하였으며(Koceja 등, 1995), 측정조건으로 민감도(gain)는 2,000 μ V, 소거속도(sweep)는 2.0 ms이었다. 전기자극은 맥동기간이 1 ms인 직각맥동파를 이용하여 슬와부의 경골신경간을 낮은 강도에서 시작하여 검사자가 참을 수 있는 최대강도까지 서서히 증가시키면서 자극하여 M과 H의 잠복시와 M최대 진폭(Mmax amplitude)과 H최대 진폭(Hmax amplitude)을 정점-정점 진폭으로 측정하여

H최대 진폭/M최대 진폭의 비율을 산출하였다.

3. 분석방법

실험에 따라 얻어진 자료는 Windows용 SPSS 10.0 통계 프로그램을 이용하여 분석하였다. 평류전정자극 전·후에 H 반사를 비교하기 위해 대응표본 t 검정(paired t-test)을 실시하였다.

통계학적 검정을 위한 유의수준은 0.05 이하로 채택하였다.

III. 결 과

1. 잠복시 및 진폭의 변화

평류전정자극 전·후의 우측 비복근에서 측정된 M과 H와 잠복시와 M 진폭에서는 유의한 차이가 없었으나, H최대 진폭은 자극 전에 비해 자극 후에 유의하게 증가되었다($p < .05$)(Figure 1).

2. Hmax/Mmax ratio의 변화

평류전정자극 전·후의 우측 비복근에서 M과 H와의 최대진폭을 측정하여 H최대 진폭/M최대 진폭 비(Hmax/Mmax ratio)를 비교한 결과 자극 전에 비해 자극 후에 유의하게 증가되었다($p < .05$)(Figure 2).

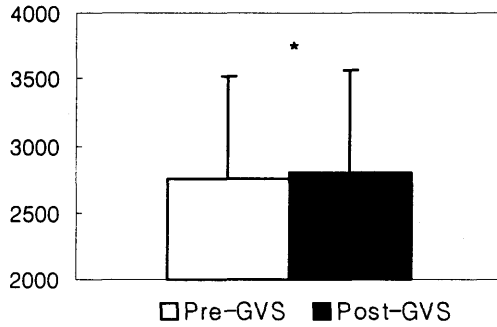


Fig 1. The compared of Hmax(μV) according to pre-GVS and post-GVS.

* $p < .05$ GVS; galvanic vestibular stimulation

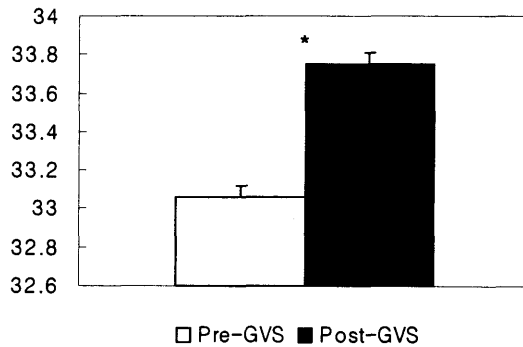


Fig 2. The compared of Hmax/Mmax ratio(%)

* $p < .05$ GVS; galvanic vestibular stimulation

IV. 고찰

전정기관은 측두골의 추체부에 위치하여 각가속도와 선가속도에 관여하는 중요한 기관으로 시각, 고유수용각과 함께 반사적 자세나 운동의 조절에 관여한다(Wilson과

Melville, 1979). 또한, 사지에서 반사적 운동 조절에 관여하는 전정척수반사는 머리의 움직임에 의해 발생된 전정수용기의 신호가 전정신경핵에 영향을 미치며, 이는 내측과 외측 전정척수신경로를 경유하여 척수전운동신경원으로 전달되어 골격근의 수축에 관여하여 반사적 자세조절에 관여하는 것으로

알려져 있다(Wilson과 Peterson, 1981).

전정계의 영향을 평가하기 위한 실험적 방법으로 이용되고 있는 평류전정자극은 전정신경의 구심성 방전율에 불규칙한 영향을 미치며(Goldberg 등, 1984), 음극 하에서는 탈분극과 양극 하에서는 과분극(Goldberg 등, 1984; Courjon 등, 1987)이 일어나서 자극의 극성과 자극부위에 따라 양극자극은 동측의 동요 그리고 음극자극은 반대측 동요가 유발되고(Lund와 Broberg, 1983), 특히 음극자극에서 전정신경의 구심성 발화율을 일반적으로 증가시키는 것(Minor와 Goldberg, 1991)으로 알려져 있다. 평류전정자극의 양측(binaural)적용 시 반응은 양극에서 전정신경의 투입을 억제하여 귀의 방향으로 평형자세가 기운다. 이는 전정기능장애 환자와 유사하며(Inglis 등, 1995; Day 등, 1997), 급성 편측 전정계 소실은 같은 쪽으로 기울이는 자세동요가 있다(Curthoys와 Halmagyi, 1995).

또한, 평류전정자극시의 머리와 체간의 정렬에 따라 신경흥분성에 서로 다른 영향을 미치는 것으로 알려져 있는데(Kennedy와 Inglis, 2002), 머리회전은 비복근에서 측정된 H 반사의 진폭에 영향을 주며(Kennedy와 Inglis, 2001), 머리의 위치와 극성에 따라 촉진과 억제효과가 나타나는 것으로 알려져 있다. 좌측 머리회전 시의 평류전정자극은 억제시키고 우측 머리회전 시는 촉진시킨다는 보고(Hayes와 Sullivan, 1976; Traccis 등, 1987)에 반하여, 이 연구에서는 젊은 정상인을 대상으로 평류전정자극에 따른 척수신경원의 흥분성에 대한 영향을 알아보기 위하여 좌측 머리회전 위치

에서 우측-음극, 좌측-양극 자극을 실시하여 자극 전·후의 H 반사를 검사하였다. 그 결과에서 M과 H의 잠복시와 M최대 진폭은 유의성이 없었으나, H최대 진폭과 H최대 진폭/M최대 진폭의 비율이 증가되는 것으로 나타나, Kennedy와 Inglis(2002)의 최근 연구에서 머리의 좌측회전은 촉진시키고 우측회전은 억제시키며, 최대 촉진효과는 좌측 머리회전 위치에서 음극자극, 최대 억제효과는 우측 머리회전 위치에서 양극자극에서 나타난다는 보고와 일치하는 것이다. 따라서 평류전정자극은 전정신경을 표적으로 한 자극이라 할 수 있으며, 좌측 머리회전 시에서 척수신경원의 흥분성을 증가시키는 것을 알 수 있다. 평류전정자극과 목의 운동이 비복근의 운동신경원 풀의 흥분성 조절과 얼마나 관련되는가는 불분명하지만 H 반사의 진폭변화에서 그 가능성을 찾을 수 있으며, 이에 대한 여러 연구에서 보면, 머리의 위치는 운동신경원 풀(motoneuron pool)의 흥분성에 영향을 주며(Hayes와 Sullivan, 1976; Traccis 등, 1987; Kennedy와 Inglis, 2002), 이 기전은 전정신경핵의 신경원들은 경부와 전정신경의 구심성 신경 흥분을 동시에 전달받고 있으며(Wilson, 1991), 전정계는 긴장성 하행성 영향을 주어 연접 전 억제기전을 조절하여(Manzoni, 1988; Pompeiano, 1988) 하지의 운동신경원의 역치에 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 따라서 구심성 전정신경의 방전 특성의 변화는 망상척수로 또는 전정척수로를 통하여 하행성으로 척수 운동신경원에 영향을 미치게 되어(Britton 등, 1993) 비복근의 H 반사의 진폭을 변화시킨다는 것이다.

최근 들어 평류전정자극에 대한 신경생리학적 연구가 많이 진행되고 있는데, 주목할 만한 것은 전정계의 평가뿐만 아니라 치료적인 접근도 이루어지고 있다는 것이다. 평류전정자극이 인간의 자세안정을 강화하며 (Scinicariello 등, 2001), 전정증상을 치료하고 보상작용을 촉진시킬 수 있다(Park 등, 2001). 또한, 손상측 전정기관에 생체신호와 유사한 조건의 전기자극을 가하면 자극동안에 전정증상이 소실되며, 또한 전정보상작용이 촉진시켜 자세 부조화뿐만 아니라 혈압 변동이나 멀미증 같은 전정 자율신경증상의 치료에 이용할 수 있다(Park 등, 2001)는 것이다. 따라서 앞으로 임상적으로 전정 기능장애 환자의 치료에 있어 평류전정자극에 대한 전기생리학적 치료의 가능성에 대한 더 많은 연구가 필요하리라 본다.

결론적으로 실험적으로 적용된 단속평류 전기자극을 이용한 전정계 자극은 전정 척수반사에 영향을 미치는 것으로 나타나 자세 및 균형조절 장애에 대한 평류전정자극의 임상활용 가능성이 매우 높을 것으로 생각된다.

V. 결론

이 연구는 전정계 자극을 위해 실험적 방법으로 이용되고 있는 평류전정자극이 척수신경원의 흥분성에 미치는 영향을 알아 보기 위하여 20대의 정상인 16명을 대상으로 좌측 머리회전과 옆드려 누운 자세에서 우측-음극, 좌측-양극의 양극방식의 평류전정

자극을 실시하여 비복근의 H반사를 측정 한 결과는 다음과 같다.

1. 평류전정자극은 H최대 진폭을 증가시키는 것을 알 수 있었다($p < .05$)
2. 평류전정자극은 H최대 진폭/M최대 진폭 비를 증가시키는 것을 알 수 있었다 ($p < .05$).

결론적으로 평류전정자극은 전정척수수와 척수신경원의 흥분성에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- Bacsi AM, Watson SRD, Colebatch JG : Galvanic and acoustic vestibular stimulation activate different populations of vestibular afferents. *Clinical Neurophysiology*, 114;359-365, 2003.
- Bishop B, Machover S, Johnston R, et al : A quantitative assessment of gamma-motor neuron contribution to the accilles tendon reflex in normal subjects. *Arch Phys Med Rehabil*. 49;145-154, 1968.
- Brandt T, Daroff RB. : The multisensory physiological and pathological vertigo syndromes. *Ann Neurol*. 7;194-203, 1980.
- Britton TC, Day BL, Brown P et al. : Postural electromyographic responses in the arm and leg following galvanic vestibular stimulation in man. *Exp*

- Brain Res. 94;143-151, 1993.
- Burke D, Adams RW and Skuse NF : The effect of voluntary contraction on the H-reflex of human limb muscle. *Brain*. 112;417-433, 1989.
- Cauquil AS, Bousquet P, Salon M-CC et al. : Monaural and binaural galvanic vestibular stimulation in human dynamic balance function. *Gait and posture*. 6;210-217, 1997.
- Courjon JH, Precht W, Sirkin DW : Vestibular nerve and nuclei unit responses and eye movement responses to repetitive galvanic stimulation of the labyrinth in the rat. *Exp*. 96-102, 1987.
- Curthoys IS, Halmagyi GM : Vestibular compensation: a review of the oculomotor, neural and clinical consequences of unilateral vestibular loss. *J. Vestibular Res*. 5;67-107, 1995.
- Day BL, A Severac Cauquiel, L Bartolomci et al. : Human body-segment tilts induced by galvanic stimulation. a vestibularly driven balance protection mechanism. *J Physiol*. 500;661-672, 1997.
- Goldberg JM, Smith CE, Fernandez C : Relation between discharge regularity and responses to externally applied galvanic currents in vestibular nerve afferents of the squirrel monkey. *J Neurophysiol*. 51;1236-1256, 1984.
- Greenwood R, Hopkins A : Muscle responses during sudden falls in man. *J Physiol(Lond)*. 254;507-518, 1976.
- Hayes KC, Sullivan J : Tonic neck reflex influence on tendon and Hoffmann reflexes in man. *Electromyogr Clin Neurophysiol*. 16;251-261, 1976.
- Horak FB, Shupert CL, Dietz V et al. : Vestibular and somatosensory contributions to head and body displacements in stance. *Exp Brain Res*. 100;93-106, 1994.
- Inglis JT, Macpherson JM : Bilateral labyrinthectomy in the cat: effects on the postural response to translation. *J Neurophysiol*. 73;1181-1191, 1995.
- Inglis JT, Shupert CL, Hlavacka F et al. : Effect of galvanic vestibular stimulation on human postural responses during support surface translations. *J Neurophysiol*. 73;896-901, 1995.
- Kennedy PM, Inglis JT : Modulation of the soleus H-reflex in prone human subjects using galvanic vestibular stimulation. *Clin Neurophysiol*. 112; 2159-2163, 2001.
- Kennedy PM, Inglis JT : Interaction effects of galvanic vestibular stimulation and head position on the soleus H reflex in humans. *Clinical Neurophysiology*. 113; 1709-1714, 2002.
- Koceja DM, Markus CA, Trimble MH : Postural modulation of the soleus H reflex in young and old subjects. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*. 97;387-393, 1995.
- Lund S, Broberg C : Effects of different

- head positions on postural sway in man induced by a reproducible vestibular error signal. *Acta Physiologica Scandinavica*. 117;307-309, 1983.
- Manzoni D : Convergence of macular and neck inputs on vestibulospinal and reticulospinal neurons projecting to the lumbosacral cord. *Prog Brain Res*. 76;145-154, 1988.
- McIlroy WE, Bishop DC, Staines WR et al. : Modulation of afferent inflow during the control of balancing tasks using the lower limbs. *Brain Research*. 961;73-80, 2003.
- Minor LB, Goldberg JM : Vestibular-nerve inputs to the vestibulo-ocular reflex: a functional- ablation study in the squirrel monkey. *J Neurosci*. 11;1636-1648, 1991.
- Park BR, Kim MS, Kim JH et al. : Effects of acute hypotension on neuronal activity in the medial vestibular nuclei of rats. *Neuroreport*. 12;3821-3824, 2001.
- Pompeiano O : The role of Renshaw cells in the dynamic control of posture during vestibulospinal reflexes. *Prog Brain Res*. 76;83-95, 1988.
- Scinicariello AP, Eaton K, Inglis JT et al. : Enhancing human balance control with galvanic vestibular stimulation *Biol Cybern*. 84;475-480, 2001.
- Tarkka IM and Larson TA : Change of electrically elicited reflexes in hand and hand forearm muscle in man. *Am J Phys Med Rehabil*. 66;308-311, 1987.
- Traccis S, Rosati G, Patraskakis S et al. : Influences of neck receptors on soleus motoneuron excitability in man. *Exp Neurol*. 95;76-84, 1987.
- Welgampola MS, Colebatch JG : Selective effects of ageing on vestibular-dependent lower limb responses following galvanic stimulation. *Clinical Neurophysiology*. 113;528-534, 2002.
- Watson SRD, Colebatch JG : EMG responses in the soleus muscles evoked by unipolar galvanic vestibular stimulation. *Electroenceph clin Neurophysiol*. 105;476-483, 1997.
- Willson VJ, Melvill JG : Mammalian vestibular physiology. Plenum Press: New York. 1979.
- Willson VJ, Peterson BW : Vestibulospinal and reticulospinal system. In : *Handbook of physiology. The nervous system*, edited by HH Komhuber. Berlin : Springer-Verlag. 667-702, 1981.
- Wilson VJ : Vestibulospinal and neck reflexes: interaction in the vestibular nuclei. *Arch Ital Biol*. 129;43-52, 1991.