

고빈도 경피신경전기자극의 자극강도에 따른 정상 성인여성 교감신경성 반응의 변화



The Journal Korean Society of Physical Therapy

- 최유림, 이정우¹
- 대구과학대학 물리치료과; ¹광주여자대학교 물리치료학과

Changes in Sympathetic Nervous System Responses of Healthy Adult Women with Changes in the Stimulus Intensity of High Frequency Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation

Yoo-Rim Choi, PT, MS; Jeong-Woo Lee, PT, PhD¹

Department of Physical Therapy, Daegu Science College; ¹Department of Physical Therapy, Kwangju Women's University

Purpose: The purpose of this study was to investigate the change in sympathetic nervous system responses of healthy adult women with changes in stimulus intensity of high frequency transcutaneous electrical nerve stimulation.

Methods: Twenty-four healthy subjects (women) received high frequency electrical stimulation of the forearm. The subjects were randomly assigned to one of two groups; a low intensity stimulation group (n=12) and a high intensity stimulation group (n=12). The electrode attachment was arranged on the forearm of the dominant arm and the electricity stimulus time was 20 minutes. Measured items included skin conductance, pulse rate, skin temperature, and respiration rate. Each was measured at 4 times.

Results: Skin conductance and skin temperature showed significant group by time interactions, though there were no significant group and time effects. There were no significant differences according to time, group effect, and a group by time interaction in pulse and respiration rates.

Conclusion: High frequency and high intensity electrical stimulation may be helpful for the improvement of sudomotor function through the activation of the sympathetic nervous system. Also, high frequency and low intensity electrical stimulation may be helpful for the reduction of sudomotor function via inhibition of the sympathetic nervous system.

Keywords: Transcutaneous electrical nerve stimulation, Sympathetic nervous system response, Skin conductance, Skin temperature

논문접수일: 2009년 11월 5일

수정접수일: 2009년 12월 25일

게재승인일: 2010년 1월 5일

교신저자: 이정우, jwlee@kwu.ac.kr

1. 서론

자율신경계는 수의적으로 조절할 수 있는 근육과 달리 인체의 내장과 혈관 기관들의 기능을 반사적으로 조절해 주며, 교감신경계와 부교감신경계로 구성되어 있다. 외상 등으로 인해 자율신경계에 장애가 발생하면 자동적으로 조절되었던 자율신경반응과 관련하여 신체에 다양한 증상들이 나타날 수 있다. 이러한 대표적 증상으로는 복합부위통증증후군(complex regional pain

syndrome, CRPS)이 있다.¹ 복합부위통증증후군은 유형 I과 II로 구분되며, 유형 I은 이전에 반사성 교감신경위축증(reflex sympathetic dystrophy, RSD)이라고 불렸으며, 유형 II는 작열통(causalgia)이라고 알려져 있다.²

반사성 교감신경위축증은 외상이나 수술 혹은 전신질환 후에 신경분포와 관련되지 않는 지속적 화상성(burning) 통증이 있으면서, 이질통(allodynia), 부종, 피부 온도 변화, 피부색 변화, 발한 이상, 영양성 변화(trophic changes) 및 근위축 등이

점진적으로 나타나는 복합성 임상증상으로서 지각성, 자율신경성 및 운동성 증상을 내포하고 있으며, 이러한 환자들의 경우 교감신경 차단과 함께 약물요법, 물리치료, 정신요법 등이 다양하게 이용되고 있다.³ 그러나 국소 마취제나 신경파괴제를 이용한 화학적 차단요법은 폭넓은 질환에 적용하는 치료법임에도 불구하고 적지 않은 문제점을 가지고 있다.⁴ 교감신경 차단 경우 특히, 상지 교감신경의 차단을 위해서는 국소마취제의 용량이 더욱 더 많이 필요하게 되며,⁵ 전신독성의 빈도가 더 증가될 수 있다.⁶ 또한 화학적 신경차단에 따른 경부혈중⁷이 발생할 수 있으며, 정상신경절차단요법의 경우 시술로 인한 합병증이 만만치 않은데, 흔히 일시적인 목뻣, 상지의 무력감, 경부의 둔통, 기침 등이 나타날 수 있으며, 차단자체의 효과인 Horner 증후군이나 비강폐쇄 등을 불쾌히 여기는 경우가 있다.⁸ 따라서 이러한 부작용 등으로 인해 자율신경계 장애를 가진 환자들에게 쉽게 접근하기가 용이하지 않기 때문에 부작용이 적은 물리치료의 접근을 고려해 볼 수 있다.

물리치료 분야에서 전기자극은 최근에도 통증치료⁹나 운동기능조절¹⁰ 조직치유^{11,12} 분야에 널리 사용될 뿐만 아니라 자율신경성 반응과 관련한 분야에서도 연구¹³가 이루어지고 있다. 경피신경전기자극(transcutaneous electrical nerve stimulation, TENS)은 전류의 선택이나 강도가 대부분 감각신경을 조절 대상으로 하고 있고, 급만성 통증의 감소효과가 있다고 알려져 있다.¹⁴

경피신경전기자극은 자극 방식에 따라 크게 관습적인 경피신경전기자극(conventional TENS)이라 불리는 고빈도-저강도 방식과 침 유사형 전기자극(acupuncture liked TENS)라고 불리는 저빈도-고강도 방식으로 사용되고 있다.¹⁵ 국내에서도 전기자극과 관련하여 교감신경계에 대한 여러 연구들이 보고되고 있는데, 대부분 고빈도 전기자극과 관련한 연구들이며 대부분 일시적으로 피부온도가 상승 후 감소한 것으로 보고하였으며,^{4,16,17} Park¹⁸은 체온은 변화가 없었으나 혈압과 맥박이 일시적으로 변화했다고 보고하였다. 그러나 외국의 연구들은 고빈도 전기자극 후 체온이나 혈류량의 변화가 없었다고 보고하였다.^{19,20} 따라서 고빈도 전기자극이 자율신경성 반응에 미치는 효과에 대한 의견이 서로 다른 실정이며 대부분 정확한 주파수에 대한 기준은 있었으나 자극 강도는 연구마다 달라서 자극 강도에 대한 효과적 기준이 제시되지 못하고 있다. 또한 대부분의 선행연구들은 자율신경성 변화에 대한 측정항목으로 경피의 혈류량이나 피부 온도의 변화에 대한 설명이 대부분으로 발한 기능과 관련한 교감신경반응을 알 수 있는 피부전도속도를 포함한 연구들은 거의 없었다. 따라서 본 연구의 목적은 정상 성인여성 교감신경성 반응에 대한 고빈도 경피신경전기자극의 자극 강도에 따른 효과를 알아보고, 이를 통해, 이러한 자극 방식

이 교감신경성 반응에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 실시하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

연구 대상 수는 표본크기 계산프로그램인 G*power 3.0 프로그램을 이용하여, 효과크기 0.25, 유의수준 0.05, 반복자료 간 상관관계 0.5, 검정력(1-β) 80%로 설정하여 산출한 결과 최소 24명인 것으로 나타나, 실험에 자원할 24명을 선발하였다. 대상자의 선정 기준은 심혈관 등의 자율신경계 장애가 없는 자, 근골격계 질환이 없는 자, 최근 1개월 이내 심한 정신적 스트레스를 받지 않은 자로 한정하였다. 대상자들에게 실험 전반에 대한 상세한 설명이 담긴 실험 동의서를 받은 후 연구를 진행하였다. 대상자들은 전기자극 방법에 따라 통계프로그램인 SPSS12.0 프로그램을 이용하여 무작위로 12명씩 2군에 배정하였다. 실험 30분 전에 대상자들을 눈을 감고 편안히 누운 상태로 안정을 취하게 하였다. 총 대상자들의 평균 나이는 21.5±0.8세, 평균 신장은 161.9±3.8 cm, 평균 체중은 55.0±6.8 kg이었으며, 이러한 특성들의 그룹 간 차이는 없는 것으로 나타났다 (Table 1).

Table 1. General characteristics of subjects

Items	Group		Z
	LI TENS	HI TENS	
Age (yr)	21.5±0.9	21.6±0.7	-0.03
Height (cm)	162.4±4.2	161.4±3.6	-0.12
Weight (kg)	57.1±7.1	52.9±6.0	-1.97

All data are mean±SD.

LI TENS: low intensity TENS

HI TENS: high intensity TENS

No significant difference was found between groups.

2. 실험방법

1) 전기자극 방법

전기자극에 사용된 자극기는 비대칭 양상파(unbalanced biphasic wave) 맥동전류(Endmed482, Enraf Nonius, 네덜란드)로 주파수 100 pps, 맥동시간 100 μs, 통전시간 5초, 단전 시간 5초로 설정하였다. 전기자극 시 대상자들의 자세는 눈을 감고 편안히 누운 상태에서 실시하였다. 전극 부착위치는 전완의 앞쪽 면 중간지점 위, 아래 5 cm 부위에 5×5 cm 크기의 접착식 전극을 부착하였다. 자극 강도는 저강도 자극군의 경우 감각역치 3배 강도를 적용하였으며, 고강도 자극군의 경우 최

대내인성 강도로 적용하였다. 총 전기자극 시간은 20분으로 하였다.

2) 측정방법

실험실의 온도는 섭씨 23~25도, 습도는 50~70%를 유지하였다. 대상자들은 실험 1일 전 과도한 운동 금지, 실험 3시간 전 금식, 압박성 의류 착용금지를 하게 하였다. 대상자들의 측정 자세는 눈을 감고 편안히 누운 상태에서 실시하였으며, 측정항목으로는 피부전도속도, 맥박수, 피부온도, 호흡수로 하였다. 측정에 사용된 기기는 MP150(Biopac, 미국)으로 하였고, 검사 전 각 센서 부착부위 아래는 알코올 솜으로 닦고, 마른 후에 센서를 부착하였다. 피부전도속도는 2, 3번째 손가락 끝에서 측정하였고 맥박수는 3번째 손가락 끝에서 측정하였고 피부온도는 1번 손가락 끝에서 측정하였다. 호흡수는 대상자들이 호흡을 충분히 내쉬 후에 겨드랑이 아래에서 센서를 감아서 측정하였다. 각 측정항목의 신호는 분석 프로그램(Acqknowledge 3.9, Biopac, 미국)을 이용하여 분석하였다. 실험 기간 동안 실험실 내, 외부의 소음 등을 최대한 통제하였다. 측정은 전기자극 전, 10분 후, 20분 후, 25분 후에 각각 측정하였다.

모든 측정항목의 변수들은 변화율을 비교하기 위해 다음과 같은 공식을 통해 변환하여 적용하였다.

$$\text{Variable (\%)} = (\text{Post-Pre}) \times 100 / \text{Pre}$$

3. 자료분석

모든 자료는 SPSS12.0 프로그램을 이용하여 분석하였다. 그룹 간 대상자들의 일반적 특성의 차이에 대한 비교는 맨휘트니(Mann-Whitney) 검정을 실시하였고, 그룹 간 측정항목들의 시간에 따른 변화양상 차이 비교는 반복측정분산분석을 실시하였다. 통계학적 유의성을 검증하기 위해 유의수준 α 는 0.05로 하였다.

III. 결과

1. 피부전도성의 변화

고빈도 전기자극 후 피부전도성의 시간에 따른 변화는 다음과 같다(Figure 1). 저강도 자극군은 10분부터 감소하여, 20분에는 약 67% 정도 감소되었다가 25분에는 시작 전보다 약 30%로 다시 회복하는 양상을 보였다. 이에 비해 고강도 자극군은 10분부터 증가하여, 20분에는 약 102% 증가하였다가 25분에는 전기자극 시작 전에 비해 약 30%로 감소하는 양상을 보였다. 통계분석결과 그룹과 시간 사이의 교호작용에서만 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($F_{3,66}=5.32, p<0.05$).

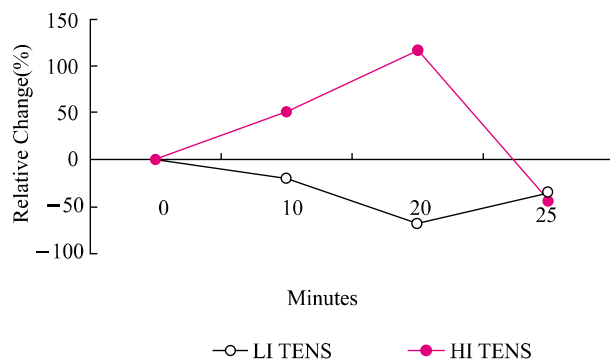


Figure 1. Line graphs depicting relative changes (expressed as a percentage) in skin conductance with low intensity TENS (LI TENS) and high intensity TENS (HI TENS). A significant time \times group interaction was present ($F_{3,66}=5.32, p<0.05$).

2. 맥박수의 변화

고빈도 전기자극 후 맥박수의 시간에 따른 변화는 다음과 같다(Figure 2). 저강도 자극군은 전기자극 시작 직후부터 증가하다가 20분부터 다시 감소하는 양상을 보였고, 고강도 자극군은 전기자극 시작 직후 증가하다가 20분에 감소 후 25분에는 처음 수준으로 회복하는 양상을 보였다. 그러나 주효과 그룹과 시간 및 그룹과 시간 사이의 교호작용 모두 통계적인 차이는 없었다.

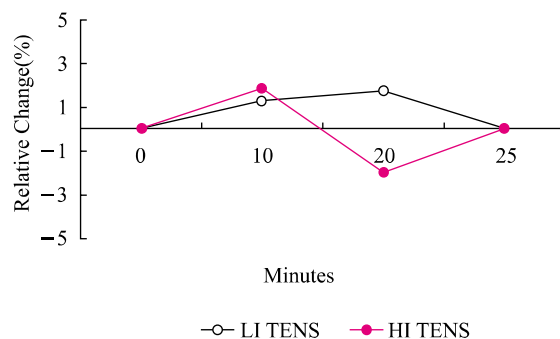


Figure 2. Line graphs depicting relative changes (expressed as a percentage) in pulse rate with low intensity TENS (LI TENS) and high intensity TENS (HI TENS). No significant main effects and interactions were found.

3. 피부온도의 변화

고빈도 전기자극 후 피부온도의 시간에 따른 변화는 다음과 같다(Figure 3). 저강도 자극군은 10분에는 감소하다가, 20분부터 회복하는 양상을 보였으며, 고강도 자극군은 20분부터 감소하여, 25분에는 약간 회복하는 양상을 보였다. 통계분석결과 그룹과 시간 사이의 교호작용에서만 유의한 차이가 있는 것으로

나타났다($F_{3,66}=5.57, p<0.01$).

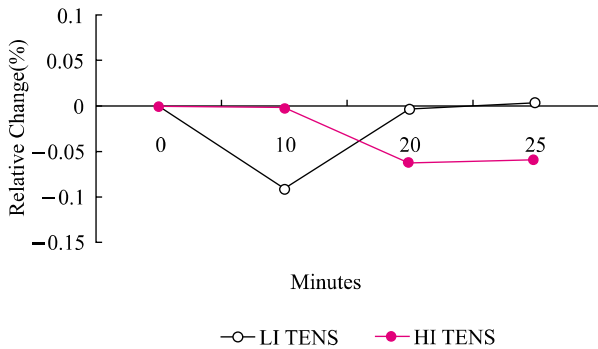


Figure 3. Line graphs depicting relative changes (expressed as a percentage) in skin temperature with low intensity TENS (LI TENS) and high intensity TENS (HI TENS). A significant time \times group interaction was present ($F_{3,66}=5.57, p<0.01$).

4. 호흡수의 변화

고빈도 전기자극 후 맥박수의 시간에 따른 변화는 다음과 같다 (Figure 4). 저강도 자극군은 전기자극 시작 직후부터 증가하다가 20분부터 다시 감소하는 양상을 보였고, 고강도 자극군은 전기자극 시작 직후 증가하다가 20분부터 감소하는 양상을 보였다. 그러나 주효과 그룹과 시간 및 그룹과 시간 사이의 교호 작용 모두 통계적인 차이는 없었다.

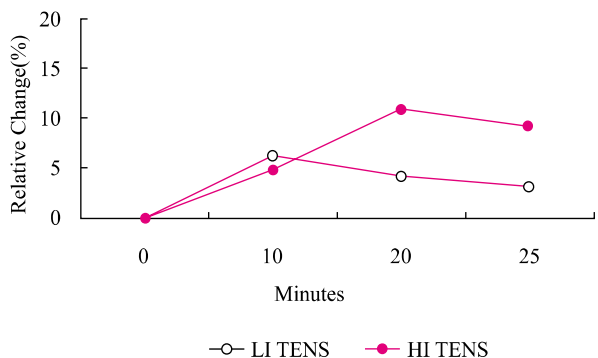


Figure 4. Line graphs depicting relative changes (expressed as a percentage) in respiration rate with low intensity TENS (LI TENS) and high intensity TENS (HI TENS). No significant main effects and interactions were found.

IV. 고찰

경피신경전기자극은 피부 위에 부착된 전극을 통해 일차구심성 섬유를 자극하여 통증조절에 널리 사용되고 있으며, 혈류에 대한 경피신경전기자극의 효과에 대한 연구^{20,21} 및 피부 전도성,

맥박 등에 대한 연구²² 등 자율신경성 반응과 관련된 연구들도 그 양적인 면에서는 통증관련 연구에 비해 상대적으로 적지만 다양한 연구 시도들이 이루어지면서 경피신경전기자극에 의한 자율신경계 변화에 대한 가능성이 꾸준히 보고되고 있다.

본 연구에서는 고빈도 경피신경자극이 정상여성의 교감신경성 반응에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위해서 피부전도 속도, 맥박수, 혈류량의 시간에 따른 변화를 측정하였다.

피부전도속도는 전기자극 시 고빈도-고강도 경피신경전기자극군의 경우 20분 까지 증가하다가 25분에는 다시 감소하여 자극 이전 상태수준까지 회복하는 양상을 보였으나, 고빈도-저강도 경피신경전기자극군의 경우는 이와는 반대의 양상을 보였다. 따라서 고빈도 경피신경전기자극은 자극 강도와 관계없이 피부전도속도에 영향을 미치며, 자극 강도에 따라 그 양상은 달리 영향을 주는 것으로 나타났다.

Kim²³은 경피신경전기자극이나 진동은 국소혈관확장의 증가와 같은 복잡한 자율신경계통의 효과와 결부하여 더욱 일반적인 교감신경활동의 증가 등에 대한 증거가 있다고 보고하였다. 또한 Youn과 Na²⁴의 연구에서는 침자(acupuncture)를 족삼리 부위에 적용한 결과 피부전도속도는 침자 후에 통계학적으로 유의한 차이는 없었지만 증가하는 반응을 보였다고 보고하였고, 교감신경성 반응이 피부의 외분비선에서 일어나는 동안 피부저항은 감소하여 땀을 생산하고 전도성은 증가한다²⁵는 점으로 볼 때, 고빈도-고강도 경피신경전기자극은 교감신경성 반응을 활성화시켜 발한 기능을 일시적으로 촉진시키는 데 도움을 줄 수 있으며, 고빈도-저강도 경피신경전기자극은 오히려 교감신경성 반응을 억제시켜 발한 기능을 일시적으로 억제시키는 데 도움을 주는 것으로 생각된다. 따라서 임상적으로 교감신경반응의 향진으로 발한기능이 비정상적으로 활성화된 환자에게 고빈도-저강도 경피신경전기자극의 적용 가능성에 대한 기초 자료로서 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

맥박수, 호흡수의 시간에 따른 변화 및 차이는 고빈도 경피신경전기자극을 전완에 적용한 경우 강도에 관계없이 모두 없는 것으로 나타났다. Reeves 등²²은 고빈도(100pps)와 저빈도(4pps) 전기자극을 여러 강도로 손등에 20분 동안 적용하고 왼손과 오른손의 가운데 손가락에서 맥박을 측정하였으나 변화가 없다고 보고하였다. 따라서 맥박수, 호흡수의 변화는 전완에 적용한 전기자극의 경우 그 효과가 좀 더 원위부에서 나타나기는 어려운 것으로 생각된다.

피부온도의 시간에 따른 변화는 자극 강도에 따라 다른 양상을 보인 것으로 나타났다. 고빈도-고강도 경피신경전기자극은 20분 후부터 감소하는 것으로 나타났으나 고빈도-저강도 경피신경전기자극은 10분 후에 일시적으로 감소하다가 20분부터는 원상태로 회복하는 양상을 보였다. Sandberg 등²⁶은 승모근

(trapezius muscle)에 적용한 경피신경전기자극 후 근육 내 혈류량과 표피의 혈류량의 변화를 연구한 보고에서 저빈도-고강도 경피신경전기자극 후 근육 내의 혈류량만 증가하였고 고빈도-저강도 등의 경피신경전기자극 후는 변화가 없었다고 보고하였다. 또한 Wong과 Jette²⁷는 고강도의 고빈도, 저빈도, 돌발과 경피신경전기자극 직후 피부온도가 감소하여 교감신경성 반응이 활성화되었다고 보고하면서, 이러한 이유로 경피신경전기자극이 교감성 혈관수축 신경섬유(sympathetic vasoconstrictor nerve fiber)를 활성화시켰을 가능성과 경피신경전기자극에 의한 근수축으로 혈액에 대한 요구도가 증가하여 표피혈관(superficial blood vessel)이 수축했을 가능성을 설명하였다. 따라서 선행연구들과 본 연구의 결과를 검토한 결과 고빈도-고강도의 경피신경전기자극은 근수축에 의한 근육 내 혈액의 요구도를 증가시켜 표피혈관 수축에 의한 피부온도 감소에 영향을 줄 수 있지만 고빈도-저강도의 경피신경전기자극은 피부온도에 영향을 미치지는 어려운 것으로 생각된다. 따라서 고빈도-고강도의 경피신경전기자극은 피부온도 감소효과와 더불어 교감신경장애로 인한 근위축 등의 증상을 가진 환자에게 근수축을 증가시켜 근육 내 혈액을 증가시키는 데 도움을 줄 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점으로는 대상자가 정상인이었다는 점으로, 자율신경계 장애가 있는 사람을 대상으로 한 실험에서는 결과가 다를 수 있기 때문에, 향후에는 자율신경계 장애가 있는 사람에 대한 연구들이 추가적으로 필요할 것으로 생각된다.

V. 결론

본 연구의 결과는 전완에 적용한 고빈도-고강도 경피신경전기자극은 교감신경성 반응을 활성화시켜 발한기능을 향진시키고, 이와 더불어 근수축을 통한 근육 내 혈액 요구도를 증가시켜 표피혈관수축에 의한 피부온도 감소에 일시적인 영향을 미칠 수 있는 것으로 생각된다. 또한 전완에 적용한 고빈도-저강도 경피신경전기자극은 교감신경성 반응을 억제시켜 일시적으로 발한기능을 억제시키는 데에만 영향을 미칠 수 있으나 전완에 적용한 고빈도-고강도 및 고빈도-저강도 경피신경전기자극은 모두 맥박수나 호흡수에는 영향을 미치지 못하는 것으로 생각된다. 따라서 이러한 자료는 향후 자율신경계에 장애가 있는 환자에게 고빈도 경피신경전기자극의 치료와 관련한 기초자료로서 활용될 수 있을 것이라 생각된다.

Author Contributions

Research design: Choi YR

Acquisition of data: Lee JW

Analysis and interpretation of data: Lee JW

Drafting of the manuscript: Choi YR

Research supervision: Lee JW

Acknowledgements

본 연구는 2009년도 대구과학대학 교육역량강화사업단의 지원을 받아 수행된 연구임

참고문헌

1. Moon JY, Kim YC, Park MJ et al. Cognitive assessment in complex regional pain syndrome patients. *Korean J Pain*. 2009;22(1):28-32.
2. Raja SN, Grabow TS. Complex regional pain syndrome I (reflex sympathetic dystrophy). *Anesthesiology*. 2002; 96(5):1254-60.
3. Song SO, Kim SK. Therapeutic effects of stellate ganglion block in management of upper extremity reflex sympathetic dystrophy (RSD, CRPS type I). *Korean Journal of Anesthesiology*. 1997;33(6):1176-84.
4. Hwang TY, Park RJ, Kim TY et al. Influencing of electrical stimulation to cervicothoracic sympathetic ganglion on the temperature change of body surface. *J Kor Soc Phys Ther*. 2000;12(2):121-32.
5. Raj PP. *Practical management of pain*. 3rd ed. St Louis, Mosby, 2000:659.
6. Gwak HJ, Son JS, Kim DK et al. The utility of upper limb sympathetic block by modified injection technique in stellate ganglion block. *Korean Journal of Anesthesiology*. 2006;50(6):685-8.
7. Han YJ, Choi H. Hematoma in neck after stellate ganglion block. *Journal of the Korean Pain Society*. 1994;7(2):270-2.
8. Cheon IS, Kim JI, Ban JS et al. Clinical experiences of stellate ganglion block therapy. *Journal of the Korean Pain Society*. 1993;6(2):204-7.
9. Seo SK, Cho WS, Lee JW et al. Effects of auricle electric stimulation on pain, gait and balance in the old aged with knee joint disease. *J Kor Soc Phys Ther*. 2008;20(2):11-7.
10. Cho IS, Jang JS, Kim K et al. The effect of EMG-stim on upper limb function in chronic stroke patients. *J Kor Soc Phys Ther*. 2009;21(2):1-8.
11. Lee HM, Chae YW. Influence of microcurrent therapy I interleukin-1 expression in rheumatoid arthritis rats. *J Kor Soc Phys Ther*. 2009;21(2):103-8.

12. Oh HJ, Kim JW, Kim MS et al. The effect of microcurrent stimulation on histological structure of wound in rat. *J Kor Soc Phys Ther.* 2008;20(1):67-73.
13. Kim JH. The inhibition of hypertension-related response by 17β -estradiol and the increase of 17β -estradiol activity by electrical stimulation. *J Kor Soc Phy Ther.* 2009;21(2): 109-16.
14. Gersh MR, Wolf SL, Rao VR. Evaluation of transcutaneous electrical nerve stimulation for pain relief in peripheral neuropathy. *Phys Ther.* 1980;60(1):48-52.
15. Kim TY, Park JS, Lee JW et al. *Clinical electrophysiology.* Seoul, Epublic, 2009:185.
16. Park JS. Transcutaneous electrical nerve stimulation on sympathetic nerve activity in delayed onset muscle soreness. *J Kor Soc Phys Ther.* 2002;14(1):109-15.
17. Park RJ, Lee MH, Kim DH. The effects of interferential current therapy on sympathetic nerve system in senile patients. *J Kor Soc Phys Ther.* 2003;15(2):111-22.
18. Park RJ. The effects of transcutaneous electrical nerve stimulation and microampere electrical nerve stimulation on sympathetic tone in healthy subjects. *J Kor Soc Phys Ther.* 1997;9(1):51-7.
19. Cramp FL, McCullough GR, Lowe AS et al. Transcutaneous electric nerve stimulation: The effect of intensity on local and distal cutaneous blood flow and skin temperature in healthy subjects. *Arch Phys Med Rehabil.* 2002;83(1):5-9.
20. Indergand HJ, Morgan BJ. Effect of interference current on forearm vascular resistance in asymptomatic humans. *Phys Ther.* 1995;75(4):306-12.
21. Cramp AF, Gilsenan C, Lowe AS et al. The effect of high- and low-frequency transcutaneous electrical nerve stimulation upon cutaneous blood flow and skin temperature in healthy subjects. *Clin Physiol.* 2000;20(2):150-7.
22. Reeves JL 2nd, Graff-Radford SB, Shipman D. The effects of transcutaneous electrical nerve stimulation on experimental pain and sympathetic nervous system response. *Pain Med.* 2004;5(2):150-61.
23. Kim IH. Autonomic and skeletal muscle response to non-electrical cutaneous stimulation. *Journal of the Korean Pain Society.* 1994;7(2):307-14.
24. Youn DH, Na CS. Effect of acupuncture st36 on skin temperature, galvanic skin response and heart rate in humans. *The Korean journal of meridian and acupoint.* 2003;20(3): 29-34.
25. Westeyn T, Presti P, Starnery T. Action GSR: a combination galvanic skin response-accelerometer for physiological measurements in active environments. *Tenth IEEE international symposium on wearable computers (ISWC 2006).* 2006:129-30.
26. Sandberg ML, Sandberg MK, Dahl J. Blood flow changes in the trapezius muscle and overlying skin following transcutaneous electrical nerve stimulation. *Phys Ther.* 2007;87(8):1047-55.
27. Wong RA, Jette DU. Changes in sympathetic tone associated with different forms of transcutaneous electrical nerve stimulation in healthy subjects. *Phys Ther.* 1984;64(4): 478-82.