

경피적 전기 신경 자극 전후에 시행한 H-반사 측정치 변화값의 검사자간 변이

노종래, 정호중*, 하호성*

고신대학교 의과대학 산업의학교실, 고신대학교 의과대학 재활의학교실*

Inter-examiner Variability of H-reflex Changes by Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation

Jong-Rae Roh, Ho-Joong Jeong*, Ho Sung Ha*

Department of Occupational & Environmental Medicine, Department of Physical Medicine & Rehabilitation,
Kosin University College of Medicine, Busan, Korea*

Abstract

Background : This study was designed to research the inter-examiner variability of H-reflex changes by the transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS).

Materials and Methods : The H-reflexes were recorded in a healthy subjects by a standardized method of Braddom and Johnson. Electromyogram was performed on a healthy man by 30 examiners. A healthy man were stimulated by TENS for 20 min. The onset latency, amplitude, and H/M ratio of H-reflex were measured before, and immediately, after TENS. Statistical analysis was done with paired t-test and student t-test of SPSS for windows (version 11.0).

Result : Onset latency of H-wave and M-wave was significantly delayed immediately after TENS ($p < 0.05$) but H-amplitude, M-amplitude and H/M ratio was not significantly changed ($p > 0.05$). Onset latency of H-wave showed no inter-examiner bias ($p > 0.05$), but H-amplitude, M-amplitude and M-latency showed inter-examiner bias on repeated test ($p < 0.05$).

Conclusion : In the H-reflex measurements, only H-latency showed no inter-examiner bias. These results suggest that H-latency can be used as a experimental value, but not H-amplitude, M-amplitude and M-latency. And H-reflex measurements should optimally be performed by a skilled examiner to minimize the degree of variability associated with different examiner.

Key words : Transcutaneous electrical nerve stimulation, H-reflex Inter-examiner variability

서론

H-반사는 제 1 천추근 병변인 경우 양측 잠시 차이와 H-반사의 편측 부재를 진단기준으로 하여 전산화 단층

촬영, 척수 조영술, 침 근전도 검사보다도 더 높은 민감도와 특이도를 나타내고 그 외 근위부를 침범하는 말초신경병증에서도 유용하게 사용된다. H-반사에서 H 잠시(Onset latency)는 신경 전도를 반영하며, H 진폭(Amplitude)은 척수전각세포의 흥분도를 나타낸다. 이런 H-반사의 특성을 이용하여 많은 연구자들은 전기 자극 치료 등에 의한 인체의 신경에 미치는 영향에 관한 연구에 널리 이용되어져 왔으며 경피적 전기 신경 자극 전, 후에 측정되는 H-반사의 변화를 규명하기 위한 연구들

교신저자 : 정 호 중

TEL. 051-990-6481 FAX. 051-241-2019

E-mail: hjjeong@ns.kosinmed.or.kr

이 널리 시행되어 왔다. 그러나 기존의 연구들은 검사자간 측정치의 변이를 고려하지 않았다는 취약점이 있다. 이에 저자들은 경피적 전기 신경 자극 전, 후에 H-반사의 검사자에 따른 측정치 변화값의 변이를 분석하여 경피적 전기 자극 전, 후 변화하는 H-반사의 측정치 변화값의 통계적 유의성을 검증하고자한다.

연구 대상 및 방법

1. 연구 대상 및 방법

하루 30분에 3일에 걸쳐 H-반사 검사법 기본 교육을 이수한 30명의 일반의사로 구성된 검사자들이 신경학적 이상이 없는 성인 남자 1명을 피검자로 하여 매일 동일한 시각과 장소에서 1회씩 30일간 30회 H-반사를 측정하였다.

검사 자세는 침대위에서 복와위를 취하고 슬관절은 신전상태로 발목을 침대 밖으로 내린 자세를 취하고 머리 위치는 최대한 이완시켜 기록 근육의 활동도가 보이지 않는 상태에서 검사를 시행하였다.

기록 전극은 Braddom과 Johnson^{1,2)}의 방법에 준하여 슬와부 주름의 중앙과 내과(medial malleolus) 까지 선을 연결하고 이선의 정중앙이 되는 곳의 가자미근 내측 근복에 부착하였고 기준 전극은 아킬레스건을 따라 15 cm 원위부에 부착하였다. 자극 전극은 양극 전극을 이용하여 음전극이 근위부로 위치하게 하여 슬와부 주름에서 가장 H반사가 크게나오는 곳을 찾아 후경골 신경을 자극하였고, 접지전극은 자극전극과 기록 전극 사이에 부착하였다.

경피적 전기 신경 자극을 적용하지 않고 H반사를 측정한 뒤 슬와부 상방에서 주파수 100 Hz, 기간 20 분으로 경피적 전기 신경 자극을 하여 전, 후에 M파 및 H파의 잠시와 진폭, M파에 대한 H파의 진폭 비를 측정하였다. 이때 잠시는 기저 선에서 처음 편향되는 점까지의 기저 잠시로, 진폭은 정점 간 최대진폭으로 측정하였다.

H-반사의 잠시 측정은 감각 섬유만 자극하기 위하여 약한 자극으로 시작하여 최대자극하의 강도에서 H파를 구하였다. 강도를 높이면 H파의 진폭이 증가하고, 더욱 높이면 운동 신경 섬유가 자극되어 짧은 잠시의 M파가 나오고 계속 높이면 M파의 진폭이 증가하면서 H파는

소실되는 것으로 H파를 확인하였다.

근전도 기기는 미국 Cadwell사 Excel electromyograph를 사용하였고, filter setting은 low cut은 10 Hz, high cut은 10,000 Hz로 하였고, 민감도는 1-5 mV/division으로 소인속도(sweep speed)는 10 ms/division으로 하였으며, 자극은 1 msec square wave current pulses를 주었다. 또한 전극 부착 부위와 거리는 고정하지 않았다.

2. 통계 분석

검사결과에 대한 자료 분석은 윈도우용 SPSS (Statistical Package for the Social Science) 통계프로그램 (Version 11.0, 2002 U.S.A.)을 이용하였다. 30회의 실험 결과로 얻은 자극 전과 후의 M파와 H파의 잠시, 진폭의 평균과 표준 편차를 구하기 위해 기술 통계를 시행 하였으며 자극 후의 값이 자극 전과 유의하게 다른지 알기 위해 대응 표본 t-검정을 시행하였다.

그 후 검사자간의 변이를 보기 위해 자극 전, 후 값의 차이를 구하고 이 차이값들을 정규 분포화하여 Mean $\pm$ 2SD(standard deviation)내에 포함되는 값과 그렇지 않은 값 두개의 그룹으로 분류하였으며 독립 표본 t-검정 후 두 그룹 사이에 차이가 없으면 검사자간 변이가 없는 것으로 두 그룹 사이에 차이가 있으면 검사자간에 변이가 있는 것으로 간주하였다. 자료 분석시 유의 수준은 0.05로 하였으며 측정치는 평균 $\pm$ 표준 편차(S.D. : standard deviation)로 표시하였다.

결 과

1. 전기 치료 후의 M파 및 H파의 잠시와 진폭의 변화

슬관절 상방에서 20 분간 경피적 전기 신경 자극 후 M파와 H파의 잠시는 자극 전에 비해 유의하게 지연되었으며, M파와 H파의 진폭은 유의한 변화가 없었다 (Table 1).

2. M파와 H파의 전위와 잠복기의 검사자간 비교

상기 변화 값들의 검사자간의 변이를 보기 위해 자극 전, 후 잠시와 진폭의 차이를 구하고 이 차이값들을 정규 분포화하여 Mean $\pm$ 2SD(standard deviation) 내에 포함되는 값과 그렇지 않은 값 두개의 그룹으로 분류하였

으며 이 두 그룹 간에 통계학적으로 유의한 차이가 있는지 알기 위해 독립 표본 t-검정을 시행하였다. 독립 표본 t-검정 후 두 그룹 사이에 차이가 없으면 검사자간 변이가 없는 것으로 두 그룹 사이에 차이가 있으면 검사자간에 변이가 있는 것으로 간주하였다. M파 잠시 및 진폭 변화값과 H파 진폭 변화값은 검사자간의 변이가 있는 것으로 나타났으며, H파 잠시의 변화값만이 검사자간의 변이가 없는 것으로 나타났다(Table 2).

Table 1. Comparison of the Onset-latencies and Amplitudes between Pre-TENS and Post-TENS

	Pre-TENS	Post-TENS	P
M-latency (msec)	3.0±0.3	3.5±0.5*	0.00
H-latency (msec)	25.5±0.2	26.0±0.2*	0.00
M-amplitude (mV)	3.9±0.1	4.0±0.6	0.42
H-amplitude (mV)	5.8±0.9	6.1±0.6	0.25
Amplitude ratio(H/M)	1.5±0.4	1.9±0.9	0.14

Values are mean ± S.D.

*p-value<0.05

Table 2. Standardization of Changed Value between Pre-TENS and Post-TENS

	within Mean±2SD(N)	out of Mean±2SD(N)	P
M-latency (msec)	0.22±0.03 (19)	1.53±0.01* (11)	0.000
M-amplitude (mV)	0.61±0.18 (21)	2.49±0.54* (9)	0.011
H-latency (msec)	0.47±0.02 (27)	1.54±0.12 (3)	0.367
H-amplitude (mV)	0.42±0.03 (23)	0.50±0.07* (7)	0.016

Values are mean ± S.D.

*p-value<0.05

고 찰

H-반사는 경골신경을 최대 자극보다 약하게 자극하면 비복근에서 초기 활동 전위와 후기 활동 전위가 보이는데 전자를 M파, 후자를 H파라고 한다. H-반사는 구심성 신경 섬유가 감각 신경인 Ia 신경 섬유를 거쳐 척수의 후각으로 들어가 척수 내에서 단일 시냅스 반사궁을 거쳐 운동 신경인 A-alpha 신경섬유를 타고 돌아오는 반사와

이다. 유아 시에는 거의 모든 근육에서 기록이 되지만 성인이 되면 정상적으로 제 1천추의 지배를 받는 비복근에서 기록이 잘 되고 그 외에 가자미근, 요완굴근, 전경근 등에서도 기록이 된다³⁾.

H-반사는 전기진단 검사방법의 하나로서 임상적으로 이용가치가 무척 높는데 특히 제 1천추근 병변인 경우에는 전산화 단층촬영, 척수 조영술, 침 근전도 검사보다도 더 높은 민감도와 특이도를 나타내고 그 외에도 주로 근위부를 침범하는 말초신경병증에서도 유용하게 사용된다. 특히 제 1천추 신경근병변에서의 전기진단적 유용성은 대부분 양측 잠시차이와 H-반사의 편측 부재를 진단 기준으로 제시하고 있다^{1,2),4-6)}.

그러나, 양측 잠시차이의 경우 Braddom과 Johnson^{1,2)}은 양측의 차이가 1.5 msec 이상일 경우, Notermans와 Vingerhoets⁷⁾, Rosselle와 Fischer 등⁶⁾은 양측의 차이가 2.0 msec 이상일 경우 임상적 의의가 있다고 보고하는 등 보고자마다 진단 기준의 차이가 심하다. 또한 H-반사의 진폭은 자극에 따라 변이가 심하고 중추 신경계의 영향이 많으며 환자의 자세나 긴장 완화의 정도, 전기자극의 강도 및 지속 기간, 전극의 위치, 연령, 온도 등에 의해 많은 영향을 받는다^{8,9)}. 따라서 개개인의 차이는 물론 한 사람에 있어서도 변이가 큰 것으로 알려져 있으며¹⁰⁻¹²⁾ 이는 알파 운동 신경원에 영향을 주는 요인이 많기 때문이다. 이처럼 문헌상으로 H반사의 진폭의 변이성에 대한 보고는 다수 있었으나¹³⁻¹⁶⁾ H-반사 잠시와 진폭의 검사자간 변이에 대한 연구는 별로 많지 않은 실정이다.

이에 본 연구에서는 검사자간 변이를 보기 위해 경피적 전기 신경 자극(transcutaneous electrical nerve stimulation: 이하 TENS) 전, 후 잠시와 진폭 차이값을 구하고 이 값들을 정규 분포화하여 Mean ± 2SD(standard deviation) 내에 포함되는 값과 그렇지 않은 값 두개의 그룹으로 분류하고 독립 표본 t-검정 후 두 그룹 사이에 차이가 없으면 검사자간 변이가 없는 것으로 두 그룹 사이에 차이가 있으면 검사자간에 변이가 있는 것으로 간주하였다.

그 결과 TENS 전후에 M파 잠시 및 진폭의 변화는 검사자간의 변이가 있는 것으로 나타났고 H파의 경우에는 잠시만 검사자간의 변이가 없는 것으로 나타났다.

1970년대 초기부터 TENS의 이용은 기계의 발전과 더불어 상당한 발전을 보여 왔으며, TENS를 임상에 적용하는 방법은 동통을 유발하는 부위를 직접 자극하거나, 동통을 일으키는 부위와 관련된 피부 분절이나 신경을 자극하는 등의 방법^{12,17)}이 있는데 자극부위에 대한 효과는 객관적으로 입증되지 못하고 환자의 증상에 따라 여러 가지 방법으로 시행하여 시각 지수 계수화 등과 같은 주관적인 방법을 이용하여 평가하고 있다.

TENS의 효과에 대해서는 아직도 의견이 많지만 기본적인 이론 근거는 Melzack과 Wall의 관문 조절설에 기초한 말초 및 중추신경계의 작용이 많이 거론되고 있으며^{18,19)} 그 밖에 말초신경에서의 전도 차단설과 중추신경계에서의 endorphin의 역할 그리고 자율신경계의 변화가 강조되고 있다²⁰⁾.

TENS의 말초 신경계에 대한 동통 억제 작용은 주로 고빈도, 저강도에 의한 고식적 TENS의 작용 기전으로 관문조절설과 말초신경의 전도차단설로 설명되고 있다^{21,22)}. 관문 조절설은 동통을 느끼지 않을 정도의 TENS에 의해 굵은 신경섬유가 자극되어 동통을 전달하는 가는 신경섬유의 자극전달을 척수신경의 배각에서 접합하기 전에 억제하며 또 뇌에서 내려오는 원심성 자극에 의해 다소 조절된다는 가설이다²³⁾. 따라서 TENS를 임상에 적용할 경우에는 굵은 신경섬유를 자극시키는 것이 합당하다고 하였다²⁴⁾. Swett 등은 무수 신경 섬유는 2-5 Hz에서 전도차단이 일어나며 자극빈도가 높아지면 직경이 더 작은 신경 섬유에서 강한 자극은 직경이 보다 큰 신경 섬유에서 전도 차단을 일으킨다고 하였다¹⁸⁾. Martin은 진통에 대한 TENS의 효과 연구에서 경피적 전기 신경 자극은 주로 A-beta와 A-delta 신경 섬유를 자극시키고 자극 빈도를 점차 증가 시키면 신경 섬유의 절대 불응기의 효과에 의해 jitter가 증가하고 전도차단이 생겨 동통을 경감시킬 수 있으나 말초신경에서의 전기신경검사에서는 변화가 나타나지 않았다고 보고하였다²²⁾.

TENS의 즉각적이고 단시간의 말초신경 전도 차단설은 고빈도의 TENS에 의해 신경섬유가 절대 불응기가 되거나 고빈도의 TENS가 더 말초부위로부터의 자극과 서로 충돌되어 말초부위 자극의 구심성 전달이 불가능해 진다는 가설이다²⁰⁾.

1991년 박 등²⁵⁾은 말초신경에 TENS를 가하여 자극 부

위를 경유하는 말초신경전도 검사를 시행한 결과 잠시의 지연 및 진폭의 감소를 보고하여 전기자극의 신경차단효과를 입증한 바 있다. 이러한 말초신경의 전기 자극 후 신경 흥분의 전도 차단 현상에 대해 Bostock 등은 고주파의 전기자극에 대해서 세포막의 과분극을 일으켜 탈분극에 의한 역치를 증가시킨다고 하였고 이러한 과분극은 세포내 Na 농도의 증가로 인한 Na/K pump 활성의 증가에 기인한 것으로 보고하였다²⁶⁾.

그러나 한 등²⁷⁾의 연구에서는 TENS 후 시행기간의 장단에 상관없이 자극 직후 측정된 H-반사의 잠시가 자극 전보다 느려져 있어 TENS가 H-반사를 억제한다는 것을 증명하였고 자극 15분 후 혹은 30분 후에 측정된 H-반사의 여러 측정치에서는 통계학적으로 유의한 지속적인 차이를 발견할 수 없었으나 Willer는 비골 신경 손상으로 M파에 대한 H파의 진폭비가 증가되어 있는 환자에서 TENS를 시행한 후 M파에 대한 H파의 진폭비가 정상으로 감소되었으며 그 효과가 30분 이상 지속되었다고 보고한 바 있으며²⁸⁾, 1981년에 Francini 등은 TENS 후에 정상 성인에서 H파의 진폭이 감소했으며 30분에야 정상으로 회복되었다고 보고한 바 있었다²⁹⁾.

1993년 이 등³⁰⁾은 전기자극에 대한 인체의 전기생리학 반응을 연구하기 위하여 중추 및 말초신경에 이상이 없는 건강한 성인 남녀를 대상으로 TENS를 시행한 후 경골신경의 말초신경 전도 검사와 H-반사 등을 시행하여 전기치료는 원위부 말초신경계에는 의미있는 변화를 가져오지 않으나 치료적 강도의 전기자극이 척수 또는 신경근을 포함하는 척수부 위에서 전도성을 억제하는 것으로 보고하였다. 또한 1996년에는 100 Hz TENS를 가한 후 자극 부위보다 근위부에서 신경생리학적 검사를 시행하여 경골신경 운동신경전도의 잠시, H-반사의 잠시, F파의 전위기간, 경골신경과 비복신경의 체성감각 유발전위의 P1잠시가 조건 자극 후 유의하게 증가됨을 보고하여³¹⁾ 자극부위보다 근위부에서 전도성이 느려지는 감각신경섬유가 unmyelinated small fiber일 가능성과 신경절 이상 부위에서의 억제 가능성을 설명하였다.

H-반사에서 H파의 잠시는 척수 내에서 척수전각세포와 관련된 신경전도를 의미하고, H파의 진폭은 척수전각세포의 흥분도를 나타내며, M파에 대한 H파의 진폭비는 Ia 구심성 신경에서 척수전각세포로 가는 신경전달

을 정량적으로 측정 한 것으로 단일연접 반사궁을 통해 동원되는 운동신경원의 수를 나타낸다³²⁾.

본 연구에서 TENS 후 H파 잠시 및 M파의 잠시는 지연되었고, H파 및 M파의 진폭과 M파에 대한 H파의 진폭비는 변화가 없는 것으로 관찰되었다. 또한 H파의 잠시만 검사자간 변이가 없는 것으로 관찰되었으므로 TENS 시행 후 신경 섬유 전도 지연에 의한 잠시 지연은 추정할 수 있다. 하지만 척수 전각세포의 흥분도에 대한 것은 검사자간 변이를 고려한 새로운 연구가 필요할 것으로 생각되며 H-반사는 검사자간 신뢰도가 낮고 변이가 크므로 근전도 검사의 추적은 같은 검사자에 의해 시행되어야 할 것으로 생각되어진다.

결 론

본 연구에서는 진단 방식의 비교가 아닌 검사자간에 발생할 수 있는 오차를 연구하여 H-반사 측정치 변화값의 통계적 유의성을 검정하고자 하였다. TENS 후 M파 및 H파 잠시는 유의하게 지연되었으며 진폭의 변화는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 그러나 H파 잠시만이 검사자간 변이가 없어 실험값으로서 유용성을 갖는다. 따라서 H-반사는 동일한 검사자에 의해 추적검사를 해야 할 것으로 생각되며 정확한 H-반사 검사를 위해서는 일정기간 이상의 전문적인 교육 과정이 필요하다는 결론을 얻을 수 있었다.

참고문헌

1. Braddom RI, Johson EW : Standardization of H reflex and Diagnosis uses in S1 radiculopathy. Arch Phys Med Rehabil 55:161-166, 1974
2. Braddom RI, Johson EW : H reflex. Review and classification with suggested clinical uses. Arch Phys Med Rehabil 55:412-417, 1974
3. Dumitru D : Electrodiagnosis medicine, 2nd ed, H&B Mosby, 244-251, 2002
4. 김은이, 김봉옥, 윤승호, 강낙규 : 요천추 신경근 병변에서의 H반사 검사의 진단적 가치. 대한 재활의학회지 14:219-226, 1990
5. Aiello I, Serra G, Tugnoli V, Cristofori MC, Migliore A, Roccella P, Rosati G : Electrophysiologic findings in patient with disc prolapse. Electromyogra Clin Neurophysiol 24:313-320, 1984
6. Fischer MA, Shivde AJ, Teixeira C, Grainer LS : Clinical and

electrophysiologi cal appraisal of the significance of radicular injury in back pain. J Neurol Neurosurg psychiat 41:303-306, 1978

7. Notermans SLH, Vingerhoets HM: The importance of the Hoffman-reflex in the diagnosis of lumbar root lesion. Clin Neurophysiol 1:54-65, 1974
8. Dhand UK, Das SK, Chopra JS : Patterns of H-reflex abnormality in patient with low back pain. Electromyogr Clin Neurophysiol 31:209-213, 1991
9. Nishida T, Kompoliti A, Janssen I, Levin KF : H reflex in S1 radiculopathy: Latency versus amplitude controversy revisited. Muscle Nerve 19:915-917, 1996
10. Koceja DM, Trimble MH, Earles DR : Inhibition of soleus H-reflex in standing man. Brain Res 629:155-158, 1993
11. Kukulka CG, Haberichter PA, Mueksch AE, Rohberg MG : Muscle pressure effects on motor neuron excitability. Phys Ther 67 : 1720-1722, 1987
12. Kottke FI, Lehmann JF : Krusen's handbook of physical medicine and rehabilitation, WB Saunders, 375-432, 1980
13. Dumitru D : Electrodiagnostic medicine, 1st ed, H&B Mosby, 196-197, 435-437, 543-543, 1995
14. Jankus WR, Robinson LR, Little JW : Normal limits of side-to-side H-reflex amplitude variability. Arch Phys Med Rehabil 75:3-7, 1994
15. McIlroy WE, Brooke JD : Within-subject reliability of the Hoffmann reflex in man. Electromyogr Clin Neurophysiol 27:401-404, 1987
16. Nishdia T, Kompoliti A, Janssen I, Levin KF : H reflex in S-1 radiculopathy: latency versus amplitude controversy revisited. Muscle Nerve 19:915-917, 1996
17. Ruskin A : Current therapy in physiatry, WB Saunders, Philadelphia, 161-191, 1984
18. John ES, Law JD : Analgesia with peripheral nerve stimulation: Absence of a peripheral mechanism. Pain 15:55-70, 1983
19. Melzack R, Wall PD : Pain mechanism: A new theory, a gate control system modulates sensory input from the skin before it evokes pain perception and response. Science 150:971-979, 1965
20. Campbell JN, Taub A : Local analgesia from percutaneous electrical stimulation: a peripheral mechanism. Arch Neurol 28:347-350, 1973
21. Golding JF, Ashton H, Marsh R, Thompson SW : Transcutaneous electrical nerve stimulation produces variable changes in somatosensory evoked potentials, sensory perception and pain threshold: clinical implication for Pain relief. J Neuro Neurosurg Phychiat 48:1397-1404, 1986
22. Janko M, Trontelj JV : Trontelj, Transcutaneous electrical nerve stimulation: A microneurographic and peripheral study. Pain 9:219-230, 1980
23. Melzack R, Wall PD : Pain mechanism: A new theory, a gate control system modulates sensory input from the skin before it evokes pain perception and response. Science 150:971-979, 1965

경피적 전기 신경 자극 전후에 시행한 H-반사 측정치 변화값의 검사자간 변이

24. Denis S, Melzak R: Pain-signaling in the dorsal and ventral spinal cord Pain 4:97-132, 1977
25. 박인선, 구영일 : 50Hz의 전기자극에 의한 말초신경 전도의 변화에 대한 연구. 대한 재활의학회지 15:220-225, 1991
26. Bostock H, Grape P : Activity-dependent excitability changes in normal and demyelinated rat spinal root axons. J Physiol 365:239-257, 1985
27. 한태륜, 전민호, 장원철 : 고주파 경피적 전기신경자극치료가 H-반사에 미치는 효과에 대한 연구. 대한재활의학회지 19:601-606, 1995
28. Willer JC : Relieving effect of TENS on painful muscle contraction produced by an impairment of reciprocal innervation: an electrophysiological analysis. Pain 32:271-273, 1988
29. Francini F, Maresca M, Procacci P : The effect of non-painful transcutaneous electrical nerve stimulation on cutaneous pain threshold and muscular reflexes in normal men and in subjects with chronic pain. Pain 7 11: 49-63, 1981
30. 이청기, 강안기, 박현, 김종철, 이삼철 : 전기 자극 치료가 인체에 미치는 영향(I): 전기생리학적 평가. 대한 재활의학회지 17:235-243. 1993
31. 이청기 : 전기자극에 대한 신경생리학적 반응: 원위부 말초 신경자극. 대한재활의학회지 15:220-225, 1996
32. Fisher MA : H reflexes and F waves: Physiology and clinical indications. Muscle Nerve 15:1223-1233, 1992