대한물리의학회지 제6권 제3호, 2011년 8월
Vol.6, No.3, August 2011. p.353~360

정상성인에서 러시안 전류와 저주파 전류 자극에 의한 근력 증가의 비교

김 종 열

진주 성모의원

A Comparison of Muscle Strength by Russian Current and Low Frequency Current Stimulation in Normal Adult

Jong-Youl Kim, PT, MS

Sung-Mo clinic of Jinju

<Abstract>

Purpose : The purpose of this study was to compare the effect of muscle strength by stimulation of russian current and low frequency.

Methods : The subjects were thirty young healthy volunteers who were divided into two groups including russian current group(n=15) and low frequency group(n=15). The intervention was applied totally 12 times (1 time, 10 minute) for 4weeks in each group. The peak torque and average power were measured and analysed using Biodex system 4 before the treatment, after 2 weeks, 4 weeks.

Results : As a result, russians currents and low frequency stimulation increased significantly average power and peak torque with the lapse of time. However, there were not significant differences of the average power and peak torque between the groups in all periods.

Conclusion : In conclusion, russians currents and low frequency stimulation had no differences in the increase of muscle strength.

Key Words : Russian current, Low frequency current, Peak torque, Average power

Ⅰ. 서 론

근력(muscle strength)이란 일상생활을 가능하게 하는 근원이며, 생체 역학적인 면에서 신체 기능을 평가 할 수 있는 기준의 하나로써(이혜영, 2005), 부하에 대하여 최대 수축력을 발휘하는 근육의 능력

교신저자 : 김종열, E-mail: oilpali@hanmail.net
논문접수일 : 2011년 08월 04일 / 수정접수일 : 2011년 08월 17일 / 게재승인일 : 2011년 08월 29일

을 말한다(장경철, 2010). 이러한 근력은 통증, 석고 고정, 관절 핀 고정, 건 절단, 인대손상, 관절질환, 척수손상 초기 및 뇌 손상 등 상위 신경원질환, 절대 침상안정 등의 여러 가지 요인으로 근육이 수축을 하지 못하면 근력 약화 및 불용성 위축(disuse atrophy)이 일어나기 때문에 손상이나 질병에서 회복 될 때 각 개인의 정상적인 근력을 되찾는 것이 필수적이다(Rutherford 등, 1990). 현재 근력증진을 위한 방법으로 운동요법과 그리고 전기자극을 이용한 방법이 있는데 Lake(1992)는 수의적 수축과 전기자극에 의한 수축의 차이점으로 수의적 수축은 Type Ⅰ에서 Type Ⅱ로 운동단위가 동원되지만 전기자극은 반대로 Type Ⅱ에서 Type Ⅰ으로 동원된다고 하였다. 전기자극은 통증조절을 위하여 널리 이용되고 있고, 탈신경근 재교육, 관절범위증진, 수의운동조절, 위축 및 약화된 근육의 근력 회복 및 증강, 혈류량 증진 등에 효과를 보고하고 있다. 근 기능 향상을 위한 전기자극은 일반적으로 물리치료 분야에서 상해를 입은 근육조직의 회복과 부종의 제거 및 특정 근육의 강화요법 등으로 이용되어 왔으며(고태성, 2001), 비 침습적인 치료방법으로 합병증이 심각한 침습적 치료에 비하여 비용과 인력 면에서 효율적이다(이상주와 이미화, 2008). 특히, 근력증가는 전통적 운동방법에 비해 전기자극이 더 효과적이었다는 Kots의 연구 보고 이후에 다양한 전기자극 방법들이 연구되고 있다(Selkowitz, 1985). 중추성으로 마비된 신경지배근의 전기자극은 신경근 전기자극(neuromuscular electrical stimulation; NMES)이 일반적으로 사용되고 있으며, 1976년 몬트리올올림픽에서 구소련 운동선수에게 적용하여 근력이 증가되었다는 보고가 있은 후부터 정상 신경지배근의 근력증진을 위해서 러시안 전류(Russian current; RC)가 사용되고 있다(Selkowitz, 1985). 러시안 전류란 50%의 순환주기(duty cycle)와 50㎐의 돌발변조 주파수(burst modulation frequency)를 발생시킬 수 있는 2,500㎐의 교류를 말한다. Delitto 등(1988)은 역도선수에게 높은 강도로 4주간 전기 자극하여 20kg 이상을 더 들어올릴 수 있을 정도로 근력이 증가되었다고 하였고, Cabric 등(1988)은 19일 동안 전기자극한 결과 근 섬유 및 근 핵의 크기, 미토콘드리아 크기 등 근육의 형태학적 변화가 있었다고 보고하였다. 고태성(2001)은 러시안 전류자극이 상완이두근의 근력을 증가시켰다고 하였고, 김택연 등(2008)은 대퇴사두근의 근력을 증가시켰다고 보고하였다. 이외에도 물리치료용으로 개발되어 사용되고 있는 저주파 전기자극이 운동단위의 동원율 증가를 통한 높은 근 수축력을 유발시킨다고 한다(Galea, 2001). 저주파전류(low frequency current)란 주파수가 1Hz부터 1000Hz까지의 전류를 말하며, 전기자극치료(electrical stimulation therapy; EST), 기능적 전기자극(fucntional electrical stimulation; FES), 경피신경전기자극치료(transcutaneous electrical nerve stimulation; TENS), 고전압 맥동전류 자극치료(high voltage pulsed current stimulation; HVPCS), 은침형 전극(silver spike pole) 등에 이용한다(이재형, 2010). 저주파는 정상 신경지배근과 변성근에서 모두 사용할 수 있으며 경축(spasm)감소, 근 재교육, 관절유착방지, 부종감소 등을 목적으로 한다(이재형, 2010). Westing 등(1990)은 50Hz의 저주파 전기자극으로 근력이 증가되었다고 하였고, Galea(2001)는 근 수축력 향상을 위한 적정 수준의 자극이 50Hz라고 보고하였다. McMiken 등(1983)은 75Hz이하의 저주파로 자극했을 때 등척성 수축에 의한 근력이 증가되었다고 하였고, 송영희(2001)는 20Hz의 간헐적 저주파 동시자극으로 대퇴사두근의 근력이 향상되었다고 보고하였다. 이처럼 저주파 전류와 러시안 전류가 근력 향상에 효과적이라는 논문은 많이 보고가 되었지만 두 전류를 비교평가 하는 논문은 거의 없는 실정이다(정성관, 2004). 따라서 본 연구는 신체 건강한 대학생들을 대상으로 두 전류를 적용한 후에 근력측정 기기를 이용하여 평균일률과 최대염력의 변화를 기간에 따라 파악함으로써 두 전류의 자극에 따른 근력의 증가에 차이가 있는지를 비교하고자 하였다.

Ⅱ. 연구방법

1. 연구 설계

본 연구는 러시안 전류와 저주파 전류의 자극에 따른 근력의 증가에 차이가 있는지를 비교하기 위

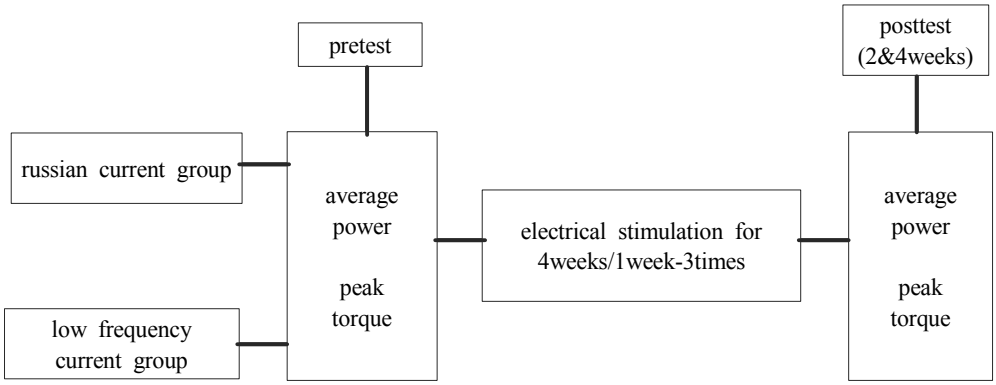

Fig 1. Research design

한 전·후 통제집단설계(pretest & posttest control group design)이며, 연구 설계 모형은 다음과 같다 (Fig 1).

2. 연구대상 및 기간

본 연구는 M대학에 재학 중인 신체 건강한 성인 남녀 30명을 대상으로 실시하였다. 모든 대상자들은 신경계나 근골격계 손상이 없는 자로 하였으며, 본 연구에 영향을 미칠 수 있는 약물복용이나 과격한 운동과 같은 물리적, 화학적 요인들을 최대한 제한시켰다. 연구를 실시하기 전에 대상자들에게 본 연구의 취지를 설명하고 참여 동의를 얻었으며, 무작위대조연구(Randomized Controlled Trial, RCT)로 러시안 전류군(n=15)과 저주파 전류군(n=15)을 분류하여 연구를 진행하였다. 연구대상자들은 연구 시작 전에 20분간 안정을 취하였으며, 연구실의 온도는 섭씨 26.2±0.9°, 습도는 55.5±0.8%이었다. 연구기간은 2010년 10월 18일부터 동년 12월 15일까지 실시되었으며, 대상자들의 일반적인 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. General characteristics of subjects

	Russian current group (n=15)	Low frequency current group (n=15)
Age(yrs)	24.13±1.51	23.13±1.68
Height(cm)	168.73±8.22	167.20±9.26
Weight(kg)	56.80±9.37	58.93±11.31

3. 연구방법

본 연구를 위해 러시안 전류 자극기(ENDOMED 582, ENRAF, 네덜란드)와 저주파 전류 자극기(ENDOMED 982, ENRAF, 네덜란드)가 사용되었으며, 연구기간 동안 연구에 참여한 모든 대상자들에게 어떤 형태의 파형으로 자극하는지에 대한 정보는 주지 않았다. 전류를 자극하기 전에 대상자들의 근력을 미리 측정하여 그 값을 기준으로 자극 후의 근력향상 정도를 비교하였다. 연구는 총 4주간 진행되었으며, 주 3회, 총 12번의 전기자극이 주어졌으며, 기간에 따른 근력의 변화를 확인하기 위해 자극 2주후와 자극 4주후에 근력을 측정하였다.

러시안 전류는 정현파(sinusoidal wave)를 이용하였으며, 단속 시간 비(on-off ratio)는 1 : 5로 10초 자극 후 50초 동안 휴식하도록 하였고, 맥동기간(pulse duration)은 250㎲, 맥동빈도(pulse frequency)는 50bps로 설정하였다. 저주파 전류는 대칭성 이상성 직사각형파(symmeteric biphasic rectangular wave)를 이용하였으며, 맥동빈도는 50pps, 맥동기간은 200㎲, 단속 시간비는 1 : 3으로 10초 자극 후 30초 동안 휴식하도록 하였다. 두 전류 모두 1회에 10분간 실시되었다. 두 전류의 자극을 위해서 연구실 환경을 조용하게 유지하고, 연구대상자는 침상 위에 바로 누운(supine) 자세에서 자극부위인 오른쪽 상완이두근의 부위가 잘 드러나도록 준비하였으며, 연구 전에 전기자극 부위를 알코올로 깨끗이 닦아 피부저항을 감소시켰다. 전극은 탄소 실리콘 전극을

사용하였으며, 사용할 패드에는 충분히 물을 묻히고 패드의 두꺼운 쪽이 피부로 향하게 하였다. 근위부 도자는 상완이두근 단두와 장두가 만나는 부위에 부착시키고, 원위부 도자는 건 부착부위 바로 위의 지점인 상완골 원위단에 부착시켜 주관절 굴곡 시 방해가 되지 않도록 하였다(Fig 2). 전류강도는 가시적인 근 수축을 일으킬 정도로 증가시키면서 대상자가 더 이상 참을 수 없다고 말했을 때의 그 전류강도를 선택하였으며, 연구에 정확성을 기하기 위해서 첫 연구 시에 측정된 최대강도를 기록하여 다음 연구 시에 용이하게 사용하였다.

Fig 2. Placement of electrode

4. 측정도구 및 측정방법

모든 연구대상자들의 우세 팔(dominant arm)인 오른쪽 상완이두근(biceps brachii)의 근력을 측정하기 위하여 등속성기기(Biodex system 4, BIODEX, 미국)가 이용되었다. 근력측정 방법은 연구대상자를 검사대 위에 앉힌 후 정확한 측정을 위하여 스트랩(strap)으로 체간과 상완을 고정시키고 주관절의 운동 축과 기계의 운동 축이 일치하도록 하였다. 주관절 측정 시에 등속성 기구의 각속도는 60°/sec로 설정하고, 신전상태에서 시작하였으며, 굴곡 후 다시 신전 상태로 되돌아 왔을 때를 1회로 하였다. 검사 전에 주관절 굴곡과 신전을 3회 반복시켜 운동에 익숙하게 한 후에 실험자가 독려하는 구두명령에 맞추어 최대의 힘으로 5회 반복한 것을 1세트(1set)로 하였다. 총 2세트를 실시하였으며, 각 세트 간에는 5분의 휴식이 주어졌다. 연구대상자들에게 모니터의 측정값을 볼 수 없도록 하였으며, 측정 변인으로 최대염력(peak torque)과 평균일률(average power)을 측정하여 그 평균값을 기록하였다.

5. 분석방법

SPSS version 12.0 Windows 통계프로그램을 이용하여 연구대상자들의 일반적 특성, 평균일률, 최대 염력을 평균과 표준편차로 제시하였다. 러시안 전류군과 저주파 전류군의 기간에 따른(자극 전, 2주 후, 4주 후) 효과 차이를 알아보기 위하여 반복측정에 의한 일원배치 분산분석(one-way repeated ANOVA)을 실시하였고, 유의한 차이가 나타난 경우에 Bonferroni의 사후검정을 실시하였다. 또한 각 군 간의 효과를 검정하기 위하여 평균일률과 최대염력의 정규성을 검정한 결과 정규분포를 따르므로 독립-t 검증(independent t-test)을 실시하였다. 모든 유의학적 수준인 α는 .05로 하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 전기자극에 의한 기간별 평균일률의 변화 비교

러시안 전류에서 평균일률은 자극 전 15.01±9.36,

Table 2. The comparison of the average power within experimental period unit: (W)

duration	pre	2weeks	4weeks	F	p	post-hoc
Russian current	15.01±9.36	16.15±8.94	23.35±14.22	12.41	.00*	c > a c > b
Low frequency	13.51±7.84	14.37±7.65	18.71±9.40	16.47	.00*	c > a c > b

Mean±SD, a: pre, b: after 2 wks(weeks), c: after 4 wks(weeks)

자극 2주 후에 16.15±8.94, 4주 후에 23.35±14.22로 통계적 유의한 차이를 나타내었다(p<.05). 사후검증 결과, 자극 전과 자극 4주 후 그리고 자극 2주 후와 자극 4주 후에 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 저주파 전류에서 평균일률은 자극 전 13.51±7.84, 자극 2주 후에 14.37±7.65, 자극 4주 후에 18.71±9.40으로 통계적 유의한 차이를 나타내었다(p<.05). 사후검증 결과, 자극 전과 자극 4주 후 그리고 자극 2주 후와 자극 4주 후에 통계적으로 유의한 차이가 있었다(Table 2).

2. 전기자극에 의한 기간별 최대염력의 변화 비교

러시안 전류에서 최대염력은 자극 전 23.46±12.00, 자극 2주 후 24.40±12.28, 자극 4주 후 30.93±14.06으로 통계적 유의한 차이를 나타내었다(p<.05). 사후검증 결과, 자극 전과 자극 4주 후 그리고 자극 2주 후와 자극 4주 후에 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 저주파 전류에서 최대염력은 자극 전 21.52±11.06, 자극 2주 후 22.63±10.20, 자극 4주 후 26.97±11.67로 통계적 유의한 차이를 나타내었다(p<.05). 사후 검증 결과, 자극 전과 자극 4주 후 그리고 자극 2주 후와 자극 4주 후에 통계적으로 유의한 차이가 있었다(Table 3).

3. 전기자극에 의한 군(groups)간의 평균일률과 최대염력의 비교

전기자극에 따른 군(groups)간의 평균일률과 최대염력의 차이 비교는 Table 4와 같다. 평균일률은 모든 기간에서 러시안 전류와 저주파 전류의 비교에서 유의한 차이가 나타나지 않았고, 최대염력도 모든 기간에서 러시안 전류와 저주파 전류의 비교에서 유의한 차이가 나타나지 않았다.

Ⅳ. 고 찰

골격근에 반복적으로 전기자극을 적용하면 근섬유의 직경이 증가하고, 근 무게의 감소가 지연되며, 혈관신생촉진 및 모세혈관의 증가, 근 위축예방, 혈류량 증가, 골격근의 근력증가, 산소 소모량 증가, 근단백질 감소예방, 골격근의 당원함량 증가, 근섬유 형태의 변화, 신경근연접부의 운동단위 증가 등의 임상적 효과가 보고되고 있다(진유신, 2008). 이에 본 연구는 근력증가를 위한 전기자극의 방법으로 많이 이용되고 있는 러시안 전류와 저주파 전류

Table 3. The comparison of the peak torque within experimental period unit: (N·m)

duration	pre	2weeks	4weeks	F	p	post-hoc
Russian current	23.46±12.00	24.40±12.28	30.93±14.06	21.76	.00*	c > a c > b
Low frequency	21.52±11.06	22.63±10.20	26.97±11.67	14.27	.00*	c > a c > b

Mean±SD, a: pre, b: after 2 wks(weeks), c: after 4 wks(weeks)

Table 4. The independent comparison of the average power and peak torque unit: (W)(N·m)

		Russian current	Low frequency	t	p
average power	pre	15.01±9.36	13.51±7.84	-.48	.64
	2 weeks	16.15±8.94	14.37±7.65	-.59	.56
	4 weeks	23.35±14.22	18.71±9.40	-1.06	.30
peak torque	pre	23.46±12.00	21.52±11.06	-.46	.65
	2 weeks	24.40±12.28	22.63±10.20	-.43	.67
	4 weeks	30.93±14.06	26.97±11.67	-.84	.41

Mean±SD

중에 어느 쪽이 근력향상에 더 효과적인지를 알아보고자 4주 동안 실시되었다. 연구의 결과, 평균일률의 경우에 러시안 전류와 저주파 전류 모두 자극 전과 자극 2주 후에 비해 자극 4주 후에서 유의한 증가를 나타내었고, 최대 염력의 경우에도 러시안 전류와 저주파 전류 모두에서 자극 전과 자극 2주 후에 비해 자극 4주 후에서 유의한 증가를 나타내었다. 하지만 두 전류간의 평균일률과 최대염력에는 유의한 차이가 없었다. 러시안 전류에 의한 평균일률과 최대염력의 증가는 고태성(2001)이 러시안 전류 자극기를 상완이두근에 배치하고, 단속 시간 비는 1 : 2, 맥동기간은 250μs, 맥동빈도는 50bps로 설정한 후 1회에 15분간 주 3회씩 총 6주를 자극한 결과 유의한 근력 증가가 나타났다고 보고한 것과 일치하였다. 또한 김택연 등(2008)이 러시안 전류를 본 연구와 동일한 조건으로 설정하고 대상자가 견딜 수 있는 범위 내에서 최대 가시수축이 일어나는 강도로 11분 20초간 주당 3회씩 4주간의 전기자극을 하였을 때 1주 후, 2주 후, 3주 후, 4주 후의 시간 경과에 따라 각속도 60°/sec에서의 대퇴사두근의 평균 비트는 힘(torque)이 유의한 증가를 나타내었다고 보고하여 본 연구에서 각속도 60°/sec에서 측정한 상완이두근의 근력 증가와 일치하였다. 이것은 Kots가 권장한 러시안 전류의 조건인 단속 시간비 1 : 5와 10분간의 자극시간이 최대의 효과를 나타내었다(Ward & Shkuratova, 2002)는 보고와는 자극조건에 약간의 변화를 주어 실시된 것이지만 연구의 결과는 근력이 증가되는 것을 확인시켜 주었다.

저주파 전류는 50~200Hz의 범위 내에서 역학적 효과가 있는 것으로 알려져 있는데(이재형, 2010), Cabric 등(1987)은 50Hz와 2000Hz로 전기자극 후 50Hz에서만 근섬유의 크기와 모세혈관 수 대 근섬유 면적의 비율이 증가하였다고 보고하였고, Westing 등(1990)은 대퇴사두근에 50Hz 저주파로 전기자극을 하였을 때 신장성 염력(eccentric torque)에서 약 21~24% 정도의 최대근력이 증가되었다고 하여 상완이두근에 50Hz 저주파로 전기자극을 한 본 연구와 유사한 결과를 나타내었다. 하지만 홍용(2002)은 50Hz의 강도에서 주당 3일, 1일 1시간씩 6주 동안 전기자극을 실시한 후에 각속도 60°/sec에서 최대염력을 측정한 결과 근 기능과 운동지속능력의 증진에 긍정적 영향을 미치지 않았다고 하였고, 원광희(1998)는 50Hz로 하루 1시간씩 주 3회, 4주간의 전기자극 후에 Type Ⅰ 섬유의 비율 감소와 Type Ⅱa 섬유 비율의 증가가 나타났으나 각속도 60°/sec에서의 등속성 근력이 오히려 11% 감소되었다고 하여 선행연구 및 본 연구의 결과와 다른 보고를 하였다. 하지만 비만 여성들을 대상으로 한 전자의 경우에는 전기치료와 운동치료 단독으로는 효과가 없었지만 전기치료와 운동치료와 병행한 집단에서 효과가 있었다고 하였고, 건강한 체육학과 학생들을 대상으로 한 후자의 경우에는 연구자가 근육 생검(muscle biopsy)의 위치를 다르게 하였고, 전류의 강도가 너무 낮았기 때문일 것이라는 의견이 제시되었으므로 본 연구의 결과와 비교하여 다르다고 할 수는 없을 것이다.

한편 본 연구를 통해서 러시안 전류와 저주파 전류가 기존에 알려진 데로 근력 증가에 유효한 치료방법이라는 것을 확인할 수 있었지만 본 연구에서 알아보고자 했던 두 전류의 자극에 따른 근력의 증가에는 차이가 없는 것으로 확인되었다. 이것은 Selkowitz(1989)와 정성관(2004), Snyder-Mackler 등(1994)이 러시안 전류를 사용하여 근력이 증가하는 것은 확인하였지만 저주파 맥동 전류와의 비교에서는 유의한 차이를 증명하지 못하였다는 연구결과와 일치하는 것이었다. 하지만 각 개인마다 러시안 전류와 저주파 전류의 자극에 따라 반응하는 근육의 유형별 구성비(Type Ⅰ과 Type Ⅱ)가 다르고 지방층의 두께나 전기자극에 대한 피부저항(skin impedance)의 정도 등도 다르다는 것을 고려하여 연구를 진행한다면 결과가 달라 질수도 있을 것이다. 본 연구는 이러한 개인차가 고려되지 않고 무작위로 대상자들을 분류하여 연구가 진행되었다. 따라서 차후의 연구에서는 우선 근육의 유형별 구성비를 고려하거나 각 개인의 신체적 특성들을 고려하여 대상자들을 선정하고 연구를 진행하여 두 전류 사이의 근력 증가에 차이가 있는지를 확인하여야 할 것이다.

V. 결 론

본 연구는 M대학에 재학 중인 신체 건강한 성인 남녀 총 30명을 대상으로 4주 동안 12번의 러시안 전류와 저주파 전류를 자극하여 두 전류간의 근력 증가의 차이를 알아보고자 실시하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다. 평균일률의 경우, 러시안 전류(F=12.405, p=.000)와 저주파 전류(F=16.473, p=.000)에서 통계적 유의한 차이를 나타내었다. 최대염력의 경우, 러시안 전류(F=21.758, p=.000)와 저주파 전류(F=14.270, p=.000)에서 통계적 유의한 차이를 나타내었다. 하지만 전기자극에 따른 군(groups)간의 평균일률과 최대염력의 차이 비교에서는 모든 기간에 유의한 차이가 없었다. 따라서 이상의 결과들은 근력증가가 요구되는 대상자들의 치료를 위해서 두 전류 모두 효과적인 전기치료방법으로 선택될 수 있다는 것을 제시하였다.

참 고 문 헌

고태성. 러시안 전류자극과 점진적 저항운동이 근력 및 지구력 향상에 미치는 효과. 용인대학교 대학원. 석사학위논문. 2001.

김택연, 원상희, 박현식. 대퇴사두근의 등척성 운동과 전기자극에 의한 근력 증가 비교. 대한정형도수치료학회지. 2008;14(1):31-8.

송영희. 기능적 전기자극기를 이용한 간헐적 고주파 교대자극과 간헐적 저주파 동시자극의 근 수축력 비교. 연세대학교 대학원. 석사학위논문. 2001.

원광희. 전기자극과 Weigtht Training 후 인체 골격근 섬유의 조성과 근육의 기능. 한국체육대학교 대학원. 석사학위논문. 1998.

이상주, 이미화. 경혈지압을 병행한 운동요법이 외래 간호 인력의 피로도 및 견통에 미치는 효과. 한국자료분석학회지. 2008;10(3(B)):1357-71.

이재형. 최신 전기치료학. 서울. 대학서림. 2010

이혜영. 슬골관절염 환자를 위한 타이치 운동, 수중운동과 자조관리프로그램의 효과비교. 서울대학교 대학원. 박사학위논문. 2005.

장경철. 복합운동이 성장기 남·여학생의 신체조성, 근력 및 유연성에 미치는 영향. 부경대학교 대학원. 석사학위논문. 2010.

정성관. 러시안 전류와 맥동 전류로 발생시킨 대퇴사두근의 근 수축력과 피로. 충남대학교 대학원. 석사학위논문. 2004.

진유신. 신경근전기자극(NMES)이 슬관절염환자 내측광근의 근활성도에 미치는 영향. 대구대학교 대학원. 석사학위논문. 2008.

홍용. 인위적 전기자극이 비만여성의 근기능 및 운동지속능력에 미치는 영향. 운동과학. 2002;11(1):119-30.

Cabric M, Appell HJ, Resic A. Effects of electrical stimulation of different frequencies on the myonuclei and fiber size in human muscle. Int J Sports Med. 1987;8(5):323-6.

Cabric M, Appell HJ, Resic A. Fine structural changes in electrostimulated human skeletal muscle Evidence for predominant effects on fast muscle fibres. Eur J Appl Physiol. 1988;57(1):1-5.

Delitto A, Rose SJ, Mckowen JM et al. Electrical stimulation versus voluntary exercise in strengthening thigh musculature after anterior cruciate ligament surgery, Phys Ther. 1988;68(5):660-3.

Galea V. Electrical characteristics of human ankle dorsi- and plantar-flexor muscles: Comparative responses during fatiguing stimulation and recovery. Eur J Appl Physiol. 2001;85(1-2):130-40.

Lake DA. Neuromuscular electrical stimulation, An overview and its application in the treatment of sports injuries. Sports Med. 1992;13(5):320-36.

McMiken DF, Todd-Smith M, Thompson C. Strengthening of human quadriceps muscles by cutaneous electrical stimulation. Scand J Rehabil Med. 1983;15(1):25-8.

Rutherford OM, Jones DA, Round JM. Long lasting unilateral muscle wasting and weakness follow ing injury and immobilization. Scand J Rehabil Med. 1990;22(1):33-7.

Selkowitz DM. Improvement in isometric strength of the quadriceps femoris muscle after training with

electrical stimulation. Phys Ther. 1985;65(2):186-96.
Selkowitz DM. High frequency electrical stimulation in muscle strengthening. Am J Sports Med. 1989; 17(1):103-11.
Snyder-Mackler L, Delitto A, Stralka SW et al. Use of electrical stimulation to enhance recovery of quadriceps femoris muscle force production in patients following anterior cruciate ligament reconstruction. Phys Ther. 1994;74(10):901-7.
Ward AR, Shkuratova N. Russian electrical stimulation: the early experiments. Phys Ther. 2002;82(10): 1019-30.
Westing SH, Seger JY, Thorstensson A. Effects of electrical stimulation on eccentric and concentric torque-velocity relationships during knee extension in man. Acta Physiol Scand. 1990;140(1):17-22.