

전기자극이 근기능 변화에 미치는 효과

인하대 인하병원 · 성남병원 물리치료실¹⁾

정 호 발 · 고 태 성¹⁾

Effects of Electrical Stimulation on Muscle functional Change

Joung, Ho-Bal. M.P.H., R.P.T., Ko, Tae-Sung, M.P.H., R.P.T.¹⁾

Dept. of Physical Therapy, Sung nam General Hospital

Dept. of Physical Therapy, In-Ha General Hospital¹⁾

-ABSTRACT-

When any damage or disease occurs, muscular strength and muscular endurance are lowered, and thus, if one is able to be restored from the damage or the disease, appropriate stimulus is required, since the muscles have to restore their proper functions. For such stimulus, the way of exercising and the way using electric stimulus are used in physical therapy. In order to examine the change in muscular strength, muscular endurance and girth of limbs for Biceps brachii, according to the kinds of stimulus, in this article a total of 42 healthy male and female adults in their twenties were randomly sampled, and a series of tests were conducted for 6 weeks, for 15 minutes per once, 3 times per week, respectively, dividing them into the group for RUS(Russian Current Stimulation), PRE(Progressive Resistive Exercise) and P+R(RUS + PRE). The findings showed that the change in muscular strength was most significant as for the group for P+R, since it increased from 62.12 ± 25.30 before experiment to 95.78 ± 34.07 after 6 weeks; the change in muscular endurance was most significant as for the group for P+R, since it increased from 17.57 ± 6.63 to 42.86 ± 10.24 ; and the change in the girth of limbs was slightly significant only in the group for P+R, and the remaining two groups showed no significance.

Key words: muscular power, muscular endurance, electrical stimulation

I. 서 론

손상이나 질병이 발생되면 근력이 저하되기 때문에 손상이나 질병에서 회복 될 때는 각 개인의 정상적인 근력을 되찾는 것이 필수적이다(Gallery, 1985; Rutherford, 등 1990; Fisher, 등 1991). 사지의 고정으로 인하여 근육의 비사용이나 비활동은 골격근과 기능에 다양한 변화를 일으킬 수 있는데 이로 인해 근위축과 근력저하가 가장 흔히 발생한다. McDougall 등(1980), Veldhuizen 등(1993)은 골격계 손상에 의한 고정은 골격근의 활동 저하를 유도하여 근위축을 발생시킬 수 있다고 하였다.

위축의 크기와 정도는 근육에 가해지는 체중부하의 양과 활동제한에 의해 결정되고, 이로 인해 인체에 정상적인 스트레스가 주어지지 않는다면 퇴행, 저하, 변형, 손상이 초래 될 수 있다고 하였다(Booth 1982; Booth 와 Gollnick, 1983). MacDougall 등(1980), Vandernorn 등(1998), Veldhuizen 등(1993)에 의하면 4-8 주간의 근육의 비사용으로 근육의 단면적이 20-30% 정도 감소할 수 있다고 하였으며, Muller(1970)에 의하면 근력의 감소는 더욱 심해서 첫 1주 동안 1-6% 정도 감소한다고 보고하였다.

전기자극은 통증조절을 위하여 널리 이용되고 있고, 탈신경근 재교육, 관절범위 증진, 수의운동 조절, 위축 및 약화된 근육의 근력 회복 및 증강, 근경축 및 경련성 완화, 구축 교정, 혈류량 증진, 조직 치유 등의 효과를 보고하고 있다. 특히 근기능 향상을 위한 전기자극은 일반적으로 물리치료 분야에서 상해를 입은 근육조직의 회복과 부종의 제거 및 특정 근육의 강화요법 등으로 이용되어 왔다(Baker와 Parker, 1986; Baker, 등 1979; Fulbright, 1984; Phillips, 1989).

Johnson 등(1997)은 전기자극을 통한 근수축은 능동적 등척성 운동에서 얻어진 근수축과 비교될 만큼 근력이 증가되는 긍정적인 효과를 입증하였고, 근력증가는 전통적 운동방법에 비해 전기자극이 더 효과적이었다는 Kots(1977)의 연구보고 이후 전기자극의

근력증가 효과에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다. 전십자인대 재건 후 자발적 운동군과 비교하여 전기자극군이 더 큰 근력을 나타냈고, 보행도 정상에 더 가까웠으며, 전기자극과 능동적 수축운동은 골격근의 강화에 같은 효과를 보이고 있다(Arvidsson 등 1986; Synder-Mackler 등 1991; Lieber, 1996). Edith 등(1994)은 전기자극이 노인의 근력을 증가시키는데 있어 전통적인 운동방법과 비교하여 같은 효과를 보인다고 하였고, Maffiuletti 등(2000)에 의하면 전기자극은 배구선수의 슬관절 신전근의 근력과 쪼그려 뛰기에 효과가 있다고 하였으며, Felder(1994)에 의하면 전기자극과 수의적 근수축을 병행하면 주로 힘과 근력이 증가한다고 하였다. 이와는 반대로 원광희(1998), Lake(1992)은 일반적으로 건강한 근육을 활성화시켜 그 기간을 일정기간 지속하면 조직화학적, 생화학적, 형태학적인 변화를 가져오는데 이는 운동이나 전기자극에 의해 활성화 될 수 있으나 큰 차이는 없으며 최대근력 70% 수준의 운동은 근력 향상과 근섬유 조성의 변화에 영향을 미치지 못하며 동일 강도의 전기 자극과 수의적 수축간에도 차이가 없고 전기자극과 수의적운동의 병행도 전기자극이나 수의적 운동을 단독으로 한 것과 차이가 없다고 하였다.

대부분의 연구에서 건강인의 근력증진과 질병이나 손상에 의해 발생한 근위축의 회복시 자극의 종류에 의해 근섬유의 조성 및 근력이 변한다는 연구는 많이 진행되고 있으나, 자극 방법에 따른 근기능 즉 근력과 지구력 및 사지들레에 미치는 효과에 관한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 상완이두근에 러시아안 전류자극과 점진적 저항운동, 두 방법을 함께 하였을 때 나타나는 각 근육의 근력과 지구력, 사지들레 등의 변화를 알아보고자 본 연구를 실시하였다.

II. 연구 방법

1. 연구대상 및 연구기간

연구의 대상은 본 연구의 취지에 동의한 대학에 재학 중인 20대 건강한 성인 남녀 42명을 무작위로 선정하였다.

대상자의 일반적인 특성은 나이 22.52 ± 2.42 세, 신장 164.23 ± 5.63 cm, 체중 57.92 ± 6.19 Kg으로 나타났다.

2. 측정도구

본 연구에서는 측정 전에 완관절의 신전과 굴곡을 5회씩 반복 연습시킨 다음 측정순서를 대상자에게 설명한 후 근력, 지구력, 사지둘레의 측정을 각각 3회 측정하여 평균값을 얻었다. 근력측정을 위해 근력 측정기(DigiMax, Germany)를 이용하였으며, 지구력 측정은 최대근력의 65%를 이용하여 최대 반복 횟수를 측정하였다. 그리고 사지둘레를 측정하기 위해 상완이두근은 완관절의 내측상과 7.5cm 상단에서 둘레를 측정하였다.

3. 측정 내용 및 연구 방법

상완이두근을 점진적 저항운동군, 러시아 전류자극군, 점진적 저항운동과 러시아 전류자극을 함께 한 군으로 나누어 연구를 실시하였고, 평가는 실험 전, 실험 후 2주, 4주, 6주 총 4회 측정을 실시하였다.

1) 점진적 저항운동군

상완이두근은 의자에 등을 기대고 앉은 자세에서 양발을 지면에 고정시킨 다음 Delorme의 방법에 따라, 첫 10회는 10RM의 50% 무게를 저항의 양으로 사용하였고, 다음 10회는 10RM의 75% 무게를 저항의 양으로 사용하였으며, 마지막 10회는 10RM의 100%를 저항의 양으로 사용하였다. 각각의 무게를

이용하여 주관절을 굴곡하여 10초 동안 최대 수축한 후 신전해서 20초간 휴식하는 방법으로 1set에 10회, 총 3set 30회를 실시하였다.

매주 근력 변화에 따라 10RM을 측정하여 저항의 양을 조정하였으며, 매회 15분 주 3회씩 총 6주를 실시하였다.

2) 러시아 전류자극군

러시아 전류자극기(Dynatron 550, U.S.A.)를 이용하여 근육의 운동점을 자극하였다. 두 개의 탄소 실리콘 전극을 이용하여 완관절의 70°상태에서 상완이두근의 근육에 배치하였다. 전류는 20mA에서 25mA사이에서 조절하여 근수축이 가장 잘 일어 나는 강도로 자극하였고 단속 시간비는 1 : 2 즉, 10초 자극 후 20초 동안 휴식하도록 하였으며 맥동기간은 250 s, 맥동 빈도는 50pps로 설정하였다. 1회에 15분간 주 3회씩 총 6주를 실시하였다.

3) 러시아 전류자극과 점진적 저항운동 병행군

러시아 전류 자극기(Dynatron 550, U.S.A.)를 이용하여 상완이두근의 운동점에 도자를 배치하고 단속 시간비는 1 : 2 즉 10초 자극 후 20초 동안 휴식하도록 하였으며 맥동기간은 250 s, 맥동 빈도는 50pps 설정하여 전류가 근수축을 일으킬 때 Delorme의 방법에 따라 저항운동을 실시하였다.

매주 근력 변화에 따라 10RM을 측정하여 저항의 양을 조정하였으며, 매회 15분 주 3회씩 총 6주를 실시하였다.

4. 자료처리

자료처리는 점진적 저항운동군, 러시아 전류자극군, 점진적 저항운동과 러시아 전류자극을 함께 한 군으로 나누어 각 측정 시점에서 집단별 근력, 지구력, 사지둘레의 측정값을 평균±표준편차로 요약하였고 SAS 통계프로그램을 이용하여 반복측정자료의 분산분석과 다중비교를 실시하여 유의성을 평가

하였으며, p-값이 0.05 이하인 경우 통계적으로 유의하다고 판정하였다.

III. 결 과

1. 근력변화

근력 변화는 세 군(저항운동군 : 7.53) $F_{0.05} = 3.16$, 전류자극군 : 13.94) $F_{0.05} = 3.16$, 함께한군 : 14.63) $F_{0.05} = 3.16$) 모두에서 유의한 증가를 보였고, 다중비교를 통하여 실험전과 그 후 각 측정시점간의 유의성을 검정한 결과 세 군 모두에서 실험전과 6주 후에서 그 차이가 통계적으로 유의하였다($p < 0.05$). 점진적 저항운동과 러시아 전류자극을 함께 한 군에서 실험 전 62.12±25.30에서 6주 후 95.78±34.07으로 가장 유의한 증가를 보였으며, 러시아 전류자극군, 점진적 저항운동군 순서로 유의성 나타내었다(표 1).

표 1. 근력의 변화

	means± SD			
	실험전	2주후	4주후	6주후
저항운동군	51.22±10.47	51.91±16.19	62.19±7.19	69.90±8.21 *
전류자극군	44.2±10.11	45.41±10.77	58.40±14.35	71.33±11.95 *
함께한군	62.12±25.30	67.57±29.84	79.88±27.95	95.78±34.07 *

p < 0.05

2. 지구력변화

지구력의 변화는 세 군(저항운동군 : 11.76) $F_{0.95} = 3.16$, 전류자극군 : 17.60) $F_{0.05} = 3.16$, 함께한군 : 29.72) $F_{0.05} = 3.16$) 모두에서 유의한 증가를 보였고, 다중비교를 통하여 실험전과 그 후 각 측정시점간 차이의 유의성을 검정한 결과 세 군 모두에서 실험전과 4주 그리고 6주 후에서 그 차이가 통계적으로

로 유의하였다($p < 0.05$). 점진적 저항운동과 러시아 전류자극을 함께 한 군에서 실험 전 17.57±6.63에서 6주 후 42.86±10.24으로 가장 유의한 증가를 보였으며, 러시아 전류자극군, 점진적 저항운동군 순서로 유의성을 나타냈다(표 2).

표 2. 지구력의 변화

	means±SD			
	실험전	2주후	4주후	6주후
저항운동군	23.00±10.66	23.71±9.98	35.00±14.56 *	35.57±14.40 *
전류자극군	22.00±7.55	24.71±6.87	37.14±4.88 *	37.29±6.18 *
함께한군	17.57±6.63	21.71±6.16	31.00±10.26 *	42.86±10.24 *

p < 0.05

3. 사지들레변화

사지들레의 변화(저항운동군 : 1.13) $F_{0.05} = 3.16$, 전류자극군 : 2.18) $F_{0.05} = 3.16$, 함께한군 : 3.72) $F_{0.95} = 3.16$)는 점진적 저항운동과 러시아 전류자극을 함께 한 군에서만 약간의 유의한 증가를 보였다(표 4). 다중비교를 통하여 실험전과 그 후 각 측정시점간 차이의 유의성을 검정한 결과 점진적 저항운동과 러시아 전류 자극을 함께 한 군에서 실험전과 4주 그리고 6주 후에서 그 차이가 통계적으로 유의하였다($p < 0.05$).

표 3. 사지들레의 변화

	means± SD			
	실험전	2주후	4주후	6주후
저항운동군	25.44±2.41	25.40±2.14	26.01±2.12	25.67±1.81
전류자극군	26.40±3.42	26.71±4.23	27.13±4.27	27.50±4.20
함께한군	24.74±2.28	25.16±1.86	25.21±2.10 *	25.49±2.27 *

p < 0.05

IV. 고 찰

장기간의 침상안정, 사지의 석고고정, 신경손상, 무중력상태, 체중부하의 저하와 활동저하는 골격근의 형태적, 기능적 변화 및 산화효소작용을 감소시켜 근육의 기능을 떨어뜨린다고 하였고(김동희 등, 1994), Browse(1965)는 장기간의 침상생활과 관련된 정상적인 체중부하의 감소와 이완성 마비에서 보여지는 것처럼 뼈를 잡아 당기는 정상적인 근육의 부재는 골다공증과 근위축을 일으킬 수 있다고 하였다. 이처럼 근기능의 저하를 회복하기 위한 방법으로 물리치료분야에서는 운동을 하거나, 전기자극을 이용해 왔다.

신경근 전기자극은 18세기 이후 마비환자의 치료와 손상 후 근기능의 유지 및 회복, 수의적 운동(voluntary exercise)의 전단계에 사용되어져 왔으나, 최근에는 운동선수의 근력훈련의 한 방법으로 사용되고 있다. 그러나 효과에 대해서는 수의적 운동과 비교하여 확실하게 밝혀지지 않았다(Hainaut 와 Duchateau, 1992). Lieber 와 Kelly(1991)는 최대 근수축이 일어나는 강도로 전기 자극한 결과 염력이 유의하게 증가하였다고 하였으며, 전기자극은 수의적 운동에 의해 얻을 수 있는 것보다 더 큰 근력을 얻을 수 있다는 점에 의해 고정이나 비활동에 의한 근위축을 보상하는 방법으로 또는 운동선수들에 있어 근력을 증가시키는 대체 트레이닝으로 제안되기도 하였다(Delitto 등 1989; Hainaut 와 Duchateau, 1992). John 와 Steven(1991)에 의하면 이것은 근육을 훈련시키는 인위적인 방법이기 는 하지만 규칙적인 운동보다 적어도 두 가지의 장점이 있다고 하였는데 우선 자극을 특정목표의 근육에 향하게 할 수 있고 오랜 기간 적용할 수 있다는 것이다.

Lake(1992)에 의하면 신경근 전기자극은 쌍침 단상성 펄스전류, 돌발 변조교류(러시안 전류), 이상성 펄스전류등을 이용하여 고정기간 동안의 근력강화, 위축의 최소화, 근육의 재교육, 부종의 조절에 사용된다고 하였다.

Kots(1977)의 연구에서 전통적인 근력증강 방법과 러시안 전류자극을 함께 적용했을 때 30-40%의 근력증가를 보였다는 발표 이후 신경 지배근의 근력을 획득하기 위한 다양한 전기자극 방법들이 연구되고 있다. Lake(1992)에 의하면 수의적 수축과 전기자극에 의한 수축의 차이점은 수의적 수축은 Type I에서 Type II로 운동단위가 동원되지만, 전기자극은 반대로 Type II에서 Type I으로 동원된다고 하였다.

본연구의 결과 근력 변화는 점진적 저항운동과 러시안 전류자극을 함께 한 군에서 실험 전 62.12 ± 25.30 에서 6주 후 95.78 ± 34.07 으로 가장 유의한 증가를 보였으며, 러시안 전류자극군, 점진적 저항운동군 순서로 유의성을 나타내었는데 이러한 결과는 Alon 등(1987)의 연구에서 전기자극과 수의적인 운동을 한 결과 전기자극과 운동을 함께 한 군에서 근력증가를 확인한 것과 상완이두근의 수의적 수축시 전기자극을 가하면 더 많은 힘을 발생한다는 Baroga(1979)의 연구, 하퇴 삼두근에 4주 동안 전기자극에 의해 근력증가를 확인한 Martin 등(1993)의 연구와 부분적으로 일치하고 있다.

Currir 와 Mann(1983)는 10번을 반복하는 실험에서 10번째의 평균 수축 염력이 첫 번째 염력과 비교하여 등척성 운동에 전기자극치료를 함께 한 군에서는 20%의 염력이 감소한 반면 전기자극만 한 군에서는 평균 24%의 감소율을 보고하였으나 Eriksson 등(1981)의 연구에서는 전기자극 후 지구력을 측정할 결과 큰 차이를 발견하지 못하였으나, 본 연구에서 지구력의 변화는 점진적 저항운동과 러시안 전류자극을 함께 한 군, 러시안 전류자극군, 점진적 저항운동군 순서로 유의성을 나타내어 전기자극이 저항운동보다 더 큰 지구력향상을 보여 근력증가 뿐만 아니라 지구력의 증가에도 사용될 수 있음을 보여주고 있다.

김동희 등(1994)은 전기자극이 항중력근인 가자미근과 내측비복근의 위축을 효과적으로 감소시킬 수 있다고 하였으며, Qin 등(1997)은 전기자극이 고정으로 인해 발생하는 위축을 방지하고 근육의 횡단면의

축소를 최소화 할 수 있다고 하였다. 그러나 Martin 등(1993)의 보고에 의하면 1회 10분, 주 3회 총 4주 동안의 전기자극은 하퇴 삼두근의 횡단면을 변화시키지는 못하였다고 하였다.

본 연구의 결과 사지들레의 변화는 점진적 저항운동과 러시아 전류 자극을 함께 한 군에서 실험전과 4주 그리고 6주 후에서 그 차이가 통계적으로 유의하였다. 점진적 저항운동과 러시아 전류자극을 함께 한 군에서 약간의 유의성이 발견되고 다른 두 군에서는 유의성이 없는 결과로 미루어 6주 이후부터 들레의 변화를 기대할 수 있다고 생각되며 확실한 들레 변화를 보기 위해서는 6주이상의 연구기간 필요할 것으로 생각된다.

V. 결 론

본 연구에서는 상완이두근에 대한 러시아 전류 자극과 점진적 저항운동 그리고 두 방법을 함께 한 군에서의 근기능 즉 근력과 지구력, 사지들레의 변화를 알아보기 위해 20대 성인 남성 42명을 대상으로 상완이두근에 대하여 점진적 저항운동, 러시아 전류 자극, 점진적 저항운동과 러시아 전류자극을 함께 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

근력변화는 세 군 모두에서 유의한 증가를 보였는데 ($p < 0.05$), 러시아 전류자극과 점진적 저항운동을 함께 한 군에서 가장 높은 유의성을 보였고 지구력의 변화는 세 군 모두에서 유의한 증가를 보였으며 ($p < 0.05$) 점진적 저항운동과 러시아 전류자극을 함께 한 군에서 가장 높은 유의성을 보였다.

그러나 사지들레의 변화에서는 점진적 저항운동과 러시아 전류자극을 함께 한 군에서 약간의 유의한 증가를 보였으나 ($p < 0.05$), 다른 군에서는 유의하지 않았다.

이상의 결과에 의해 자극의 종류에 의한 근기능의 변화는 근력, 지구력 모두 단독으로 실시한 것보다 함께 실시하는 것이 더 효과적임을 알 수 있었으며, 근력, 지구력 모두 점진적 저항운동군보다 러시아전

류자극군에서 더 효과적 이었으며, 사지들레에서는 연구기간이 짧아 큰 변화는 볼 수 없었다.

따라서 장기간의 침상안정, 사지의 석고고정, 신경손상 등에 의해 저하된 근기능의 회복을 위해 전류 자극은 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 사료되며, 들레의 변화를 위해서는 좀더 긴 연구기간이 필요하리라 사료된다.

참 고 문 헌

- 김동희 등. 전기자극이 흰쥐 위축근의 수축반응에 미치는 영향. 대한스포츠의학 회지, 12(2):275-293,1994.
- 원광희. 전기자극과 Weight training 후 인체 골격근섬유의 조성과 근육의 기능. 한국체육대학교 대학원석사학위논문; 1998.
- Arvidsson, I., Arvidsson, H., Eriksson, E., Jasson, E. Prevention of quadriceps wasting after immobilization : An evaluation of the effect of electrical stimulation. Orthopedic, 9(11):1519-1527,1986.
- Backer, L.L., Yeh, C., Wilson, D., Waters, R.L.. Electrical stimulation of wrist and fingers for hemiplegic patients. Phys Ther 59:1495-1499,1979.
- Baker, L.L., Parker, K.. Neuromuscular electrical stimulation of the muscles surrounding the shoulder. Phys Ther, 6:1930-1937,1986.
- Baroga, T.. Contemporane in metodologia dezvoltari fortei.(contemporary trends in the methodology of strength development). Educatia fizica si sports, 6:22-36.
- Booth, F.W.(1982). Effect of limb immobilization on skeletal muscle. J Appl Physiol,52(5):1113-1118,1979.
- Booth, F.W., Gollnick, P.D.. Effects of disuse on the structure and function of skeletal muscle. Med Sci Sports Exerc, 15:415-420,1983.

- Browse, N.L., The physiology and pathology of bed rest, 12, Charles C.T., Springfield, 1965.
- Currier, D.P., Mann, R. Muscular Strength development by Electrical Stimulation in healthy individuals, *Phys Ther*, 63:915, 1983.
- Delitto, A., Brown, M., Strube, M.J., Rose, S.J.. Electrical Stimulation of quadriceps femoris in an elite weight-lifter: a single subject study. *Int J Sports Med*, 3(10):187-191, 1989.
- Edith, C., Tracey, E., Sandy, S., Rebecca, L.C.. Effect of electrical stimulation or voluntary contraction for strengthening the quadriceps femoris muscles in an aged male population. *J Orthop Sports Phys Ther*, 20(1):22-28, 1994.
- Felder, H.. The effect of electromyostimulation on selected power parameters. *Sportverletz Sportschaden*, 8(3):122-127, 1994.
- Eriksson, E., Haggmak, T., Kiessling, K.H., Karlsson, J.. Effects of electrical stimulation on human skeletal muscle. *Int J Sports Med*, 2:18-22, 1981.
- Fisher, N.M., Pendergast, D.R., Gresham, G.E., Calkins, E.. Muscle rehabilitation: its effect on muscular and functional performance of patients with knee osteoarthritis. *Arch Phys Med Rehabil*, 72 (6)367-74, 1991.
- Fulbright, J.S.. Electrical stimulation to reduce chronic toe-flexor hypertonicity. *Phys Ther*, 64:523-525, 1984.
- Gallery, P.M., Forster, A.L.. *Human Movement*. Churchill Livingstone Co, 1985.
- Hainaut, K., Duchateau, J.. Neuromuscular electrical stimulation and voluntary exercise. *Sports Med*, 14(2):100-113, 1992.
- John, L.B., Steven, L.W.. *Therapeutic Exercise* (5th Ed.). Willaims & Wilkins, Baltimore, 1991.
- Johnson, D.H., Thurston, P., Ashcroft, P.J. The Russian technique of faradism in the treatment of chondromalacia patella. *Physiotherapy Canada*, 29(4):266-268, 1997.
- Kots, Y.M., Electrostimulation: Notes from Dr. Y.M Kots' (USSR) lectures and laboratory periods, Presented at the Canadian-Soviet Exchange Symposium on of Skeletal Muscle. Concordia university, Montreal, Quebec, 6-15, 1977.
- Lake, D.A., Neuromuscular electrical stimulation. An overview and its application in the treatment of sports injuries. *Sports Med*, 13(5):320-336, 1992.
- Lieber, R.L., Kelly, M.J.. Factors influencing quadriceps femoris muscle torque using transcutaneous neuromuscular electrical stimulation. *Phys Ther*, 71:715-721, 1991.
- Lieber, R.L., Silva, P.D., Daniel D.M.. Equal effectiveness of electrical and volitional strength training for quadriceps femoris muscles after ACL surgery. *J Orthop Res*, 14(1):131-138, 1996.
- MacDougall, J.D., Elder, G.C.B., Sale, D.G., Moroz, J.R., Sutton, J.R.. Effects of strength training and immobilization on human muscle fibers. *Eur J Apple Physiol* 43(1):25-34, 1980.
- Maffioletti, N.A., Cometti, G., Amiridis, I.G.. The effects of electromyostimulation training and basketball practice on muscle strength and jumping ability. *Int J Sports Med*, 21(6):437-443, 2000.
- Muller, E.A.. Influence of training and inactivity on muscle strength. *Arch Phys Med Rehabil*, 51:449, 1970.
- Phillips, C.A.. Functional electrical stimulation and lower extremity bracing for ambulation exercise of the spinal cord injured individual. *Phys ther*, 69:842-849.
- Qin, L., Appell, H.J., Chan, J.M., Maffulli, N. (1997). Electrical stimulation prevents immobilization atrophy in skeletal muscle of rabbits. *Arch Phys*

Med Rehabil, 78:512-517,1989.

Rutherford, O.M., Jones, D.A., Round, J.M. Long lasting unilateral muscle wasting and weakness following injury and immobilization. Scand J Rhab Med, 22:33-37,1990.

Snyder-Mackler, L., Ladin, Z., Schepsis, A.A., Young, J.C.,Electrical stimulation of the thigh muscles after reconstruction of the anterior cruciate ligament: effects of electrically elicited contraction of the quadriceps femoris and hamstring muscle on gait and strength of the thigh muscle. J Bone Joint Surg[Am],73:1025-1036,1991.

Vandenborne, K., Vandenborne, K., Elliott, M.A., Walter, G.A., Abdus, S., Okereke, E., Shaffer, M., Tahernia, D., Esterhai, J.L. . Longitudinal study of skeletal muscle adaption during immobilization and rehabilitation. Muscle Nerve,21(8):1006-1012,1998.

Veldhuizen, J.W., Verstappen, F.T., Vroemen, J.P., Kuipers, H., Greep, J.M.,Functional and morphological adaptation following four weeks of knee immobilization. Int J Sports Med, 14(5):283-287,1993.