

성인의 Current Perception Threshold 예비조사

순천향대학교 의과대학 마취과학교실, 통증치료실 및 홍성의료원 마취과*

박 대 규 · 천 성 홍 · 전 재 수*
김 용 익 · 황 경 호 · 박 욱

= Abstract =

The Preliminary Study for Normative Current Perception Threshold values in the Korean Adults

Dae Gyu Park, M.D., Sung Hong Chun, M.D., Jae Soo Jeon, M.D.*
Yong Ik Kim, M.D., Kyung Ho Hwang, M.D. and Wook Park, M.D.

*Pain Clinic, Department of Anesthesiology, College of Medicine,
Soonchunhyang University, Seoul, Korea, Hongsung Medical Center, Chungnam, Korea*

Background: The Current Perception Threshold (CPT) provides an objective, quantitative gauge of sensory nerve integrity which is obtainable from any cutaneous site. CPT measurement can confirm and quantify or rule out dysfunction of nerve through comparison with established normative values (Neuval™ CPT database). The aim of this study is to compare collected data from Korean adults with Neuval™ CPT database.

Method: Normative data from 5 standard test site in face, hand, toe were obtained from 50 healthy adults. Three frequencies(5, 250, 2000 Hz) were stimulated with Neurometer® CPT device.

Results: The results of our data were statistically significantly different than Neuval data except in face, but within normal range. Sensory Threshold increased as the frequency of the stimulus changed from 5 Hz to 250 Hz to 2000 Hz., and from face to hand to toe.

Conclusion: CPT testing is a valuable neurologic testing modality that is noninvasive and highly reliable for diagnosis and evaluation of sensory nerves where neuropathy is suspected.

Key Words: Measurement technique: Current Perception Threshold; sensory nerve.

서 론

감각신경에 대한 전기자극은 18세기 중엽 이래로 지속적으로 연구되어 왔다. 최근까지 감각신경 장애를 평가는 pin, cotton, tuning fork 등의 기구를 이용하여 touch, pin-prick, vibration, joint position을 검사하거나 지각 역치를 정량화하기 어려운 신경전도검사에 주로 의존하고 있다. 정량적 감각신경 검사는 자극 및 반응의 신경생리학적 방법의 발달로 vibra-

tion, thermal, 전류지각역치(current perception threshold, CPT) 등을 이용하여 신경 손상을 정량화할 수 있다¹⁾.

최근에 기술적인 발달로 전류지각역치를 통하여 A_β, A_δ, C-섬유의 직접적이고 양적인 측정이 가능하게 되었다. 따라서 여러 가지의 신경병적 상태의 조기 진단이 가능하게 되었고 그에 따라 효과적인 치료를 할 수 있고 치료 결과를 추적에 이용할 수 있게 되었다. 또한 감각신경차단, 척추, 경막외 마취를 평가하는데 이용하여 감각신경의 기능적 변화 양상으로서 신경차단에서 회복되는 과정을 평가할 수

있다²⁾.

미국 neurometer사의 Quantitative Sensory Nerve Testing Device인 CPT/C는 microprocessor의 조절 하에 전기자극을 가해 신경섬유다발 중 선별적으로 특정 섬유만을 싸인곡선 모양의 빈도(sinusoid from frequency)로 자극하면, 2000-Hz 자극은 A_β, 250-Hz 자극은 A_δ, 5-Hz 자극은 C-섬유 의 반응을 유발시켜 전류자극역치를 구한다. 얻어진 측정값은 Neuval™ CPT database software에 입력된 정상치와 비교하여 지각과민(hyperesthesia)과 지각감퇴(hypoesthesia)의 정도를 평가해 낸다³⁾.

하지만 입력되어 있는 정상치는 조건이 다른 자원자들에 의해 만들어 졌고 자극 위치가 한정되어 있다. 또한 이에 본 교실에서는 통증치료실에서 신경의 병적상태를 조기 진단하고 치료 효과의 객관적 평가와 경과 추적에 이용하고 말초, 척추 그리고 경막외마취의 경과를 평가하는데 불편함이 없도록 자료를 보완하기 위하여 우선 Neuval™ CPT database software의 표준 검사 부위에서 정상치 예비조사를 시행하여 이를 비교하여 보았다.

방 법

신경병변이 없고 어떠한 약물도 복용하고 있지 않는 정상 성인중 자원자 50명을 대상으로 하였다.

CPT의 측정은 미국 neurometer사의 Quantitative Sensory Nerve Testing Device인 CPT/C를 이용하였다. 검사 부위는 상지는 좌우측 제1지(C6), 제3지(C7), 제5지(C8)를, 하지는 좌우측 제1지(L4), 얼굴은 좌우측 tragus 앞(삼차신경 2분지)를 선택하였고 각 검사 부위마다 1회 검사하였다.

conductive gel로 적용한 gold 전극 한 쌍을 검사 받을 부위의 체분절이나 표피신경부위에 전도성이 없고 늘어나지 않는 테이프로 고정한다. 측정 방식은 single-blind 검사법인 manual mode에서 시행하였다. 자극의 강도를 001(0.01 mA)부터 주기 시작하여 환자가 전류감각을 처음 느낄 때까지 증가시키는데 최고 범위는 999(9.99 mA)까지 강도를 조절할 수 있다. 환자가 전류감각을 느끼면 자극을 끄고 강도를 100 μA만큼 낮춘 다음 다시 자극을 준다. 이 과정을 반복하여 환자가 전류자극을 느끼기 시작하는 정도의 강도를 100 μA 정도의 오차 내에서 알아낸다. 그 다음 single-blind (manual) 또는 double-blind (microprocessor-controlled) test를 사용하여 환자에게 6회에서 10회 정도의 실제자극이나 거짓자극을 주어 20 μA의 오차 한계 내에서 CPT 값을 측정한다. 측정된 값과 Neuval™ CPT database software에 입력된 정상치와의 비교는 Epi-info 6.0 버전을 이용한 T-test로 하였고 남녀 사이 비교는 SPSS를 이용한 Independent T-test로 하였다.

Table 1. Comparison of Mean Values between Neuval and Our data

Test site	Stimulus frequency (Hz)	Neuval data(0.01mA)			Our data(0.01mA)		
		Mean ± SD	Min.	Max.	Mean ± SD	Min.	Max
V ₂	2000	118 ± 52	40	244	80 ± 32*	26	202
	250	19 ± 14	4	52	21 ± 12#	4	58
	5	10 ± 9	1	38	13 ± 0#	2	45
C _{6,7,8}	2000	226 ± 80	120	398	150 ± 29*	108	228
	250	81 ± 42	22	180	52 ± 16*	14	93
	5	46 ± 27	16	101	43 ± 15*	12	80
L ₄	2000	322 ± 110	179	523	226 ± 63*	123	487
	250	125 ± 52	44	208	110 ± 32*	49	238
	5	73 ± 34	18	170	59 ± 20*	21	113

#, *P < 0.05 vs Neuval data(normative values of Neuval™ database)

결 과

1) 성별 및 연령 분포

측정 대상의 연령 군은 남자가 21명, 여자가 29명이었고 20대가 58%, 30대가 36%였고 10대가 2명, 40대가 1명이었다.

2) 평균치의 비교

측정된 모든 CPT의 평균치는 Neupal™ CPT database software의 정상치 범위 내에 있었으며 하지에서 가장 높았으며 얼굴에서 가장 낮은 수치를 보였다.

평균치는 비교 자료에 비해 통계학적으로 의의 있게 낮았으나 얼굴에서 5 Hz, 250 Hz 측정시 의의 있게 높았다(Table 1).

3) 남녀, 좌우, 연령 군간의 평균치 비교

남녀간의 평균치 비교에서 250 Hz로 자극된 얼굴에서 여자가 높은 것을 제외하면 모두 남자가 높은 경향을 보였으나 얼굴, 상지, 하지의 2000 Hz 자극과 하지의 250Hz 자극에서만 통계학적으로 차이를 보였다(Table 2).

좌,우측간과 연령 군간의 평균치에는 차이가 없었다.

4) 자극 빈도간 및 자극 부위에 따른 평균치의 변화

같은 부위에서 자극 빈도를 5 Hz에서 250 Hz, 250 Hz에서 2000 Hz로 증가시켰을 때 지각 역치가 증가하였고 얼굴(V₂), 상지(C_{6,7,8}), 하지(L₄)의 순으로 역치가 증가하였다(Fig. 1).

고 찰

선택전류의 지각 역치를 통한 정량적인 말초신경 지각기능검사는 전기자극을 피부에 가했을 때 지각을 느낄 수 있는 최소한의 전류 량인 current perception threshold를 측정하여 A_β, A_δ, C-섬유의 지각과민과 지각감퇴의 두 가지 현상을 아프지 않은 전류자극을 통해 객관적으로 시행할 수 있는 신뢰도가 높은 검사방법이다. 이는 통증이 있는 신경병적

Table 2. Comparison of Mean Values between Male and Female

Test site	Stimulation frequency (Hz)	Male (Mean ± SD) (0.01mA)	Female (Mean ± SD) (0.01mA)
V ₂	2000	95 ± 37	68 ± 23*
	250	41 ± 56	18 ± 8
	5	23 ± 14	12 ± 10
C _{6,7,8}	2000	160 ± 27	142 ± 29*
	250	53 ± 17	52 ± 17
	5	48 ± 16	40 ± 14
L ₄	2000	249 ± 73	208 ± 58*
	250	114 ± 42	88 ± 37*
	5	65 ± 30	54 ± 18

*P value < 0.05 vs male

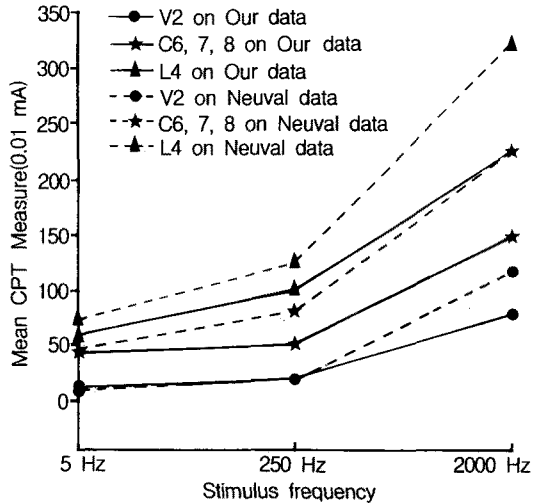


Fig. 1. Comparison of trend between neupal and our data according to stimulation site and frequency: Sensory threshold were increased as the frequency of the stimulus is changed from 5 Hz to 250 Hz and 2000 Hz, and from face to hand and toe.

상태의 환자를 초기에 평가할 뿐 아니라 치료 효과를 연속적으로 판정하는데 매우 유용한 수단이며 비침습적이고 간편한 진단방법이다. 더욱이 각각의

신경섬유에 해가 없는 자극을 가하여 통증 역치도 함께 측정할 수 있다³⁻⁴⁾.

CPT 자극은 지속적인 교류로서 조직의 impedance (예: 전류에 대한 조직의 저항) 변화에 영향을 받지 않도록 자극전류를 일정하게 표준화해 놓았다. 저항의 변화에 대해 항상 일정한 전류를 유지하는 능력이 있기 때문에 CPT 측정값에 신뢰성이 있게 된다⁵⁾. 피부의 두께, 부종, 이양성변화와 체온 변화는 조직의 저항을 변화시키고 nerve conduction velocity, somatosensory evoked potential, vibratory perception threshold, 그리고 thermal perception threshold에 영향을 주는 중요한 변수이다. 그러나 CPT 측정치는 피부의 변화나 대기의 온도에 의해 크게 영향받지 않는 것이 특징이다⁶⁾.

말초신경의 정량적인 지각검사는 기능적 검사로서, 신경전도검사와 같은 물리학적 검사나 magnetic resonance imaging(MRI)같은 방사선검사보다, 임상적으로 더욱 유용한 정보를 제공한다⁷⁾. Complete electrophysiologic conduction block이 있다고 해서 신경기능이 완전히 소실되었다고 단정할 수는 없고⁸⁾, MRI 상 척추 추간관이 탈출되어있다고 해서 반드시 질병이 있는 것은 아니다⁹⁾. 환자의 임상증상이 나타나는 이유는 지각을 전달하는 기능이 강화 또는 약화되거나 아주 없어졌기 때문이지 검사상 전도장애가 있거나 방사선검사가 비정상이기 때문은 아닌 것이다.

신경병변이 있는 환자는 모든 지각이 동시에 손상될 수 있지만 굵은 신경섬유(large-fiber)의 기능(위치와 진동 감각) 또는 가는 신경섬유(small-fiber)의 기능(통증과 온도감각) 중 어느 한가지가 손상되어도 통증이 발생할 수 있으므로 개별적으로 평가되어야 한다¹⁰⁾. 그러나 신경근병증이나 압박성 신경병증에 대한 민감성은 이들 각각의 신경 섬유군마다 서로 다르다. 신경병변 환자가 한가지 빈도의 자극은 전혀 느낄 수 없었지만 다른 두 가지 빈도의 자극에는 정상적으로 반응하였다는 보고가 있어 전기 자극의 빈도에 따른 선별적 전류반응성 (neuroselectivity)이 있음을 경험적으로 강력히 시사하고 있다¹¹⁾.

서로 다른 신경섬유 종류에 따른 선별적 전류반응성이 나타나는 것은 교류전기 자극의 sinusoidal waveform에 기초를 두고 있기 때문이다¹²⁾. 이론적으로 각각의 빈도에 따라 선별적 전류반응성이 있는

이유는 신경섬유의 종류(예: 유수 또는 무수신경섬유와 같은 큰 분류)에 따라 적응하는 속도에 차이가 있기 때문이다. 2000-Hz 자극은 너무 빠르기 때문에 (0.25 msec depolarization phase) 큰 유수의 A β 섬유만 탈분극되어 반응이 유발된다. 느리게 반응하는 무수의 C-섬유는 반응을 유발하기 위해 10 msec 까지의 탈분극 자극이 필요하므로 2000 Hz의 빠른 자극에는 반응하지 않는다. 5 Hz의 sine wave는 주로 작은 무수의 C-섬유만 자극한다. 신경전달 속도가 빠른 A β 섬유는 적응 속도가 빠르기 때문에 5 Hz의 느린 빈도의 자극을 가했을 때는 적응이 되어 막간전위가 유지되고 탈분극은 일어나지 않는다. 빈도가 느리면 빠를 때보다 더 많은 전하(charge)를 전달한다. 신경생리학 연구에 의하면 가는 신경섬유가 전기학적으로 탈분극 직전 역치에 도달하려면 굵은 신경섬유 보다 더 많은 전하를 필요로 한다고 한다¹³⁾.

선별적 전류반응성을 보여주는 또 다른 임상연구에서 5% 리도카인을 지주막하 주입시 무릎에서 촉감, pinprick과 냉감이 회복되는 순서와 2000 Hz, 250 Hz와 5 Hz의 CPT가 기준선으로 돌아가는 순서가 잘 부합되는 것을 보여준다. C-섬유의 CPT가 가장 늦게 기준선으로 돌아왔다. 이들 대상의 대조 부위(mastoid process 위, C2 피절)에서의 CPT에는 큰 변화가 없었다. 추가로 수술적 절개와 동일한 정도의 전기자극에 대한 내성이 소실되는 것은 A β 섬유의 CPT가 기준선으로 회복되는 것과 일치하였으며 이때 A δ 와 C-섬유의 CPT는 아직 기준선보다 의의 있게 높았었다²⁾.

선택전류의 지각 역치를 통한 정량적인 말초신경 지각기능검사는 다음과 같은 신경병리적 상태의 평가에 임상적으로 이용되고 있다. 1) 다발성 신경병증, 2) 압박성 혹은 포착성(entrapment) 신경병증(carpal tunnel syndrome), 3) 신경근병증, 4) 국소적 신경병변(급, 만성 손상), 5) 그 이외에 약리학, 독물학(toxicology), 치과학, 비노기과학등이다.

그 중에서도 통증치료 의사가 매우 쉽게 접하는 지각신경 병변으로는 신경근병증, complex regional pain syndrome I or II, 포진후신경통, 그리고 삼차신경통이 있다. 신경병변의 초기에는 지각신경만 침범되는 것이 보통이고 후기에 가야 비로소 운동신경이 침범된다. 실제로 통증치료실에서 환자들이 호소하는 증세는 대부분이 통증을 포함한 지각이상이지

운동 장애의 경우는 드물다. 신경병변이 지각신경에 국한되어 있는 초기에 그 유발 원인을 치료하면 예후가 좋아진다. 지각신경을 연속적으로 검사하면 치료가 잘 되고 있는지 알 수 있다. 안전핀, 소리굽쇠 등을 통한 전통적인 지각신경 검사방법은 매우 주관적이고 변화가 심하며 검사자의 오류가 많이 생길 수 있어 장시간에 걸쳐 연속적으로 평가하기에는 무리가 따른다.

또한 CPT 평가로 지각이상의 위치를 기록하면 감별진단에 도움이 될 수 있다. 근래까지 시행되어온 다른 정량적인 지각 검사로서는 이러한 정도까지 자세한 위치까지 알 수 있는 경우는 없었다¹⁾. 본 연구에서 엄지발가락을 검사한 것은 체내에서 가장 긴 구심성 신경을 검사할 수 있고 이 부위는 하지의 다발성 신경병증의 검사부위가 된다. 이 부위는 두 개의 신경 (superficial and deep peroneal nerve)과 두 개의 피부절(L4와 L5)이 지배하고 있어 신경병증이나 신경근병증이 있을 때 CPT 측정치는 영향을 받지 않는다. 연속적으로 검사하려면 원위부의 axonopathy가 있는 범위를 그려 놓는 것이 좋다¹⁴⁾. 참고로 네번째 손가락은 두 개의 신경 (정중, 척골신경)과 두 개의 피부절(C7과 C8)이 지배하고 있어 상지의 다발성 신경병증의 검사부위가 된다.

1950년대 초반부터 방사통에 전통적으로 경막외 스테로이드를 사용하기 시작하였다. 신경근 자극이 있을 때는 적응증이 된다¹⁵⁾. 이때에 본 검사를 이용하여 치료 전후의 지각변화 상태를 연구할 수도 있다. 추간판탈출증이 있을 때 척추 신경근에 염증이 있다는 것이 수술 도중, 척추조영술, 그리고 조직학적 검사상 발견되었다. 증상 발현 여부는 추간판의 크기나 압박이 있는지 여부보다 염증반응이 있느냐에 더 영향을 받는다고 하였다. 신경근에 대한 자극을 객관적으로 정량화하면 경막외 스테로이드의 효과를 증진시킬 수 있다. 최근 발표된 연구에서 MRI scan에서 양성으로 진단된 증상이 없는 환자에서 CPT는 기능적 지각이상을 정량화하는데 도움을 줄 수 있다고 하였고 임상적으로 증상이 있는 환자 군에서 추간판탈출의 정도와 피부 감각이상과의 상관관계를 조사해 볼 수도 있다고 생각된다.

포진성 신경통과 포진후 신경통은 이환된 후근신경절의 피부절에 따라 통증이 나타나는 또 다른 질환이다. 통증은 전형적으로 흉추피부절이나 삼차신

경영역에 주로 나타나고 지각과민이 자주 나타날 수 있다¹⁶⁾. 이 지각과민은 특정 신경섬유에서만 나타날 수 있고 다른 섬유의 지각감퇴와 동반되기도 한다. 이와 같은 신경기능 장애의 정도를 CPT 평가를 통해 전보다 더 자세하게 관찰이 가능해지고 있다.

국소적인 압박성 신경병증은 수술 전후의 말초신경 손상이 있다. ASA의 Closed Claims Study database에 따르면 마취와 관련된 신경손상이 소송의 15%를 차지하고 그 중에서도 척골신경의 신경병증이 가장 많다(34%)고 한다. 그러나 광범위한 조사에도 불구하고 많은 경우에 있어서 신경손상의 정확한 기전은 확실치 않다¹⁷⁾. 압박성 신경병증의 발생 빈도, 병인, 발병시기와 유발요소들을 평가하기 위해 손상이 가장 잘 발생하는 부위에서 수술 전후에 CPT 검사를 시행하는 것은 예방적 차원에서 좋은 방법이 되며 손상을 초기에 발견하면 즉각적으로 치료할 수 있다.

삼차신경통, 삼차신경의 신경종, 대상포진, 경추성 두통은 모두 CPT로 검사할 수 있다. 소후두신경(C2)과 삼차신경은 정상적인 CPT 값을 찾아내는 표준검사 부위이다¹⁸⁾. 삼차신경통 환자에서 치료전후에 삼차신경의 세 분지 모두 CPT로 검사할 수 있다.

정상적인 CPT에서는 두 가지 중요한 특성을 관찰할 수 있다. 첫째로 같은 부위에서 자극 빈도를 5 Hz에서 250 Hz, 250 Hz에서 2000 Hz로 증가시켰을 때 지각역치가 증가한다는 점이다. 두 번째는 신체 내 다른 위치에서 같은 빈도의 자극을 가했을 때 측정된 CPT 값들 사이에 일정한 상관관계가 있다는 것이다³⁾. 이러한 특성은 본 교실의 측정에서도 나타났다.

본 연구 결과는 검사자 전체에서 정상범위를 보였으나 전체적으로 약간 낮은 편향을 보였으며 남녀간의 차이는 일부에서 나타났으나 그 이유는 정확지는 않지만 대상 연령군이 젊은 층에 한정되어 있고 본 연구의 대상자와 서양인의 대상자간의 피부상태의 차이 등에 의한 것으로 생각된다. 하지만 조사 대상의 연령군 및 그 대상자의 수가 확대되어야 정확한 평가가 이루어 질 수 있겠다. 이러한 검사법을 통하여 객관적으로 통증을 평가하기 어려웠던 것을 해소할 수 있었지만 현재까지 이러한 분석에 의한 정상범위가 정해진 표준검사 부위에만 국

한되어 있어 실제로 모든 환자의, 모든 부위에서의 정확한 분석을 하기는 어렵다. 따라서 현재의 표준 검사 부위 외의 많은 검사부위에서 정확한 진단 및 평가하기 위해서는 앞으로 많은 인원을 대상으로 정상치를 얻도록 노력해야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 1) Gruener G, Dyck PJ: Quantitative sensory testing: Methodology, applications, and future direction. *J Clin Neurophysiol* 1994; 11: 568-83.
- 2) Liu S, Kopacz KJ, Carpenter RL: Quantitative assessment of differential sensory nerve block after lidocaine spinal anesthesia. *Anesthesiology* 1995; 82: 60-3.
- 3) Chado HN: The current perception threshold evaluation of sensory nerve function in pain management. *Pain Digest* 1995; 5: 127-34.
- 4) Katims JJ, Naviasky EH, Ng Lk, Rendell M, Bleecker ML: New screening device for assessment of peripheral neuropathy. *Journal of occupational Medicine* 1986; 28: 1219-21.
- 5) Masson EA, Boulton AJ, Remando D: Current perception thresholds: A new, quick, and reproducible method for the assessment of peripheral neuropathy in diabetes mellitus. *Diabetologia* 1989; 32: 724-8.
- 6) Appenzeller O, Wood SC, Appenzeller T: Pentoxifylline, altitude, and peripheral nerve function. *Annals of Sports Medicine* 1988; 4: 286-8.
- 7) Dyck Pj, Karnes JL, Gillen PC, O'Brien, Zimmerman IR, Johnson: Comparison of algorithms of testing for use in automated evaluation of sensation. *Neurology* 1990; 40: 1607-13.
- 8) Swenson RS: Double crush syndrome: What is the evidence?. *JNMS* 1993; 1: 23-9.
- 9) Jensen MC, Brant Mn, Obuchowski N: Magnetic resonance imaging of the lumbar spine in people without back pain. *N Engl J Med* 1994; 331: 69-73.
- 10) Campbell JN, Raja SN, Meyer RA, Mackinnon SE: Myelinated afferents signal the hyperalgesia associated with nerve injury. *Pain* 1988; 32: 89-94.
- 11) Pitei DL, Watkins PH, Stevens Mj: The value of the NEUROMETER[®] CPT in assessing diabetic neuropathy by measurement of the current perception threshold. *Diabetic Medicine* 1994; 11: 872-6.
- 12) Katims JJ, Long DM, Ng KY: Transcutaneous nerve stimulation frequency and waveform specificity in humans. *Applied Neurophysiology* 1986; 49: 86-91.
- 13) Bishop GH, Heinbecker P: Differentiation of axon types in visceral nerves by means of the potential record. *Am J Physiol* 1930; 94: 170-200.
- 14) Rendell MS, Dvogan DJ, Bergman TF: Mapping diabetic sensory neuropathy by current perception threshold testing. *Diabetic Care* 1989; 12: 636-40.
- 15) Benzoni HT: Epidural steroid injections for low back pain and lumbosacral radiculopathy. *Pain* 1986; 24: 277-95.
- 16) Raj PP: *Practical Management of Pain*. 2nd ed. St. Louis, Mosby Year Book. 1988, P519
- 17) Kroll DA, Caplan RA, Posner K, Ward RJ, Cheney FW: Nerve injury associated with Anesthesia. *Anesthesiology* 1990; 73: 202-7.
- 18) Katims JJ, Naviasky EH, Rendell MS, Ng Ky, Bleecker ML: Constant current sine wave transcutaneous nerve stimulation for the evaluation of peripheral neuropathy. *Arch Phys Med Rehabil* 1987; 68: 210-3.