

진폭변조주파수가 혈류량변화에 미치는 효과

대구대학교 대학원 재활과학과 물리치료전공

이 문 환

대구대학교 대학원 재활과학과 물리치료전공

남 형 천

대구대학교 재활과학대학 물리치료학과

박 래 준

The Effects of Blood Flow Change to Amplitude Modulated Frequency

Lee, Mun-Hwan, P. T., M. S.

Major in Physical Therapy, Department of Rehabilitation, Graduate school, Daegu University

Nam, Hyung-Cheon, P. T., M. S.

Major in Physical Therapy, Department of Rehabilitation, Graduate school, Daegu University

Park, Rae-Joon, P. T., Ph. D.

Department of Physical Therapy, College of Rehabilitation Science, Daegu University

<Abstracts>

AMF(amplitude modulated frequency) is defined as currents in the frequency range 1 to 100Hz. The aim of this study was to determine the effects of blood flow and skin temperature according to different stimulating frequency(1~30Hz, 30~50Hz, 50~100Hz) of interferential currents.

The results were as follow;

1. There were statistical significance on the blood flow with IFC 1, IFC 2, and IFC 3 group, and inter-groups($p < 0.05$).
2. There were statistical significance on the skin temperature with IFC 1 and IFC 3 group, and inter-groups($p < 0.05$).
3. IFC 1 was more statistical significance than IFC 3 group on blood flow($p < 0.05$)
4. There was no statistical significance between IFC 1 and IFC 3 group on skin temperature($p > 0.05$).

I. 서론

4,000Hz~4,100Hz의 두개의 중주파를 교차통전시키면 1~100Hz의 새로운 저주파가 발생하는데 이것을 간섭전류(interferential current, IFC) 또는 진폭변조교류전류(amplitude modulating alternating current)라 한다. 이것은 임상에서 물리치료사들이 통증조절을 위해 가장 흔히 사용하는 치료기구 중에 하나이며, 또한 그만큼 간섭전류치료의 효과에 대한 실험적인 증거들 또한 많이 제시되어 있는 상황이다. 하지만 간섭전류자극과 관련된 통증조절효과에 대한 이론적인 주장에 있어서는 다양한 견해가 충돌을 일으키고 있는 상황이며, 현재까지도 체성구심성신경(somatic afferent nerves)을 전기자극했을 때 나타나는 진통효과에 관한 명확한 기전은 여전히 밝혀져 있지 않은 상황이다. 하지만 몇몇 이론들이 제기되어 있는데, 그 중에서 가장 대표적인 이론이 내분비성 아편계 조절이론이다. 즉 고빈도 전기자극은 통증인지(pain perception)와 통증내성(pain tolerance)에 대해 기간이 짧고 국소적인 효과를 나타내는데, 이러한 효과는 척수분절수준에서의 상호작용에 의해 발생하는 것이며(Fields & Basbaum, 1989; Melzack, 1975), 이와는 달리 1-4Hz의 저빈도 전기자극은 진통효과가 국소적이지 않고 효과가 길게 나타나며, 각성(sleepness) 또는 진정작용(calmness)이 함께 동반되어 나타나기도 하는데 이러한 효과에 대해 몇몇 연구자들은 엔돌핀(endorphine)과 엔케팔린(enkephaline)과 같은 내분비성 아편계(endogenous opioid system)가 관여한다고 주장하고 있다(Terman & Liebeskind, 1986; Watkins & Mayer, 1986). 그 예로 Clement-Jones 등(1980)은 저빈도 전기자극이 습관성 통증(recurrent pain)을 호소하는 환자의 척수액에서 베타엔돌핀(β -endorphine)의 수치가 증가되었다고 보고하였고, 최영덕 등(2002)도 3Hz의 저빈도 전기자극군에서 강력한 혈관확장물질로서 통증조절에 관여하는 것으로 알려진 혈관활성장관펩티드(vasoactive intestinal peptide, VIP)가 유의하게 증가하였지만, 100Hz의 고빈도 전기자극군에서는 대조군에 비해 유의한 변화가 없었다고 보고하여 이러한 주장을 뒷받침하고 있다.

그리고 혈류순환에 영향을 미치는 감각자극에 대한 많은 원인 중에 하나는 자율신경계의 영양하에 있는 피하혈류가 교감신경원에 의해 신경 지배 되기 때문인데(Jämg, 1990), 전기자극은 강한 혈관확장제로서 감각신경을 자극하는 유형 중에 하나이다(Jansen et al., 1989; Lundeborg, 1993). 혈류순환(circulation)은 교감신경의 출구(sympathetic outflow)와 연결되어 있는 흥분성 신경원인 Type III와 IV의 자극에 의해 조절된다. 감각신경자극 후 교감신경의 활동성이 감소되어 피부온도가 상승하게 되는 것은 아마도 많은 양의 날록손(naloxone)에 의해 제거될 수 있는 아편제제(opioid)에 의해 조절되기 때문이며, 또한 시상하부(hypothalamus)의 베타-엔돌핀계(β -endorphin system)가 이 구조물에서 발생하는 병변에 의해 상호작용하기 때문이다(Andersson, 1992; Andersson, 1993).

감각신경자극 역시 강력한 혈관확장제로 알려진 물질-P(substance-P, SP)와 칼시토닌 유전자 관련 펩티드(calcitonin gene-related peptide, CGRP)의 국소적인 방출을 유도하게 되는데, SP나 혹은 CGRP의 동맥내 주입에 따른 혈류순환에 관한 연구를 보면 A δ 와 같은 얇은 구심성 신경섬유를 국소적으로 전기자극하는 것과 같은 방식으로 혈류량을 증가시키게 되며(Jansen et al., 1989; Andersson, 1992), 이러한 결과는 피부온도의 변화와 혈관확장과도 상호연관성이 있다(Felder et al., 1954; Hertzman, 1953).

전기자극이후 혈액순환의 증가에 관해서는 임상적인 근거 또한 부족한 실정이지만 몇몇 연구자들에 의하면 간섭전류가 말초혈류순환에 영향을 미친다고 보고하고 있는데 첫 번째 이유가 교감신경의 생리적인 차단이며, 두 번째가 골격근의 펌핑능력 향상이다. 교감신경의

생리적인 차단에 관해서 종종 제기되는 하나의 기전은 고빈도 전기자극에 의해 작은 소동맥(arteriole)들의 교감신경섬유가 생리학적인 차단을 일으킨다는 주장이다. 이러한 신경활동의 억제제는 작은 소동맥의 근육막(muscular coat)의 교감신경 긴장도를 억제시켜 혈류순환을 증가시킬 수 있다고 주장한다(DeDomenico, 1987; Goats, 1990; Nikolova, 1987; Savage, 1984). 하지만 이러한 주장과는 반대로 Lamb와 Mani(1994)는 초음파 도플러혈류속도측정기(ultrasound Doppler flowmetry)와 레이저 도플러 혈류속도측정기(laser Doppler flowmetry)를 사용하여 하퇴 상 1/3부위에서 경골동맥과 경골신경에 대해 4극배치를 하여 다양한 간섭전류 자극빈도(0~30, 45~90 그리고 100~150Hz)를 15분간 적용한 후 동맥혈류에 미치는 영향에 대해 연구를 하였는데, 그 결과 전기자극중과 전기자극후 즉시, 그리고 치료 7분후에 유의하게 증가하였다고 보고하였지만 각 군 간의 비교에 있어서는 유의한 차이가 없다고 하여 자극빈도에 따른 혈류량 증가는 유의하지 않다고 주장하였다. 또한 Nussbaum 등(1990) 역시 다양한 간섭전류자극빈도(0~100Hz, 90~100Hz)를 적용하여 경추의 교감신경사슬(cervical sympathetic chain)과 성상신경절, 요추의 교감신경(sympathetic outflow), 그리고 말초교감신경을 자극하여 간섭전류자극 말초혈류속도에 영향을 미치는지, 그리고 그러한 결과가 교감신경의 활동성과 연관이 있는지 알아본 연구에서 혈관확장은 그 어느 자극빈도에서도 관찰되지도 않았으며, 다양한 전극부착부위에서도 그러한 결과는 나타나지 않았다고 보고하였다. 하지만 Ganne(1976)은 상완신경총(brachial plexus)을 100Hz의 고빈도로 전기자극한 후 손에서 혈관확장을 관찰한 결과 유의하게 증가하였다고 보고하였고, 그리고 Svedberg(2001)는 2Hz의 자극빈도로 전기침(acupuncture)을 이용하여 뇌성마비, 진행성뇌병변증 혹은 Smith-Lemli-Opitz증 후군 환자 6명을 대상으로 좌과 다리에 전기자극한 후 전두부, 흉골상절흔, 손바닥과 손등, 발등과 발바닥에서 피부온도를 측정된 결과 신경학적 원인으로 인한 사지의 냉감을 느끼는 아이들에게서 피부온도가 상승하였다고 보고하였고, Noble 등(2000)은 건강한 성인 남녀 20명씩 총 40명을 대상으로 10~100, 80~100, 10~20Hz의 실험군과 위약군, 그리고 대조군에 대해 무작위 배치하여 대퇴사두근을 전기자극한 후 레이저 도플러 혈류속도 측정기를 이용하여 대퇴사두근의 혈류속도를 측정된 결과 10~20Hz의 주파수에서 다른 군에 비해 혈류량이 유의하게 증가하였다고 보고하였다.

두 번째 제기되는 이론은 골격근의 펌핑작용 이론이다. 안정시 근육의 혈류량은 근육조직 100ml당 4~7ml/min의 비율로 통과하게 되며, 단일 연속시에는 혈류속도에 비례하여 근육조직 100ml당 100ml/min보다 더 높은 비율로 증가하거나 휴식시의 혈류량보다 15~20배 증가하게 된다(Tonnessen et al., 1986). 따라서 간섭전류에 의해서 개개의 운동단위가 비동시적으로 탈분극을 발생시켜서 간헐적인 근육의 수축이 발생하게 되는데 그로인해 정상적인 근수축시에 관찰되는 정상적인 패턴, 즉 수축과 이완을 통해 혈류순환을 증가시키게 되는 것이다.(Goats, 1990).

많은 연구자들은 고빈도 전기자극이 근육격펌프(musculoskeletal pump)를 활성화시켜 말초혈액순환을 증가시키게 된다고 주장하고 있는데(DeDomenico & Strauss, 1985; Goats, 1990; Savage, 1984), Thomas와 Maria(2003)는 하지에 3Hz의 주파수로 자극한 결과 하지의 혈류량이 증가되었다고 보고하였으며, Brechue 등(1991)은 50Hz에서 혈류량이 증가한다고 보고하였고, Wakim(1953)은 8~32Hz의 주파수 범위에서 혈류량이 증가한다고 보고하였다.

통증조절을 위해서는 고빈도 전기자극이 적절하며, 근수축을 위해서는 저빈도 전기자극이 적절하다는 주장에 비추어 보면(이재형, 1998), 저빈도 간섭전류가 수의근을 수축시키게 되어 혈류량을 증가시킨다는 주장이 더 설득력이 있다고 추정할 수도 있다. 하지만 문헌상

에 따르면 반대적인 결과도 있고, 간섭전류치료에 관해 제기된 효과에 대해서는 실험적인 증거가 부족하기 때문에 간섭전류자극에 대한 임상적인 효용성에 관해서는 여전히 논란의 여지가 있다(Noble et al., 2000).

따라서 본 연구자는 4,000Hz와 4,100Hz를 교차통전시킬 경우 발생하는 진폭변조교류전류(amplitude modulated alternating current)중에서 10~30Hz, 30~50Hz, 50~100Hz의 간섭전류자극이 피부온도와 혈류량에 미치는 영향에 대해 규명하는 한편 자극빈도간에 미치는 차이에 대해 알아보하고자 한다. 이상과 같은 연구목적을 달성하기 위하여 앞서 언급한 선행 연구를 바탕으로 경부통증환자 50명에 대해 5번 경추에서 1번 흉추수준까지 간섭전류치료기를 이용해서 흡인전극을 4극배치한 후 20분간 전기자극하여 자극빈도에 따라 피부온도와 혈류량에 어떠한 영향을 미치는지 알아보하고자 본 연구를 수행하였다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구는 2004년 12월 1일부터 2005년 2월 15일까지 진주시에 소재한 H-한방병원에서 경추부 염좌(cervical sprain)로 인해 물리치료를 받기 위해 내원한 환자 50명을 대상으로 IFC 1(10~30Hz), IFC 2(30~50Hz), IFC 3(50~100Hz), 위약군, 그리고 대조군에 각각 10명씩 무작위 배치하여 본 연구를 수행하였으며, 위약군은 4극전극을 교차배치한 후 전류강도는 0(zero)으로 유지하였으며, 대조군에는 아무런 처치를 하지 않았다.

본 연구에 참여하기로 동의한 환자에게는 치료과정에 관해 충분한 설명을 하였으며, 실험중에 통증을 느끼거나, 실험을 계속할 수 없을 정도로 어떠한 불편함을 느끼는 경우 참지 말고 즉시 말할 것을 지시하였으며, 해당 환자에 대해서는 실험을 중지하였다. 그 이유는 옆드려 누운 자세로 인해 복압이 항진되어 자율신경계에 영향을 미칠 수 있고, 통증 또한 뇌혈류속도에 영향을 미칠 수 있기 때문에 자료수집의 근거가 미약하다고 판단되어 통계처리에서 제외시켰다.

2. 연구방법

치료실 온도는 연구기간 동안 일정하게 평균 23℃를 유지하고, 모든 연구대상자는 실험 12시간 전부터 격렬한 운동을 삼가게 하였으며, 실험 1시간 전부터 담배와 커피, 그리고 음료수 등 뇌혈류속도에 영향을 미칠 수 있는 음식물의 섭취를 제한시켰다. 또한 연구대상자의 심적안정을 도모하기 위하여 측정전 침대에 편안히 누운 상태를 약 10분 정도 유지한 후 간섭전류를 적용하면서 뇌혈류속도를 측정하였으며, 모든 연구대상자는 다음의 조건을 만족하는 자로 하였다.

- (1) 급성관절염이나 심장에 문제가 없는 자
- (2) 심부정맥의 혈전증 소인이 없는 자
- (3) 이전에 방사선 치료를 받은 적이 없고 악성 종양이 없는 자
- (4) 피부질환이 없는 자(박래준과 박영한, 2003).

3. 측정장비 및 방법

1) 전기자극기

간접전류자극기는 ENDOMED582(Enraf-Nonius, Holland)의 흡인식 4극 전극이 부착된 장비를 이용하였다(Figure 1).

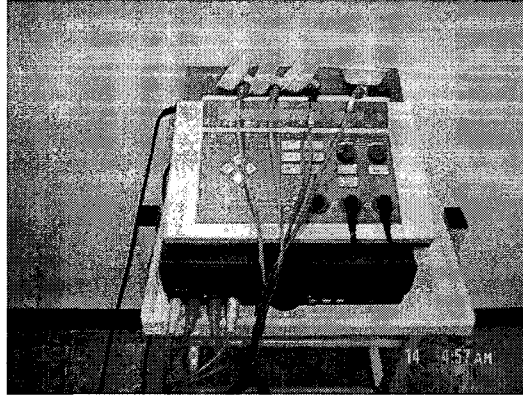


Figure 1. Electrical Modality used in this study

2) 전극부착 방법

전극부착은 환자로 하여금 엎드려 누운 자세(prone position)를 취하게 한 후 피실험자가 가장 편안하게 느끼는 자세를 취하게 하여 5번 경추에서 1번 흉추수준까지 극돌기에서 5cm떨어진 횡돌기 부위에 4극전극을 교차배치(heterodyne method)하였다. 전류강도는 환자가 통증을 느끼지 않으면서 가장 편안하게 느끼는 최대 강도를 적용하였는데 평균 약 25mA 정도였으며, 자극시간은 20분 동안 적용하였고, 흡인(suction)강도는 약 2~3 정도를 유지한 상태에서 실시하였다(Figure 2).



Figure 2. Method of IFC electrode application

3)혈류량측정

혈류량의 변화를 측정하기 위한 도구로는 TSD200 photo plethysmogram transducer를 Biopack System MP 150(Biopac System, Inc., USA)에 연결하여 사용하였다. 연구대상자는 엎드려 누운상태에서 오른쪽 시지 끝에 simple sensor를 부착한 후 실험전부터 30분후까지 5분 단위로 컴퓨터 화면에 나타나는 최대값(peak)을 기록하였다(Figure 3).

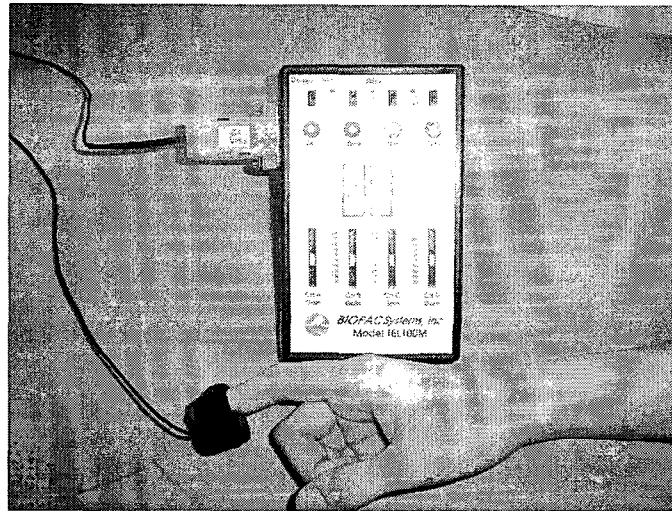


Figure 3. Method of blood flow measurement with TSD200 photo plethysmogram transducer.

TSD200은 적외선 방출기(infrared emitter)와 photo diode가 연결되어 있는데 신체의 특정위치에 따라 변하게 되는 혈액의 밀도변화를 감지하여 전송하는 기능을 한다. 또한 이것은 피하의 혈압을 적외선을 통해 감지한다. 반사된 빛은 광저항기(photo resistor)의 저항성을 변화시켜 전압의 출력을 조절하게 된다.

3)피부온도 측정

피부온도는 0.1초까지 측정이 가능한 디지털체온계를 사용하여 환자로 하여금 전기자극 전부터 전기자극이 끝나는 30분 동안 지속적으로 왼손의 엄지(thumb)와 시지(index finger)로 프로브(probe)의 끝을 잡고 있게 하여 실험기간 내내 실시간 측정하였다

5. 자료분석

SPSS 10.0 for Window를 이용하여 혈류량과 피부온도에 대한 유의성을 검정하기 위하여 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였으며, 각 구간별 유의성을 검정하기 위하여 Scheffe 사후검정을 실시하였다. 그리고 각 군 간의 유의성을 검정하기 위하여 반복측정 분산분석을 실시하였으며, 저빈도군과 고빈도군 간의 유의성을 검정하기 위하여 독립표본 T-검정을 실시하였다. 유의확률은 $p < .05$ 로 하였다.

IV. 연구결과

1. 연구대상자의 일반적인 특성

본 연구에 참여한 연구대상자의 성별은 IFC 1군은 남자 4명, 여자 6명이고, IFC 2군은 남자 5명, 여자 5명이고, IFC 3군은 남자 2명, 여자 8명이고, 위약군은 남자 4명, 여자 6명이었다. 그리고 대조군은 남자 5명, 여자 5명으로 각 군당 10명으로 총 50명이었다.

IFC 1군의 나이는 25세에서 64세로 평균 49.50 ± 14.77 세였으며, IFC 2군의 나이는 23세에서 59세로 평균 41.60 ± 14.55 세였으며, IFC 3군의 나이는 32세에서 61세로 평균 49.80 ± 9.91 세였으며, 위약군의 나이는 26세에서 61세로 평균 45.20 ± 12.76 이었다. 그리고 대조군의 나이는 25세에서 61세로 평균 42.80 ± 13.26 세였으며, 전체평균나이는 23세에서 64세로 평균 45.78 ± 13.07 세였다.

IFC 1군의 키는 153cm에서 175cm로 평균 161.80 ± 7.05 cm이었고, IFC 2군의 키는 152cm에서 176cm로 평균 164.30 ± 9.26 cm이었고, IFC 3군의 키는 151cm에서 173cm로 평균 158.10 ± 6.62 cm이었으며, 위약군의 키는 150cm에서 177cm로 평균 163.50 ± 9.95 cm이었다. 그리고 대조군의 키는 152cm에서 175cm사이로 평균 163.80 ± 8.47 cm이었고, 전체평균 키는 150cm에서 177cm사이로 평균 162.30 ± 8.34 cm이었다.

IFC 1군의 몸무게는 51kg에서 75kg으로 평균 59.60 ± 8.21 kg이었고, IFC 2군의 몸무게는 48kg에서 68kg으로 평균 60.10 ± 7.50 kg이었고, IFC 3군의 몸무게는 41kg에서 70kg으로 평균 53.70 ± 8.87 kg이었고, 위약군의 몸무게는 43kg에서 77kg으로 평균 63.70 ± 12.34 kg이었다. 그리고 대조군의 몸무게는 48kg에서 77kg으로 평균 61.40 ± 9.44 kg이었으며, 전체평균 몸무게는 41kg에서 77kg으로 평균 59.70 ± 9.63 kg이었다. 이들 각 군에 대한 일원배치분산분석결과 모든 군 간에 유의성이 없었다($p > 0.05$).

연구대상자의 일반적인 특성은 다음과 같다(Table 1).

Table 1. Demographic data for the experimental groups and control group(One-way ANOVA for age, height, and weight is reported in the text. N=10 per group)

Group	N	Gender		Age(yrs)	Height(cm)	Weight(kg)
		Male	Female			
IFC 1	10	4	6	49.50 ± 14.77	161.80 ± 7.05	59.60 ± 8.21
IFC 2	10	5	5	41.60 ± 14.55	164.30 ± 9.26	60.10 ± 7.50
IFC 3	10	2	8	49.80 ± 9.91	158.10 ± 6.62	53.70 ± 8.87
Placebo	10	4	6	45.20 ± 12.76	163.50 ± 9.95	63.70 ± 12.34
Control	10	5	5	42.80 ± 13.26	163.80 ± 8.47	61.40 ± 9.44
Total	50	20	30	45.78 ± 13.07	162.30 ± 8.34	59.70 ± 9.63

Note. Values are Mean \pm SD

2. 혈류량에 대한 각 군 간의 비교

실험군과 위약군, 그리고 대조군의 실험전, 5분후, 10분후, 15분후, 20분후, 25분후, 그리고 30분후의 혈류량에 대한 일원배치분산분석결과 평균과 표준편차는 아래와 같다(Table 2).

Table 2. Mean and standard deviation for IFC groups and Control group across the 7 experimental cycles to blood flow.

	IFC 1		IFC 2		IFC 3		Placebo		Control	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Pre	2.19	0.29	2.02	0.27	1.80	0.42	2.20	1.17	2.19	1.06
5Min.	3.10	0.60	2.63	0.37*	2.66	0.37*	2.53	1.11	2.49	1.09
10Min.	3.32	0.79*	2.59	0.38*	2.63	0.40*	2.82	1.33	2.49	1.05
15Min.	3.31	0.69*	2.47	0.30	2.61	0.50*	2.78	1.27	2.43	0.93
20Min.	3.37	0.60**	2.40	0.31	2.52	0.57	2.47	1.08	2.31	0.93
25Min.	3.20	0.59*	2.51	0.34	2.50	0.52	3.08	1.80	2.52	1.27
30Min.	2.92	0.53	2.32	0.41	2.43	0.33	3.15	1.69	2.56	1.08

* $p < 0.05$

** $p < 0.01$

혈류량에 대한 각 군의 구간별 유의성을 검정하기 위하여 Scheffe 사후검정을 실시한 결과 IFC 1군은 실험전에 비해 10분후, 15분후, 20분후, 그리고 25분후에 유의하게 증가하였으며($p < 0.05$), IFC 2군은 실험전에 비해 5분후와 10분후에 유의하게 증가하였다($p < 0.05$). 그리고 IFC 3군은 실험전에 비해 5분후, 10분후, 그리고 15분후에 유의하게 증가하였다($p < 0.05$). 위약군과 대조군에서는 실험전에 비해 모든 구간에서 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$)(Figure 4).

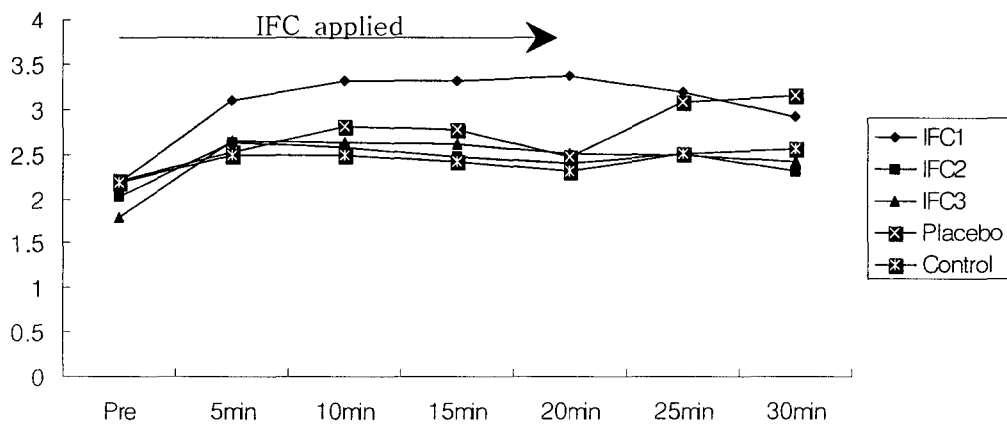


Figure 4. Post-hoc comparison of blood flow between experimental groups and control group across the 7 experimental cycles.

그리고 각 군 간의 유의성을 검정하기 위하여 반복측정 분산분석을 실시한 결과 각 군 간에는 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$)(Table 13).

Table 13. Results of One-Way Repeated-Measures ANOVA on the percentage change in blood flow

	Type III SS	df	MS	F	P
Intercept	1969.092	1	1969.092	485.935	.000
Group	137.195	4	34.299	8.464	.000
Error	182.348	45	4.052		

3. 피부온도에 대한 각 군 간의 비교

실험군과 위약군, 그리고 대조군의 실험전, 5분후, 10분후, 15분후, 20분후, 25분후, 그리고 30분후의 피부온도에 대한 일원배치분산분석결과 평균과 표준편차는 아래와 같다(Table 3).

Table 3. Mean and standard deviation for IFC groups and Control group across the 7 experimental cycles to skin temperature.

	IFC 1		IFC 2		IFC 3		Placebo		Control	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Pre	33.31	0.57	33.49	1.71	33.24	0.95	32.34	1.62	33.21	1.70
5Min.	34.59	0.65**	34.36	1.42	35.24	1.15*	32.57	1.74	34.09	1.43
10Min.	34.65	0.61**	34.32	1.38	35.20	1.17*	32.50	1.82	33.38	1.50
15Min.	35.04	0.38**	34.54	1.37	35.44	1.16**	32.63	1.44	33.62	1.11
20Min.	35.05	0.40**	34.52	1.39	34.79	1.02	32.64	1.55	33.60	1.24
25Min.	34.97	0.40**	34.24	1.57	34.83	1.14	32.70	1.41	32.96	1.59
30Min.	34.98	0.43**	34.18	1.58	34.94	0.84	32.70	1.50	33.60	1.76

* $p < 0.05$

** $p < 0.01$

피부온도에 대한 각 군의 구간별 유의성을 검정하기 위하여 Scheffe 사후검정을 실시한 결과 IFC 1군은 실험전에 비해 5분후, 10분후, 15분후, 20분후, 25분후, 그리고 30분후에 유의하게 증가하였으며($p < 0.05$), IFC 3군은 실험전에 비해 5분후, 10분후, 그리고 15분후에 유의하게 증가하였다($p < 0.05$). 그리고 IFC 2, 위약군, 그리고 대조군에서는 실험전에 비해 모든 구간에서 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$)(Figure 5).

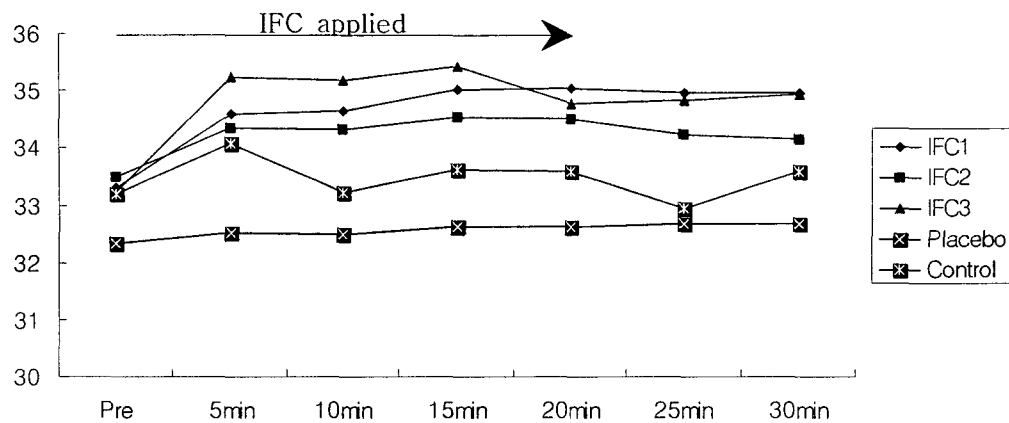


Figure 5. Post-hoc comparison of skin temperature between experimental groups and control group across the 7 experimental cycles.

그리고 각 군 간의 유의성을 검정하기 위하여 반복측정 분산분석을 실시한 결과 각 군 간에는 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$) (Table 11)

Table 11. Results of One-Way Repeated-Measures ANOVA on the percentage change in skin temperature

	Type III SS	df	MS	F	P
Intercept	410842.495	1	410842.495	13655.928	.000
Group	525.315	4	131.329	4.365	.005
Error	1353.838	45	30.085		

4. 혈류량에 대한 저빈도군과 고빈도군 간의 비교

혈류량에 대한 저빈도군과 고빈도군 간의 차이를 검정하기 위하여 독립표본 T검정을 실시한 결과 실험전에 비해 10분후, 15분후, 20분후, 25분후, 그리고 30분후에 고빈도군 보다 저빈도군에서 유의하게 증가하였다($p < 0.05$)(Figure 6).

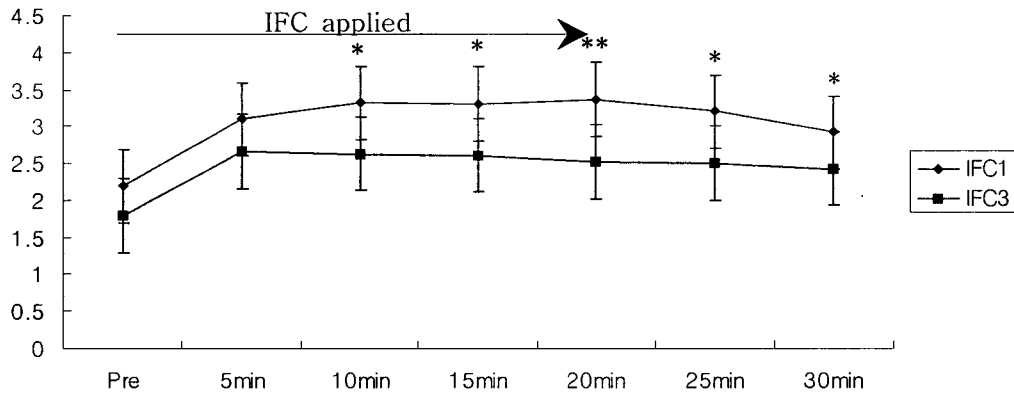


Figure 6. A comparison of blood flow between IFC 1 and IFC 3 group across the 7 experimental cycles.

* $p < 0.05$

** $p < 0.01$

5) 피부온도에 대한 저빈도군과 고빈도군 간의 비교

피부온도에 대한 저빈도군과 고빈도군 간의 차이를 검정하기 위하여 독립표본 T검정을 실시한 결과 두 군 간에 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$)(Figure 7).

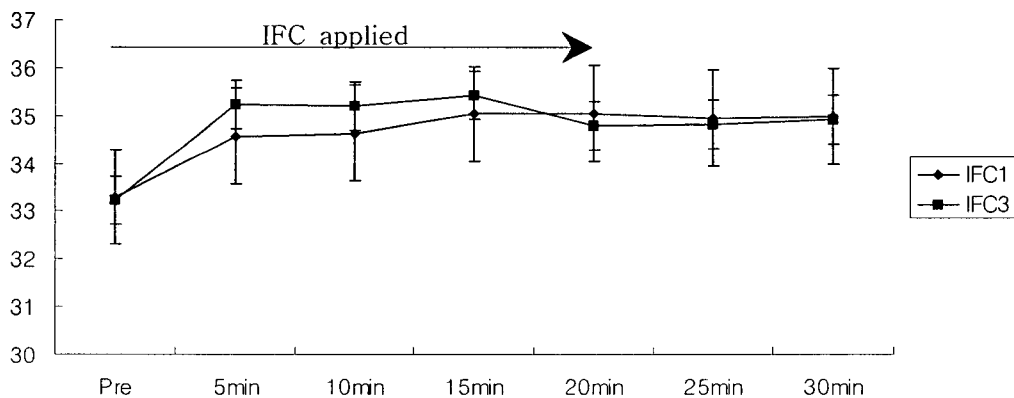


Figure 7. A comparison of skin temperature between IFC 1 and IFC 3 group across the 7 experimental cycles.

V. 고찰

전기자극은 전 세계적으로 근력강화와 근 지구력향상, 통증조절, 조직치유증진, 경직성(spasticity)감소, 그리고 보조기지지 등의 목적으로 널리 이용되고 있다(Low & Reed, 2000; Selkowitz, 1999). 그 중에서 간섭전류는 서로 다른 2개의 중주파수의 교차현상에 의해 간섭현상을 발생시켜서 진폭변조된 저주파 전류를 생성시키게 된다(박래준 등, 2004). 중주파 전류 치료기는 Hans Nemece이라는 발명가에 의해 처음으로 기술되었는데 Nemece(1959)의 진술에 따르면 중주파 치료기에 대한 2개의 기본적인 관점이 있다. 첫 번째는 중주파 교류전류의 사용에 의해 피부의 저항이 최소화된다는 것이다. 즉 킬로헤르츠(kHz) 단위의 주파수에서 피부저항이 최소화 된다는 것은 이미 널리 알려진 사실이다(Martin, 1996; Reilly, 1992). 피부의 가장 바깥층에 있는 건조한 각질층은 절연체로 작용하기 때문에 피부는 축전지로 작용하여 전류의 흐름에 대한 장벽역할을 하게 되는데, 이러한 저항은 교류전류 주파수에 대해서는 반비례한다. 따라서 낮은 주파수일수록 피부의 저항은 증가하며, 반대로 높은 주파수일수록 피부의 저항은 낮아지게 되어(Low & Reed, 2000; Martin, 1996), 전기에너지가 표피에서 분산되지 않고, 피하의 심부조직에 전류가 집중되기 때문에 운동신경을 효과적으로 자극할 수 있다(Reilly, 1992).

두 번째는 인체에 동시에 적용된 2개의 서로 다른 주파수의 중주파 교류전류는 서로 결합되어 저빈도의 맥동효과(beat effect)를 발생시키게 된다. 즉 2개의 서로 다른 중주파 교류전류가 인체에 동시에 적용될 때 이 둘의 중주파 교류전류는 서로 결합되어 저빈도의 맥동효과를 만들어 낸다(De Domenico, 1987; Goats, 1990; Kloth, 1991; Low & Reed, 2000; Martin, 1996; Selkowitz, 1999). 서로 다른 주파수 차이는 위상(phase)의 안·밖으로 2개의 전류이동(current shifting)을 발생시키게 되어, 결과적으로 나타나는 자극강도는 두개의 최고점(peak)이 결합할 때 최대가 되며(constructive interference), 전류가 서로 만나지 않을 때(혹은 최저점이 만날 때) 진폭은 제로가 된다(destructive interference)(Ozcan et al., 2004).

또한 서로 다른 주파수의 사인파(sine wave)가 사용될 때 결합된 전류는 감응파(sinusoidal wave)를 만들어낸다. 이러한 이유는 전류의 이동이 위상의 안과 밖으로 부드럽게 이동하기 때문이다. 초창기의 간섭전류치료기는 서로 다른 주파수의 사인파전류를 만들어 냈다. 하지만 현대의 몇몇 기구는 직각파형의 교류전류(rectangular alternating current waveform)를 만들어 내는데 이것은 맥동빈도에서 돌발전류를 만들어 내기 위해 위상이 이동하는 것을 말한다. 즉, 위상의 안과 바깥으로 전류의 갑작스런 이동으로 인해 직각파(rectangular wave)를 만들어 내게 되는 것이다. 전류가 서로 간섭현상을 일으킬 때 진폭이 지속적인 저빈도의 돌발파(burst)인 직각파형이나 감응파형의 교류전류가 발생한다(Ozcan et al., 2004).

간섭전류치료는 2개 혹은 4개의 전극을 피부위에 배치해서 사용한다. 2개의 분리된 회로를 통해 피부표면에 적용되는 지속적인 진폭을 갖는 중주파 교류전류는 가장 일반적으로 사용하는 4극배치법(4 electrode application)으로서 조직내에서 전류가 서로 교차하고, 서로 간섭현상을 발생시킨다. 반대로 2극배치법은 기계에 의해서 진폭변조된 전류가 생성되며, 하나의 회로만 사용되기 때문에 전류의 침투깊이에 따른 교차현상이 발생하지 않는다. 따라서 4극배치법이 감각신경의 자극을 줄이면서 더 나은 깊이 효과를 발생시키기 때문에 환자는 2극배치법보다 더 편안하게 느낀다. 4극배치법은 조직(tissue)내에서 혼합되기 때문에 최종적으로 생성되는 전류(resultant current)는 2개의 서로 다른 주파수전류의 총합이 되며, 따라

서 최종적으로 생성되는 전류의 진폭은 피부에 적용된 각각의 전류보다 더 높게 된다. 반대로 2극배치법은 전류의 변조(current modulation)가 조직의 외부에서 발생하기 때문에 전류의 간섭현상이 발생하지 않으며, 전류의 진폭은 증가하거나 감소하지 않고 단지 피부에 적용된 전류가 최종적으로 생성되는 전류가 되는 것이다(Ozcan et al., 2004).

정상적인 인체에서 운동단위가 동원되는 순서는 직경이 작은 신경섬유에서 직경이 큰 신경섬유 순서로 동원이 되며, 요구되는 힘의 강도가 증가할수록 더 많이, 그리고 더 빨리 동원되는 것으로 알려져 있는데 이러한 원리를 Henman의 원리라고 한다(박래준 등, 2004). 하지만 전기자극에 대한 신경섬유의 흥분과 동원에 관한한 앞서 언급한 이론과 약간 그 견해를 달리하고 있다. 즉, 전기자극을 가하게 되면 모든 신경섬유들이 동시에 흥분(firing)되는데, 이러한 원리를 자극-동시적 탈분극(stimulus synchronous depolarization)이라 한다(박래준 외, 2004). 신경섬유의 흥분법칙과 관련해서 일반적으로 알려진 바는 감각신경섬유, 운동신경섬유 그리고 마지막으로 통각신경섬유가 흥분되며, 적용되는 자극의 강도가 증가할수록 흥분되는 섬유의 수 또한 증가된다는 것이다.

이러한 이유는 2가지 중요한 이유가 있는데, 첫 번째는 신경섬유의 직경(diameter)이다. 즉, 신경섬유를 자극하는데 필요한 자극강도는 직경에 반비례하기 때문에 직경이 큰 신경섬유가 대체적으로 전기자극에 더 민감하다는 의미이다. 두 번째는 자극하는 전극으로부터 위치하고 있는 신경섬유의 거리(distance)이다(Binder-Macleod et al., 1995; Knaflitz et al., 1990). 따라서 신경섬유를 흥분시키는데 필요한 자극강도는 자극하는 전극으로부터의 거리에 비례하기 때문에 거리가 멀면 멀수록 더 높은 자극강도가 요구되는 것이다. 이러한 거리효과(distance effect)로 인해서 자극의 강도가 증가할수록 감각역치는 운동신경의 역치에 도달하기 전에 도달하게 되는데 그 이유는 비록 직경이 가장 큰(largest) 알파운동신경원(α -motoneuron)이 직경이 가장 큰 감각신경섬유보다 직경이 훨씬 더 크지만, 많은 감각신경섬유들이 더 표면에 위치하고 있기 때문에 운동신경섬유보다 더 빨리 동원되는 것이다(Low & Reed, 2000).

피로를 쉽게 느끼는 큰 운동신경과 운동단위가 먼저 흥분을 하고, 피로에 강한 작은 운동신경과 운동단위가 나중에 흥분하는 이러한 전기자극의 특성으로 인해 수의적 수축시보다 더 쉽게 근피로현상이 나타난다. 하지만 중주파전류로 자극시 각각의 맥동에 대한 자극시간이 너무 짧아 탈분극을 일으키지 못하고 몇 개의 맥동이 가중되어야만 역치에 도달하여 흥분을 일으키게 되는데 이것을 자극-비동시적 탈분극(stimulus-asynchronous depolarization)이라한다. 이러한 중주파전류의 전기적 특성 때문에 각각의 신경섬유들은 자신의 탈분극 역치에 따라 순서대로 반응한다. 그러므로 중주파전류를 이용한 전기자극시에는 생리적 탈분극과 유사한 순서로 흥분되므로 근피로현상을 최소화시키면서 오랜시간 자극할 수 있는 장점이 있다(박래준 등, 2004).

이상과 같이 전기자극에 대한 다양한 접근이 이루어지고 있지만 현재까지 합의되는 않는 것은 전기자극과 자율신경계와의 관계이다. 박래준과 박영한(2003)은 간섭전류치료기를 이용하여 20대 정상성인 20명을 대상으로 경추의 성상신경절과 전완부위 근육에 전기자극한 결과 두 군 모두 혈류량이 유의하게 증가하였다고 보고하였고, Noble 등(2000)은 총 50명의 성인 남녀를 대상으로 무릎에 작은 베개를 지지한 후 바로누운자세에서 대퇴사두근에 4극의 간섭전류패드를 부착한 후 혈류속도와 피부온도를 측정된 결과 혈류속도와 체온이 상승하였다고 보고하였으며, Dooley와 Kasprak(1976)은 척수후근에 경피신경 전기자극을 가하고 혈량계를 사용하여 말초동맥의 혈류량을 측정된 결과 혈류량이 증가했다고 보고했다. 그리고 Nelson과 Currier(1987)는 혈관질환인 레이노드병(Raynaud's disease)환자와 폐색성 동맥내막염

(Enderteritis obliterans) 환자에게 간섭과 치료를 실시한 결과 혈액순환 증진으로 인해 피부 온도가 2도 상승했다고 보고했다. 또한 Ernst와 Lee(1986)는 19명의 건강한 성인을 대상으로 수삼리(Tsusanli)에 전기침자극을 가한 후 손(Hoku hand point)에서 피부온도를 측정한 결과 온도가 유의하게 증가되었다고 보고하였으며, Petti 등(1998)은 통증성 질환환자 90명을 대상으로 족삼리(ST 36)와 합곡(LI 4)에 자침한 결과 β -endorphine과 VIP가 증가하였다고 보고하였다. 또한 Svedberg등등(2001)은 뇌성마비, 진행성 뇌병변증(progressive encephalopathy) 혹은 Smith-Lemli-Opitz 증후군으로 인해 발이 차가운 아동 6명을 대상으로 팔과 다리에 침술치료를 한 후 피부온도가 상승하였다고 보고하였다. 이상의 선행연구와 같이 본 연구자의 연구결과 또한 유사하였는데, 경부통증환자를 대상으로 간섭전류로 전기자극한 후 혈류량과 피부온도를 측정한 결과 IFC 1군과 IFC 2군, 그리고 IFC 3군 모두 혈류량은 유의하게 증가하였으며, 피부온도는 IFC 1군과 IFC 3군에서 유의하게 증가하였다. 하지만 저빈도군인 IFC 1군과 고빈도군인 IFC 3군 간의 비교결과 피부온도는 두 군 간에 유의한 차이가 없었지만 혈류량은 IFC 3군에 비해 IFC 1군에서 더 유의하게 증가하였다. 따라서 이상과 같은 연구결과로부터 추정할 수 있는 것은 고빈도 전기자극보다 저빈도 전기자극이 혈류량 증가에 더 효과가 있으며, 또한 전기자극이 교감신경의 활동을 억제시킨다고 사료된다.

하지만 본 연구자와 선행연구자들의 연구결과와는 반대로 전기자극이 교감신경계를 활성화시킨다고 보고한 연구자들도 있고, 교감신경계에 아무런 영향을 미치지 않는다고 보고한 연구자들도 있다. 그리고 대부분의 연구들은 연구대상자가 정상성인을 대상으로 하고 있다는 점이다. 따라서 본 연구자와 같이 통증환자를 대상으로 한 폭넓은 연구가 시행될 필요가 있다고 사료되며, 그러한 근거를 바탕으로 자율신경계의 변화와 통증조절과의 연관성을 규명할 수 있을 것으로 사료된다. 마지막으로 이제는 하나의 자극빈도에 대한 변화를 측정하는 것이 아니라 다양한 자극빈도에 따라 자율신경계에 미치는 영향에 관한 연구가 수행될 필요가 있을 것으로 사료된다.

VI. 결 론

본 연구는 자극빈도별 간섭전류 전기자극이 자율신경계 및 근활성도의 변화에 미치는 영향에 대해 알아보기 위해 2004년 12월 1일부터 2005년 2월 15일까지 진주시에 소재한 H-한방병원에서 경추부 염좌(cervical sprain)로 인해 물리치료를 받기위해 내원한 환자 50명을 대상으로 IFC 1(10-30Hz), IFC 2(30-50Hz), IFC 3(50-100Hz), 위약군, 그리고 대조군에 각각 10명씩 무작위 배치하여 연구를 수행한 결과는 다음과 같다.

1. 혈류량에 대한 각 군별 구간별 유의성 검정결과 IFC 1군은 10분후, 15분후, 20분후, 그리고 25분후에 유의하게 증가하였으며($p < 0.05$), IFC 2군은 5분후와 10분후에 유의하게 증가하였다($p < 0.05$). 그리고 IFC 3군은 5분후, 10분후, 그리고 15분후에 유의하게 증가하였으며($p < 0.05$), 위약군과 대조군은 모든 구간에서 유의하지 않았다($p > 0.05$). 각 군 간의 비교에서는 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$).

2. 피부온도에 대한 각 군별 구간별 유의성 검정결과 IFC 1군은 5분후, 10분후, 15분후, 20분후, 25분후, 그리고 30분후에 유의하게 증가하였으며($p < 0.05$), IFC 3군은 5분후, 10분후, 그리고 15분후에 유의하게 증가하였다($p < 0.05$). 그 외 다른 군에서는 유의하지 않았다($p > 0.05$). 각 군 간의 비교에서는 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$).

3. 저빈도군과 고빈도군 간의 차이를 검정한 결과 10분후, 15분후, 20분후, 25분후, 그리고 30분후에 고빈도군 보다 저빈도군에서 유의하게 증가하였다($p < 0.05$).

4. 저빈도군과 고빈도군 간의 차이를 검정한 결과 두 군 간에 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$).

따라서 간섭전류자극이 혈류량을 증가시키고, 피부온도를 상승시키는 등의 교감신경을 억제시키는 것으로 사료되며, 혈류량증진을 목적으로 간섭전류를 적용하고자 할 경우에는 고빈도전기자극보다는 저빈도 전기자극이 더 적절할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 고경현, 김주철, 이충휘. (1994). 간섭과 자극후의 말초혈류량 변화. *대한물리치료사학회지*, 1(1), 19-25.
- 박돈목, 임정도. (1998). 전기자극이 정상인과 요통환자의 체표면 온도변화에 미치는 영향. *대한물리치료사학회지*, 5(4).
- 박래준 등. (2004). *전기치료학*. 도서출판 현문사, 308-355.
- 박래준, 박영한. (2003). 간섭전류자극이 상지 혈류변화에 미치는 영향. *대한물리치료학회지*, 15(4), 717-724.
- 박장성, 이재형. (1999). 간섭전류자극이 말초 혈류속도에 미치는 영향. *대한물리치료사학회지*, 11(2), 37-42.
- 이상빈, 김순희. (2002). SSP요법이 인체의 혈장 카테콜라민에 미치는 효과. *대한물리치료사학회지*, 9(3), 121-127.
- 이재형. (1995). *전기치료학*. 서울 : 도서출판 대학서림.
- 이재형. (1998). *임상전기치료학*. 서울 : 도서출판 대학서림, p234.
- 최영덕, 심규리, 장문경. (2002). SSP 주파수 진폭변조가 Vasoactive Intestinal Peptide와 β -endorphin, cGMP에 미치는 영향. *대한물리치료학회지*, 14(4), 179-186.
- Andersson, S.(1992). Med mer utbildning kan akupunktur användas som komplement vid behandling av sjukdom. *Läkartidningen*, 89, 785-792.
- Andersson, S. (1993). The functional backgrounds in acupuncture effects. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 29 (suppl), 31-60.
- Bergsline, O., Thoresen, M., Odemark, H. (1988). The effect of three electrotherapeutic method on blood velocities in human peripheral arteries. *Scan J Rehab Med*, 20, 29-33.
- Binder-Macleod, S. A., Halden, E. E., Jungles, K. A. (1995). Effect of stimulation intensity on the physiological response of human motor units. *Med Sci Sports Exerc*, 27, 556-565.
- Brechue, W. F., Barclay, J. K., O'Drobinak, D. M., Stainsby, W. N. (1991). Difference between VO_2 maxima of twitch and tetanic contractions are related to blood flow. *J Appl Physiol*, 71, 131-135.
- Clement-Jones, V., McLoughlin, L., Tomlin, S. et al., (1980). Increased beta-endorphin but not met-enkephalin levels in human cerebrospinal fluid after acupuncture for recurrent pain. *Lancet*, 8201, 946-949.
- De Domenico, G. (1987). *New Dimension in Interferential Therapy: A Thoeretical and Clinical Guide*. Reid Medical Books, Lindfield, Australia.
- De Domenico, G., Strauss, G. R. (1985). Motor stimulation with interferential currents. *Aust J Physiother*, 31, 225-230.
- Dooley, D. M., Kasprak, M. (1976). Modification of blood flow to the extremities by electrical stimulation of the nervous system. *South Med. J.* 69(10), 1309-1311.
- Ernst, M., Lee, M. H. M. (1986). Sympathetic effects of manualand electrical acupuncture of the Tsusanli knee point: Comparison with the Hoku hand point sympathetic

- effects. *Experimental Neurology*, 94(1), 1-10.
- Felder, D., Russ, E., Montgomery, H. et al. (1954). Relationship in the toe of skin surface temperature to mean blood flow measured with a plethysmograph. *Clinical Science*, 13, 251-257.
- Furgala, A., Thor, P. J., Kolasinska-Kloch, W. et al. (2001). The effect of transcutaneous nerve stimulation(TENS) on gastric electrical activity. *J. Physiol.*
- Fields, H. L., Basbaum, A. I. (1989). *Endogenous pain control mechanisms*. In: Wall PD and Melzack R(Eds). Textbook of pain, Churchill Livingstone, New York, 206-217.
- Ganne, J. M. (1976). Interferential therapy. *Aust J Physiother*, 31, 225-230.
- Goats, G. C. (1990). Interferential current therapy. *Br J Sports Med*, 24(Part 2), 87-92.
- Hertzman, A. B. (1953). Some relations between skin temperature and blood flow. *Americal Journal of Physical Medicine*, 32, 233-251.
- Jäng, W. (1990). *Functions of the sympathetic innervation of the skin*. In: Loewy AP, Spyer KM, eds. Central Regulation of Autonomic Functions. New York, NY: Oxford University Press, 334-348.
- Jansen, G., Lundeberg, T., Kjartansson, J. et al. (1989). Acupuncture and sensory neuropeptides increase cutaneous blood flow in rats. *Neuroscience Letters*, 97, 305-309.
- Kloth, L. C. (1991). *Interferential current*. In: Nelson RM, Currier DP, editors. Clinical electrotherapy. 2nd ed. East Norwalk: Appleton & Lange; 221-260.
- Knardahl, S., Elam, M., Olausson, B. et al., (1998). Sympathetic nerve activity after acupuncture in humans. *Pain*, 75, 19-25.
- Knaflitz, M., Merlitti, R., DeLuca, C. J. (1990). Inference of motor unit recruitment order in voluntary and electrically elicited contractions. *J Appl Physiol*, 68, 1657-1667.
- Lamb, S., Mani, R. (1994). Does interferential current affect blood flow?. *Clin Rehab*, 8, 213-218.
- Low, J., Reed, A. (2000). *Electrotherapy explained*. 3rd ed. Butterworth-Heinemann: Oxford; 2000.
- Lundeberg, T. (1993). Peripheral effects of sensory nerve stimulation (acupuncture) in inflammation and aschemia. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, Supplement, 29, 61-86.
- Martin, D. (1996). *Interferential therapy*. In: Kitchen S, Bazin S, editors. Clayton's electrotherapy. 10th ed. London: WB Sanders; 306-315.
- Melzack, R. (1975). Prolonged relief of pain by brief, intense transcutaneous somatic stimulation. *Pain*, 357-373.
- Nelson, R. M., Currier, D. P. (1987). *Clinical electrotherapy*. 1st ed, Norwalk. Paxton SL(1980): Clinical Uses of TENS: A Survey of physical therapist. *Phys Ther*, 60(1), 38-44.
- Nemec, H. (1959). Interferential therapy: a new approach in physical medicine. *Br J Physiother*, 12, 9-12
- Nikolova, L. (1987). *Treatment with Interferential Current*. Churchill Livingstone, Edinburgh, p3.

- Noble, J. G., Henderson, G., Cramp, A., Fiona, L. et al. (2000). The effect of interferential therapy upon cutaneous blood flow in humans. *Clinical physiology*, 20(1), 2-7.
- Nussbaum, E., Rush, P., Disenhaus, L. (1990). The effect of interferential therapy on peripheral blood flow. *Physiotherapy*, 76, 803-807.
- Ozcan, J., Ward, A. R., Robertson, V. J. (2004). A comparison of true and premodulated interferential currents. *Arch Phys Med Rehabil*, 85, 409-415.
- Reilly, J. P. (1992). *Electrical stimulation and electropathology*. Cambridge: Cambridge Univ Pr.
- Savage, B. (1984). *Interferential therapy*. Faber and Eaber, London.
- Schoeler, H. (1975). Physikalische grenzstrangblockade. *Technik in der Medizin*, 2(1), 16-18.
- Selkowitz, D. M. (1999). *Electrical current*. In: Cameron MH, editor. Physical agents in rehabilitation: from research to practice. Philadelphia: WB Sanders; 345-427.
- Svedberg, L. E., Nordahl, U. E. G., Lundeberg, T. C. M. (2001). Effects of acupuncture on skin temperature in children with neurological disorders and cold feet: an exploratory study. *Complementary Therapies in Medicine*, 9, 89-97.
- Terman, G. W., Liebeskind, J. C. (1986). Relation of stress-induced analgesia to stimulation-produced analgesia. *Ann, N.Y. Acad Sci*, 467, 300-308.
- Thomas, W. J., Maria, T. H. (2003). Blood flow response to electrically induced twitch and tetanic lower-limb muscle contractions. *Arch Phys Med Rehabil*, 84, 982-987.
- Tonnessen, U. H. (1986). *Blood flow through muscle during rhythmic contraction measured by 133 xenon*. In : Noble, B. J., ed. *Physiology of exercise and sport*. St. Lonisi Times Mirror : Mosby.
- Wakim, K. C. (1953). Influence of frequency of muscle stimulation on circulation in the stimulated extremity. *Arch Phys Med Rehabil*, 34, 291-295.
- Watkins, L. R., Mayer, D. J. (1986). Multiple endogenous opiate and non-opiate analgesia systems: evidence of their existence and clinical applications. *Ann, N.Y. Acad Sci*, 467, 273-299.
- Wong, R. A., Jette, D. U. (1984). Changes in sympathetic tone associated with different forms of transcutaneous electrical nerve stimulation in healthy subjects. *Phys Ther*, 64. 478-482.