

정상성인에서 전류감각역치에 대한 피부온도의 영향

경상대학교 의과대학 재활의학교실 및 건강과학연구원

이은신 · 윤철호 · 최홍석 · 신동훈 · 신희석

– Abstract –

Temperature Effect on Current Perception Threshold in Normal Adults

Eun Shin Lee, M.D., Chul Ho Yoon, M.D., Hong Seok Choi, M.D.,
Dong Hoon Shin, M.D., Hee Suk Shin, M.D.

*Department of Rehabilitation Medicine and Institute of Health Science,
Gyeongsang National University College of Medicine, Jinju, Korea*

Objective : This study was purposed to evaluate the effect of temperature on current perception thresholds (CPT) in normal adults. The CPT evaluation is one of quantitative sensory test which provides a reproducible functional assessment of the peripheral sensory nervous system. CPT is defined as minimum amount of a transcutaneously applied current that a person can perceive.

Methods : We measured CPTs at 33 healthy volunteers using Neurometer® CPT/C. We measured CPTs at the distal interphalangeal joint of second fingers of each hand with transcutaneous constant current sine wave stimulation at 5 Hz, 250 Hz, and 2000 Hz frequency. We measured CPTs at room temperature (33~35 °C) and warm temperature (36~38 °C) at the right hand, and at room temperature and cold temperature (23~27 °C and 17~22 °C) at the left hand. We compared the CPT values and CPT ratio of each frequency.

Results : At warm temperature, there was no significant difference of CPTs at all three frequencies. At cold temperature, 250 Hz CPT was significantly increased compared to room temperature. However, 2000 Hz and 5 Hz CPTs did not differ from room temperature.

Conclusion : These findings suggest that 2000 Hz and 5 Hz CPTs are not affected by temperature, but 250 Hz CPT is affected by decreased temperature in normal adults.

Key Words : Quantitative sensory test, Current perception threshold, Skin temperature

서 론

감각신경기능을 검사하는 방법으로는 주관적 검사와 객관적 방법이 있는데 주관적 방법으로는 기존의 고식적 임상검사와 여러 가지 정량적 감각검사방법이 있고 객관

적인 평가방법으로는 감각신경전도검사와 체성감각유발 전위가 사용되고 있다. 가장 많이 사용되는 고식적 임상 검사는 물리적 자극을 이용하는데, 스펀지, 소리굽쇠, 핀, 그리고, 차갑거나 따뜻한 물체 등을 이용하여 다양한 감각신경기능을 검사한다. 이러한 방법은 비교적 간단히 시행할 수 있고 전반적인 감각기능을 효과적으로 검사할 수 있지만, 자극의 물리적 특징이 명확히 규정되어져 있

Address reprint requests to **Hee Suk Shin, M.D.**

Department of Rehabilitation Medicine, Gyeongsang National University College of Medicine
#90 Chilam-dong, Jinju 660-702, Korea

TEL : 82-55-750-8252, FAX : 82-55-750-8255, E-mail : hsshin@nongae.gsnu.ac.kr

지 않고, 검사자마다 시행방법이 다양하며, 세밀하게 시행하더라도 같은 피검자에서 검사자마다 다른 결과를 보일 수 있고 정량적이지 못한 단점이 있다.^{1,2}

이러한 고식적 검사의 제한점을 보완하기 위해 여러 가지 정량적 감각검사 방법이 사용되고 있다. 정량적 감각검사는 정해진 해부학적 위치에서 표준화된 검사를 시행하여 감각신경 기능을 정량화한다. 정량적 감각검사에는 촉각 및 압각, 진동감각, 그리고 온도감각(온각과 냉각) 검사가 있다. 고식적 임상검사에 비해 비교적 간단하고 비침습적이며, 민감도와 재현성이 높아 신경병증의 객관적인 평가에 유용하다. 최근에는 컴퓨터화된 장비가 개발되어 넓은 범위의 강도에서 단계적인 자극을 주고 자극의 종류, 자극을 주는 위치, 피검자의 나이, 성별에 따른 결과를 제공한다. 그리고, 말초신경에서부터 중추신경계까지 감각신경계의 이상 유무를 알 수 있으며 직경이 큰 감각신경과 직경이 작은 감각신경 섬유 각각에 대해 검사가 가능하다. 그러나, 환자가 협조적이어야 신뢰할 수 있는 결과를 얻을 수 있고, 피부 두께의 영향을 받으며, 검사위치, 성별, 나이에 따라 차이가 나는 단점이 있다.^{2,3}

신경전도검사는 객관적인 감각신경 검사로서 말초신경의 기능 평가를 위해 많이 이용되는 전기진단학적 검사방법이다. 그러나 가장 빠르게 전도되는, 직경이 큰 유수신경 섬유만을 검사하므로 직경이 작은 유수신경과 무수신경 섬유들에 대해서는 검사하기 어려운 단점이 있다.^{4,5}

따라서 신경전도검사와 정량적 감각검사와 같이 정량적이고, 환자의 주관적인 요소를 가능한 한 배제한 객관적인 검사이면서 전체 감각신경섬유 기능을 검사할 수 있는 검사 방법이 요구되었다.

전류감각역치(Current perception threshold, 이하 CPT라 함.) 검사는 전류를 이용하여 감각신경의 기능을 평가하는 정량적 감각검사의 하나이다. Smith와 Mott(1986)가 처음으로 표면전극을 이용하여 감각신경을 전기로 자극하여 신경기능을 평가하는 방법을 기술하였고,⁶ Katims 등⁷은 다주파의 일정한 교류 경피전기 자극을 하는 CPT장비를 개발하였다. 이 장비는 피부 임피던스의 변화와 상관없이 일정한 전류를 되먹이기 조절로 유지함으로써 피부 임피던스 변화에 따른 문제점을 없앴고, 신경병증을 찾아내는 것이 가능하게 되었다. CPT 검사는 감각신경섬유를 선택적으로 자극하여 반응을 일으키는데, 2000 Hz, 250 Hz, 그리고 5 Hz의 전류가 각각 직경이 큰 유수신경, 직경이 작은 유수신경, 그리고 직경이 작은 무수신경섬유를 자극한다.^{4,8} CPT 검사는 검사자와 피검자 모두 자극의 강도를 알 수 없는 이중맹검법을 이용함으로써 피검자의 주관적 판단에 의한 검사 오류를 줄임으로서 비교적 객관적인 검사 결과를 얻을 수 있고, 간단하며, 여러 신경

섬유를 동시에 검사할 수 있는 장점이 있어 임상적으로 유용하다. 최근 CPT 검사는 수근관 증후군과 당뇨병 말초신경병증, 요독성 신경병증, 신경근병증 등의 선별, 진단, 추적관찰하는 데 사용되고 있다.^{1,4,8-16}

CPT에 영향을 미칠 수 있는 변수 중 나이와 성별에 대해서는 연구보고가 있다.^{1,17} 그러나 온도에 대해서는 신경전도검사와 달리 온도의 영향을 받지 않거나 적게 받는다고는 하지만, 온도의 영향에 대해 구체적으로 연구한 보고는 없었다. 이에 본 연구는 정상성인에서 실온과 가온한 후, 그리고 감온한 후 CPT를 측정하여 CPT에 대한 온도의 영향을 알아보고자 하였다.

연구대상 및 방법

1. 연구대상

Dyck²의 NSS(Neurological symptom score)와 NDS(Neurologic disability score)의 내용 중 감각에 해당하는 항목이 모두 0점으로, 감각신경계의 이상이 없는 건강한 성인 33명을 대상으로 하였다. 평균연령은 26.8±3.5세(범위 22~34세)이고 남자가 25명, 여자가 8명이었다. 실온에서 피부온도가 33~35℃인 경우를 대상으로 하였다.

2. 연구방법

1) 가온방법

가온의 영향을 알아보는 실험은 우측 손에서 시행하였다. 실온에서 CPT를 측정한 후 적외선 치료기로 가온하였다. 이 때 피부온도는 실온의 피부온도보다 4~5℃ 높여 36~38℃의 범위가 되도록 한 후 CPT를 측정하였고, 검사를 시행하는 동안 온도가 일정범위를 유지하도록 하였다.

2) 감온방법

감온의 영향을 알아보는 실험은 좌측 손에서 시행하였다. 실온에서 CPT를 측정한 후 얼음 주머니로 감온하였다. 먼저 실온의 피부온도보다 6~10℃ 낮추어 23~27℃의 범위가 되도록 한 후 CPT를 측정하고, 다음 실온의 피부온도보다 12~15℃ 낮추어 17~22℃의 범위가 되도록 한 후 CPT를 측정하였다. 검사를 시행하는 동안 온도가 일정범위를 유지하도록 하였다.

3) 피부온도 측정

피부온도는 전극이 부착하는 부위에 Synergy 근전도 기기(Oxford사, 영국) 온도 탐침을 부착하여 측정하였다.

Table 1. Reference Data of CPT in Normal Adult (N=129)*

Ranges	min	max	mean	S.D.
2000 Hz	98	393	239.3	59.4
250 Hz	20	169	86.4	33.5
5 Hz	10	122	58.7	25.0
Ratio	min	max	mean	S.D.
2000 Hz/5 Hz	1.4	25.2	5.3	4.1
2000 Hz/250 Hz	1.6	8.7	3.1	1.3
250 Hz/5 Hz	0.4	5.9	1.7	0.9

* Established reference data of CPT measurements in normal data at room temperature were provided by previous study. (CPT 1 unit = 0.01 mA)

4) CPT 측정방법

CPT는 Neurometer®CPT/C(Neurotron, Incorporated, USA)를 사용하여 측정하였다. 피검자를 편안하게 앉히고 검사절차에 대해 설명을 하였다. 검사부위의 피부를 깨끗이 하여 고정테이프 부착이 잘 되도록 하였다. 직경 1 cm 크기인 2개의 금 전극이 1.7 cm 간격으로 떨어져 있는데, 전극의 표면에 얇게 전도매질을 바른 후 접착테이프로 제2수지의 원위지절관절 양측면에 부착하였다. 이 때 전극 부착부위 외에는 전도매질이 묻지 않고 건조한 상태가 되도록 하였다. 전극을 통해 경피신경전기자극 전류를 각각 0 mA에서 9.99 mA의 강도로 호르케 하였다. CPT 1단위는 0.01 mA(10 μ A)에 해당하며 0.1단위(0.001 mA)에서 999단위(9.99 mA)의 범위를 가진다. CPT를 측정할 때 신뢰도와 재현도를 높이고 검사자의 바이어스를 방지하기 위하여 이중맹검법으로 검사하였다. 먼저 수동 mode로 피검자가 느낌을 말할 때까지 0.1 mA씩 전류의 강도를 증가시켜 피검자가 전류를 느끼는 가장 낮은 강도를 정하고 이 때의 값을 기준으로 자동 mode로 측정한다. 자동 mode는 수동 mode에서 측정한 CPT의 강도를 기준으로 기계가 자동으로 0.04 mA씩 단계적으로 증가시키거나 감소시키면서 무작위로 실제자극과 허위자극을 주게 된다. 피검자는 전류를 느낄 때 말로 표현하거나 원격조정기의 버튼을 누르게 하였다. 검사장비가 피검자의 반응을 기초로 자동으로 자극 강도를 조절하고 무작위로 검사순서를 만들므로 피검자와 검사자 모두 검사결과에 영향을 미칠 수 없고, 충분히 검사횟수가 시행되어(p<0.006) 반복해서 전류를 느낀다고 반응을 보이는 강도를 최종 CPT로 표시하고 출력된다. 이와 같은 방법으로 2000 Hz, 250 Hz, 그리고, 5 Hz에서 각각의 CPT를 측정하였다. 진단에 사용하는 지표는 절대값(range analysis), 주파수간 비율(within site ratios), 그리고 부위간 비율(between sites ratio)이 있는데, 절대값은 정상범위와 비교하고, 주파

Table 2. Current Perception Threshold (CPT) at Room Temperature and Warm Temperature

Frequency	Room	Warm	p-value
	temperature (33~35°C)	temperature (36~38°C)	
2000 Hz	201.5±49.3	194.7±49	0.086
250 Hz	63.9±21.6	62.1±23.7	0.525
5 Hz	55.1±17.3	60.5±18.2	0.098

All values are mean±S.D. (CPT 1 unit = 0.01 mA)

수간 비율은 한 자극부위에서 측정한 세 주파수간의 CPT를 비교(2000 Hz/5 Hz, 2000 Hz/250 Hz, 250 Hz/5 Hz)한 것이며, 부위간 비율은 다른 부위에서 측정한 같은 주파수의 CPT를 비교(2000 Hz/2000 Hz, 250 Hz/250 Hz, 5 Hz/5 Hz)한 것이다.¹⁷ 본 연구에서는 절대값과 주파수간 비율을 구하였다.

3. 통계처리

측정값의 분석은 SAS version 6.12를 사용하여, 실온, 가온한 후, 감온한 후 CPT와 CPT 주파수간 비율(within ratio)의 평균값과 분포를 각각 계산하였고, 실온과 가온한 후의 값과, 실온과 감온한 후의 값을 비교할 때 paired t-test로 하였으며, 유의성은 95% 신뢰구간(p<0.05)으로 하였다.

결 과

1. 실온의 CPT

실온에서 측정한 양측 손의 CPT를, 예비연구에서 구한 한국정상성인의 정상범위와 비교할 때 CPT는 모두 정상범위에 속하였다. 그러나 CPT 주파수간 비율을 비교할 때 1명에서 2000 Hz/250 Hz의 비율이 정상범위를 벗어났다(Table 1).

2. 가온 후 변화

1) CPT 변화

실온에서 2000 Hz, 250 Hz, 그리고, 5 Hz CPT는 각각 201.5±49.3, 63.9±21.6, 55.1±17.3이었고, 가온한 후에는 각각 194.7±49, 62.1±23.7, 60.5±18.2로 통계적으로 유의한 변화는 없었다(Table 2).

2) CPT 주파수간 비율의 변화

실온에서 2000 Hz/5 Hz, 2000 Hz/250 Hz, 그리

고, 250 Hz/5 Hz 비율은 각각 3.8 ± 1.0 , 3.4 ± 1.0 , 1.2 ± 0.3 이었고, 가온한 후에는 각각 3.4 ± 1.0 , 3.4 ± 1.0 , 1.1 ± 0.4 이었다. 2000 Hz/5 Hz 비율이 통계적으로 유의하게 감소하였다(Table 3).

3. 감온 후 변화

1) CPT의 변화

실온에서 2000 Hz, 250 Hz, 그리고, 5 Hz CPT는 각각 195.5 ± 40.5 , 61 ± 16.3 , 55.3 ± 15.5 이었고, 실온에서 피부온도보다 6~10℃ 감온한 후 각각 203.2 ± 44.1 , 73.8 ± 18.7 , 48.6 ± 15.2 이였으며, 실온에서 피부온도보다 12~15℃ 감온한 후 각각 208.9 ± 51.8 , 84.2 ± 27 , 49.1 ± 12.7 이었다. 250 Hz CPT만 유의하게 증가하였다(Table 4).

2) CPT 주파수간 비율의 변화

실온에서 2000 Hz/5 Hz, 2000 Hz/250 Hz, 그리

고, 250 Hz/5 Hz 비율은 각각 3.9 ± 1.8 , 3.4 ± 1.3 , 1.2 ± 0.4 이었고, 실온에서 피부온도보다 6~10℃ 감온한 후 각각 4.9 ± 3.2 , 3.0 ± 1.4 , 1.7 ± 0.7 이였으며, 실온에서 피부온도보다 12~15℃ 감온한 후 각각 4.5 ± 1.5 , 2.6 ± 0.9 , 1.8 ± 0.6 이었다. 2000 Hz/5 Hz는 유의하게 감소하였고, 250 Hz/5 Hz 비율은 유의하게 증가하였다(Table 5).

고 찰

CPT 검사는 신경전도검사나 다른 정량적 감각검사에 비해 광범위한 피부온도와 부종에서 시행할 수 있고, 신경병증 초기의 지각과민 상태를 정량화할 수 있으며, 상당히 재현성이 높은 결과를 얻을 수 있기 때문에 진단적 유용성이 높다.^{4,8,14} 또한 신경전도검사가 직경이 큰 유수신경섬유만을 검사하는 것과 달리 2000 Hz, 250 Hz와 5 Hz의 전류로 각각 직경이 큰 유수신경(Aβ섬유), 직경이 작은 유수신경(Aδ섬유), 그리고 작은 무수신경(C섬유)을 선택적으로 자극하여 감각신경의 90% 이상의 기능을 검사할 수 있고,^{1,8-11,18} 시행시간이 짧고, 통증 등 부작용이 없으며, 검사수기가 어렵지 않아 쉽게 시행할 수 있다는 장점이 있어,^{4,9,14,19} 최근 임상적으로 여러 가지 말초신경질환의 진단과 평가에 사용되고 있다. Katims 등^{1,4,12}은 CPT 검사가 직업과 관련된 중독성과 포착성 신경병증의 선별이나 수근관 증후군의 진단, 혈액투석 환자에서 요독증에 의한 다발성 신경병증 진단과 투석치료를 평가하는데 유용하다고 하였다. 또한 Pitei⁹와 Masson 등¹⁰은 당뇨병성 말초신경

Table 3. Current Perception Threshold (CPT) Ratio at Room Temperature and Warm Temperature

Within ratio	Room	Warm	p-value
	temperature (33~35℃)	temperature (36~38℃)	
2000 Hz/5 Hz	3.8 ± 1.0	3.4 ± 1.0	0.037*
2000 Hz/250 Hz	3.4 ± 1.0	3.4 ± 1.0	0.918
250 Hz/5 Hz	1.2 ± 0.3	1.1 ± 0.4	0.121

All values are mean ± S.D.

*p<0.05, compared with room temperature

Table 4. Current Perception Threshold (CPT) at Room Temperature and Cool Temperature

Frequency	Room temperature	Cool temperature			
	(33~35℃)	(23~27℃)	p-value	(17~22℃)	p-value
2000 Hz	195.5 ± 40.5	203.2 ± 44.1	0.312	208.9 ± 51.8	0.144
250 Hz	61 ± 16.3	73.8 ± 18.7	0.009*	84.2 ± 27	0.0003*
5 Hz	55.3 ± 15.5	48.6 ± 15.2	0.126	49.1 ± 12.7	0.216

All values are mean ± S.D. (CPT 1 unit = 0.01 mA)

*p<0.05, compared with room temperature

Table 5. Current Perception Threshold (CPT) Ratio at Room Temperature and Cool Temperature

Within ratio	Room temperature	Cool temperature			
	(33~35℃)	(23~27℃)	p-value	(17~22℃)	p-value
2000 Hz/5 Hz	3.9 ± 1.8	4.9 ± 3.2	0.228	4.5 ± 1.5	0.255
2000 Hz/250 Hz	3.4 ± 1.3	3.0 ± 1.4	0.534	2.6 ± 0.9	0.032*
250 Hz/5 Hz	1.2 ± 0.4	1.7 ± 0.7	0.0003*	1.8 ± 0.6	0.0003*

All values are mean ± S.D.

*p<0.05, compared with room temperature

병증의 진단에 유용하다고 하였고, Chu¹⁶는 족지와 수지의 이식술 후 수지신경의 신경재생과 기능회복을 평가하는데 이용하였다. 이 외에도 감각신경 기능에 영향을 미치는 많은 다른 질환의 진단에 최근 많이 이용되고 있다.^{8,11}

그러나 아직 CPT 검사에 대해 몇 가지 논란이 있다. 첫째로, CPT의 가장 중요한 특징 중 하나로 세 주파수의 전류가 감각신경섬유를 선택적으로 자극하여 반응을 일으킨다는 것이다.^{1,9,10,18,20} Katims 등¹의 연구에서 피검자들이 전류를 느낀 후 쉽게 세 종류 주파수를 구별할 수 있었고, 주파수가 증가하면서 역치도 증가하여 세 주파수를 감각과 역치 차이로 쉽게 구분하였다. 그리고 특정 사인파 주파수의 전기자극에 대해 특정 신경조직군이 다르게 반응함을 알았다. Pitei 등⁹의 연구에서도 세 주파수의 CPT, 진동감각역치, 그리고, 온도감각역치를 비교하여 2000 Hz CPT와 진동감각이 가장 높은 상관관계를 보였고, 세 주파수간의 상관관계수는 2000 Hz와 5 Hz 사이가 가장 낮아 다른 종류의 섬유를 자극하는 것을 시사했다. Masson 등¹⁰은 당뇨병자를 대상으로 통상의 신경기능 검사결과와 CPT를 비교하여 고주파의 역치는 직경이 큰 섬유의 기능과, 저주파의 역치는 직경이 작은 섬유의 기능과 상관관계가 있는 것을 알았다. 그러나 Chu¹⁶는 이 가정에 대해 비판하는 이유를, 유발된 감각이 자연적인 자극을 느끼는 감각과 비슷하지 않는 경우도 있고, CPT 측정시 이용되는 전기자극에 의해 직접 활성화되는 것이 수용기인지 신경섬유의 축삭인지가 명확하지 않으며, 감각섬유 내 다른 기능을 가지는 섬유군이 동시에 자극이 될 가능성이 있다고 하였다. 그리고, 그의 연구에서 대부분의 피검자가 주파수와 상관없이 자극에 대해 저림을 호소하여 세 주파수 자극이 신경섬유의 세 부분을 선택적으로 활성화하지 않을 수 있고, 이들 자극, 특히 고주파 자극은 자연적인 피부감각과 생리학적으로 관련성이 없을 것이라고 하였다. 감각신경섬유를 선택적으로 자극한다고 지지하는 연구들은 온도감각과 진동감각과 같은 다른 측정방법과 비교하였으나, 이 가정을 검증하기 위해 무엇이 적절한 기준인지 명확하지 않다.¹¹ Pitei 등⁹은 진동감각역치와 2000 Hz CPT 사이에 높은 상관관계를 보여 이것은 2000 Hz가 직경이 큰 신경 기능에 대해 선택적이라는 것을 입증하지만, 2000 Hz CPT가 정상이면서 진동감각역치가 비정상적으로 매우 높거나, 반대로 CPT가 비정상적으로 매우 높는데 진동감각역치는 중등도로 증가한 경우가 있어 이것은 신경선별능력에 의문을 가지게 한다고 하였다.

둘째로 신경전도검사나 다른 정량적 감각검사에 영향을 미치는 변수 중 하나가 연령이다. Evans 등¹⁷은 CPT가 나이에 따라 변하지 않으므로 나이에 의한 영향과 질환을 구별할 수 있다고 하였으며, 사인파의 전류

가 통상의 신경수용기를 우회하고 피부표면에 있는 축삭말단을 직접 흥분시키는 것으로 보인다고 하였다. 따라서 나이의 증가에 따른 말초 신경수용기의 감소가 전류에 대한 감각에 영향을 미치지 않는다고 하였다. 반면, Katims 등¹은 CPT에 나이와 성별이 영향을 미치는데 나이에 따라 증가하고, 여자에서 약간 낮다고 하였다.

그 외에 미국전기진단학회¹¹에서는, 첫째, 비교기준이 명확하지 않고, 해석이 어렵다. 둘째, CPT의 이상소견은 자극위치에서부터 대뇌피질까지의 경로 중 어느 한 지점의 이상을 반영하기 때문에 말초신경손상의 해부학적 위치를 결정하는데 있어서 제한점이 있다. 셋째, 신경전도검사와 달리 CPT를 측정할 때 환자의 적극적인 참여가 있어야 하며 환자의 협조가 없이는 정확한 값을 정하기 어렵다. 넷째, 중추신경의 질환, 상태, 통증이 CPT에 미치는 영향에 대한 연구가 미흡하다는 이유로 CPT의 유용성에 의문을 제기하였다.

마지막으로 CPT를 임상에서 더욱 유용하게 사용하려면 검사 결과에 영향을 줄 수 있는 요인에 대한 연구가 있어야 한다. 예를 들어 신경전도검사에서는 피부온도가 검사 결과에 결정적인 영향을 주게 된다. 즉, 냉각시에 원위 잠시, 진폭, 지속 기간과 면적이 증가하는데 이것은 냉각시 활동전위 회복기에 나트륨 비활성화가 느려지기 때문이며, 전도속도가 감소하는 것은 란비에르 결절의 나트륨 통로 개방율이 감소하기 때문이다.^{21,22} 그런데, 병적인 신경과 정상신경의 체온에 대한 반응에 차이가 있다. 병적인 신경에서 정상신경에 비해 체온 변화에 따른 진폭의 변화는 작고 잠시의 변화는 현저한데 이는 신경축삭막의 병적반응을 의미한다.²³ 탈수초화된 신경에서는 체온이 증가하게 되면 전도 차단이 증가한다. 이 결과, 비정상소견이 만들어지거나 기존의 문제점이 발견되지 않아 잘못 판단하거나 진단을 놓칠 수 있기 때문에 보정이 필요하다.^{22,24} 그러나, 정상인에서의 보정지수를 환자에게 적용할 수 없고, 가온을 하는데 시간이 많이 걸린다.^{20,21,25}

그러나 CPT 검사 결과에 영향을 줄 수 있는 물리적 요인에 대한 연구는 나이와 성별에 대해서는 연구보고가 있지만,^{1,17} 온도에 대한 영향을 구체적으로 연구한 보고는 없었다. Weseley¹⁴는 피부온도 27°C 이상에서 CPT를 측정하는 것이 정확하다고 언급하였으나, 구체적인 설명은 없었다. 다른 연구에서도 피부두께, 온도 또는 부종 등의 변수에 영향을 받지 않고 상당히 재현성이 높은 결과를 얻는다고 하였다.^{4,8,19}

본 연구에서는 온도가 CPT에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험을 하였다. 실온에서 측정된 양측 손의 CPT를 예비연구에서 구한 한국정상성인의 정상범위와 비교시 CPT는 모두 정상범위에 속하였다(Table 1). CPT 절대값을 정상범위와 비교하여 최소값 미만인 경

우는 지각감퇴 상태를 의미하고, 최대값 이상인 경우는 지각과민 상태를 의미한다.¹⁹

가온한 후 2000 Hz, 250 Hz, 5 Hz CPT는 모두 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않아 가온의 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 감온의 정도에 따라 영향을 다르게 받는지를 보기 위하여 감온의 온도를 다르게 하였다. 먼저 실온의 피부온도보다 6~10℃ 감소한 후 250 Hz CPT는 유의하게 증가하였으나 2000 Hz와 5 Hz는 통계적으로 큰 차이를 보이지 않았다. 실온의 피부온도보다 12~15℃ 감소한 후에도 역시 250 Hz CPT는 유의하게 증가하였으나 2000 Hz와 5 Hz는 큰 차이를 보이지 않았고, 250 Hz CPT는 피부온도가 6~10℃ 감소한 후의 값과도 유의한 차이를 보였다.

CPT는 2000 Hz는 Aβ섬유, 250 Hz는 Aδ섬유, 그리고, 5 Hz는 C섬유에 선택적이다.^{1,7,10,20} 따라서 CPT에 대해 Aβ섬유와 C섬유는 온도에 영향을 받지 않고, Aδ섬유만 감온의 영향을 받는 것으로 생각할 수 있겠다. CPT 검사가 신경섬유축삭을 검사하는 것인지 신경수용기를 검사하는 것인지 그 기전이 아직 명확하게 밝혀지지 않았다.^{1,11,18} 그러나, 전기자극은 신경수용기를 우회해서 신경섬유를 직접 자극한다고 알려져있다.^{2,3} 신경전도검사와 같이 전도에 의해 전달이 된다면 온도의 영향을 받게 되는데 본 연구에서 2000 Hz CPT는 가온과 감온 모두에서 영향을 받지 않았으므로 전도에 의한 것은 아니라고 할 수 있겠다. 온도수용기는 주로 C섬유로, 냉각수용기는 Aδ섬유 또는 C섬유로 연결되어 있으며 사람에서는 대부분 Aδ섬유로 되어 있으므로,² CPT가 수용기 자극에 의해 전달이 된다면, Aδ는 감온의 영향을, C섬유는 주로 가온의 영향을 받아야 한다. 그러나, 본 연구에서 C섬유는 Aβ섬유와 마찬가지로 온도의 영향을 받지 않았다. 250 Hz CPT만 감온의 영향을 받는 이유는 정확히 알 수는 없다. 그런데, 열자극(thermal stimulation)은 수용기를 방전시키고 이들과 연결된 신경축삭을 활성화한다.² 따라서 전기자극은 수용기를 자극하지 않더라도 가온과 감온을 시키기 위해 피부에 가한 냉온자극 자체에 의해 수용기가 영향을 받고 이것이 CPT에 영향을 주었을 것이라고 생각되며 250 Hz CPT만 감온의 영향을 받은 것은 온도수용기보다 냉각수용기가 피부온도 변화에 더 예민하게 반응하기 때문으로 추측된다.

CPT 검사의 지표 중 절대값 분석(Range analysis) 외에 주파수간 비율(Within site ratio)과 부위간 비율(Between sites ratio)이 있는데, 주파수간 비율이 정상범위를 벗어날 경우 경증의 감각이상을 의미하며 부위간 비율은 주로 다발성 신경염 진단에 유용한데, 비교 부위는 양측이거나 근위부와 원위부이다.¹⁹ 절대값과 비율을 같이 평가함으로써 신경병증에서 말초신경장애를 찾아내는데 민감도를 높일 수 있다고 한다.^{1,10,12}

본 연구에서는 주파수간 비율에 대해서도 온도의 영향을 알아보았는데, 가온 후에는 2000 Hz/5 Hz는 유의하게 감소하였으나 나머지는 큰 차이가 없었다. 감온 후에는 2000 Hz/250 Hz는 감소하고 250 Hz/5 Hz는 증가하였다. 이것은 250 Hz CPT의 변화에 의한 결과로 생각된다. 주파수간 비율을 예비연구의 정상범위(Table 1)와 비교할 때 1명이 실온의 피부온도에서 2000 Hz/250 Hz 비율이 비정상이었으나, 감온한 후 정상이었고, 1명이 실온에서는 정상이었으나 6~10℃ 감온한 후 비정상, 12~15℃ 감온한 후 다시 정상이 되어 일정한 경향을 보이지 않아 큰 의미가 없다고 생각되고 CPT 비율의 의미를 해석하기가 어려워 그 진단적 가치는 아직 논란이 있다.¹¹

본 연구에서는 정상성인의 피부온도에 대한 영향을 알아보았으나, 증례수가 적고, 온도조절방법에 제한점이 있었으므로 이를 보완한 향후 검증이 필요하다. 또한 신경전도검사에서 병적인 신경과 정상신경의 체온의 변화에 대한 반응에 차이가 있었으므로 CPT에 대해서도 정상인뿐만 아니라 신경병증이 있는 환자에서 온도의 영향을 알아보는 연구가 향후 필요하겠다.

결론

CPT에 대한 피부온도의 영향을 알아보기 위하여 감각신경계 이상이 없는 정상성인 33명을 대상으로 우측 손에는 실온(33~35℃)과 가온한 후(36~38℃), 좌측 손에는 실온(33~35℃)과 감온한 후(23~27℃와 17~22℃) CPT를 측정하고 절대값과 주파수간 비율을 비교하였다.

- 1) 가온한 후 2000 Hz, 250 Hz, 그리고 5 Hz CPT 모두 실온과 가온한 후의 측정치에 차이가 없었다.
- 2) 감온한 후 250 Hz는 유의하게 증가하였고($p < 0.05$), 2000 Hz와 5 Hz CPT는 실온과 감온한 후의 측정치에 큰 차이가 없었다.
- 3) 주파수간 비율은 가온한 후, 2000 Hz/5 Hz가 유의하게 감소하였고, 감온한 후, 2000 Hz/250 Hz는 유의하게 감소, 250 Hz/5 Hz는 유의하게 증가하였다($p < 0.05$).

정상성인에서 2000 Hz와 5 Hz CPT는 실온과 비교했을 때 피부온도의 영향을 받지 않으나, 250 Hz CPT는 감온의 영향을 받았다. 그러나 향후 온도조절방법의 보완과 병적인 신경에 대한 온도의 영향을 알아보는 연구가 필요하겠다.

참고문헌

1. Katims JJ, Naviasky E, Ng LKY, Bleecker ML, Rendell M.: Constant current sine wave transcutaneous nerve stimulation for the evaluation of peripheral neuropathy. *Arch Phys Med Rehabil* 1987; 68: 210-231
2. Dyck PJ, Thomas PK, Griffin JW, Low PA, Poduslo JF: *Peripheral neuropathy*, 3rd ed, Philadelphia: Saunders, 1993, pp151-2, 688-691, 706-728
3. Dotson RM: Clinical neurophysiology laboratory tests to assess the nociceptive system in humans. *J Clin Neurophysiol* 1997; 14(1): 32-45
4. Katims JJ, Rouvelas P, Sadler BP, Weseley SA: Current perception threshold. Reproducibility and comparison with nerve conduction in evaluation of carpal tunnel syndrome. *ASAIO Trans* 1989; 35: 280-284
5. Goodgold J, Eberstein A: *Electrodiagnosis of neuromuscular diseases*, 3rd ed, Baltimore/London: Williams & Wilkins, 1983, pp10-13
6. Smith PJ, Mott G: Sensory threshold and conductance testing in nerve injuries. *J Hand Surg[Br]* 1986; 11: 157-162
7. Katims JJ, Long DM, Ng LKY: . Transcutaneous electrical nerve stimulation(TNS): frequency and waveform specificity in humans. *Appl Neurophysiol* 1986; 49: 86-91
8. Katims JJ: Neuroselective current perception threshold quantitative sensory test [letter; comment]. *Muscle Nerve* 1997; 20: 1468-1469
9. Pitei DL, Watkins PJ, Stevens MJ, Edmonds ME: The value of the Neurometer in assessing diabetic neuropathy by measurement of the current perception threshold. *Diabet Med* 1994; 11: 872-876
10. Masson EA, Veves A, Fernando D, Boulton AJM: Current perception thresholds: a new, quick, and reproducible method for the assessment of peripheral neuropathy in diabetes mellitus. *Diabetologia* 1989; 32: 724-728
11. AAEM Equipment and Computer Committee: Technology review: the Neurometer Current Perception Threshold(CPT). *American Association of Electrodiagnostic Medicine. Muscle Nerve* 1999; 22: 523-531
12. Katims JJ, Naviasky EH, Ng LKY, Rendell M, Bleecker MI: New screening device for assessment of peripheral neuropathy. *J Occup Med* 1986; 28: 1219-1221
13. Ro LS, Chen ST, Tang LM, Hsu WC, Chang HS, Huang CC: Current perception threshold testing in Fabry 's disease. *Muscle Nerve* 1999; 22: 1531-1537
14. Weseley SA, Liebowitz B, Katims JJ: Neuropathy of uremia : evaluation by nerve conduction velocity versus neurospecific current perception threshold. *Nephron* 1989; 52:317-322
15. 강윤규, 서관식, 박은미, 이창형: 수근관 증후군 환자에서 감각역치의 정량적 측정. *대한재활 의학회지* 2000; 24: 710-717
16. 편성범, 김 현, 유영현, 박영옥: 당뇨병성 신경병증에서 전류 자극역치 측정의 임상적 유용성. *대한재활의학회지* 2001; 25: 458-465
17. Evans ER, Rendell M, Bartek JP, Bamisedun O, Connor S, Giitter M: Current perception thresholds in ageing. *Age Ageing* 1992; 21: 273-279
18. Chu N: Current perception thresholds in toe-to-digit transplantation and digit-to-digit replanation. *Muscle Nerve* 1996; 19: 183-186
19. Neurotron Inc. Neurometer CPT quantitative sensory nerve tester. Baltimore, MD.
20. Geerlings AH, Mechelse K: Temperature and nerve conduction velocity, Some practical problems. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1985; 25: 253-259
21. Dumitru D: *Electrodiagnostic medicine*, 1st ed, Philadelphia: Mosby, 1995, pp140-143, 431-432
22. Denys EH: AAEM minimonograph #14: The influence of temperature in clinical neurophysiology. *Muscle Nerve* 1991; 14: 795-811
23. Bolton CF, Carter K, Koval JJ: Temperature effects on conduction studies of normal and abnormal nerve. *Muscle Nerve* 1982; 5: S145-147
24. Franssen H, Wieneke GH, Wokke JJ: The influence of temperature on conduction block. *Muscle Nerve* 1999; 22: 166-173
25. Franssen H, Wieneke GH: Nerve conduction and temperature: necessary warming time. *Muscle Nerve* 1994; 17: 336-344