

수의적 운동에 의한 정상근과 경직근의 최대 등척성 수축력 변화

임 상 완

(포항세명기독교병원 물리치료실)

최 은 영

(광양보건대학 작업치료과)

The Change of the Maximal Isometric Contracture of the Normal and Spastic Muscles in Voluntary Exercise

Lim Sang-Wan, P.T., M.S.

(Dept. Physical Therapy, Pohang Semyung Christianity Hospital)

Choi Eun-Young, P.T., M.P.H.

(Dept. of Physical Therapy, Kwangyang Health College)

ABSTRACT

This study aimed at examining the maximal isometric contraction caused by voluntary exercise and at comparing its aspects of decrease and restoration in their different repeated application, as to the quadriceps muscles of thigh in the subjects composed of patients with spastic hemiplegia and normal adults.

Using isokinetic exercise analyser(Biodex Medical Systems Inc., Biodex System 3PRO, U.S.A.), experiment was conducted as to the normal group composed of fifteen adults

and the patient group composed of fifteen patients with spastic hemiplegia.

As to each group, MVIC(maximal voluntary isometric contraction) of the quadriceps muscle of thigh caused by voluntary exercise and the aspects of decrease and restoration of the isometric contraction were examined with the method to induce isometric exercise, and their SDI(strength decrement index) and SRI(strength recovery index) were also calculated.

The results can be summarized as follows:

1. As for decrease of maximal isometric contraction, both groups showed slow decrease in voluntary exercise, but the normal group showed rapid decrease later phase.
2. As for SDI, no significant differences could be observed in comparison between groups.
3. As for restoration of maximal isometric contraction, both groups showed slow restoration in voluntary exercise, but the normal group showed rapid restoration early phase.
4. As for SRI, comparison between groups showed significant differences in voluntary exercise.

These results lead us to the conclusions that spastic muscle is characterized by slow decrease and restoration of MVIC in comparison with normal muscle in voluntary exercise.

Key word: Spastic muscle, Fatigue, MVIC

I. 서론

편마비환자의 임상적 특징은 비정상적인 자세반사와 근 긴장도의 변화, 자세와 균형 조절능력감소, 독립된 운동능력 상실, 의식 수준의 변화, 운동 및 감각기능 상실, 언어 기능장애 등 신경학적 결함이 나타나며 (Susan 등, 2001), 이러한 증상의 특징 중

하나가 운동장애이다. 편마비로 인한 운동 기능 상실은 근력약화와 비정상적인 근 긴장 및 움직임 패턴 등으로 인해 운동조절능력의 장애를 발생시킨다(Sharp 등, 1997). 또한 운동능력의 상실은 보행이나 계단 오르기 등 일상생활활동과 같은 기능적 활동의 수행능력을 제한하고(Sharp 등, 1997), 일상생활활동을 감소시켜 환자들에게 사회 활동을 하는데 있어 많은 장애요소를 만들

게 된다(Perry 등, 1995). 임상적으로 근력약화는 뇌졸중 환자의 기능적 재활을 제한하는 요소이고(Bohannon 등, 1995) 근력의 측정은 뇌졸중 환자의 보행능력을 예측하는데 기초가 되는 매우 중요한 항목으로 보고되었다(Bohannon 등, 1992). 임상적으로 근육의 약화는 비신경적 부분과 신경적 부분 모두 영향을 미치고 신경학적 병변들은 일차적으로 신경근육계에 손상을 일으켜 수의적운동과 보행 시 동원되는 운동신경원의 수, 유형, 발사빈도에 영향을 미치며 이차적으로 근육섬유에 영향을 일으켜 근 장력을 생성하는 환자의 능력을 손상시킨다고 하였다(Shumway-Cook 등, 1995).

근피로는 근육의 지속적인 반복활동으로 요구 또는 기대되는 힘을 유지할 수 없는 것을 장시간 또는 과도한 활동으로 인해 능률 저하, 불쾌감, 자극에 대한 반응 능력의 상실을 의미한다(Edwards 등, 1981). 생리학적 측면에서 근피로(muscle fatigue)는 요구하거나 기대되는 근력을 유지하는데 실패하거나 또는 일을 수행하고 힘을 발휘하기 위한 신경근 기능(neuromuscular function)의 약화 현상으로 정의 되었다(Bigland-Ritchie 등, 1981). 그러나 최근에는 최대의 힘으로 근 수축을 지속할 때 나타나는 피로는 중추신경계의 운동 유발전위의 감소나 신경근 전도의 실패에 의해 힘 발생능력(force-generation ability)이 감소하는 것이 아니라 해당 근육의 수축력 자체의 문제라고 보고 신경근 체계의 근력발휘 능력이 감소된 것으로 정의 하였다(Bigland-Ritchie 등, 1984). 근피로는 심리적 요소와 생리적 요소가 함께 관여하는 복잡한 인체 현상으로 전신 또는 국소적

으로 나타난다. 근피로의 명확한 작용기전에 대해서는 확실히 밝혀지지 않고 있으나 몇 시간 이상 계속되는 장기간의 운동 시에는 공복으로 인해 혈액 내 혈당치가 감소하여 중추신경계의 항상성을 파괴하므로 피로가 나타난다고 하였다.

근피로에 대한 정량적 임상평가방법으로 수의적 유발 피로검사(volitionally induced fatigue test)와 전기적 유발 피로검사(electrically induced fatigue test)가 있다(Binder-Macleod 등, 1993). 수의적 유발 피로검사로 Karlsson과 Thorstensson(1976)은 isokinetic dynamometer를 이용하였으며, 전기자극 유발 피로검사는 근육 수행능력을 평가하기 위해 임상적으로 사용하기 시작했다(Binder-Macleod 등, 1993). 이 두 가지 피로검사는 생리적으로 거의 동일한 결과를 나타내며 신뢰도가 검증된 방법이다(McDonnell 등, 1987).

이 연구는 정상인과 편마비환자를 대상으로 대퇴사두근의 최대 수의적 등척성 수축력(maximal voluntary isometric contraction; MVIC)의 감소 및 회복 양상, 근력감소지수(strength decrement index; SDI) 및 근력회복지수(strength recovery index; SRI) 등을 분석하여 수의적 운동에 의한 경직근의 근피로 및 회복양상의 특성을 알아보고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 실험은 경직형 편마비환자 15명과 건

강한 성인 15명을 대상으로 실시하였다 (Table 1).

Table 1. Characteristics of subjects

	Normal	Patient
Age(year)	25.15±3.74	49.60±11.97
Sex(n)		
Male	8	11
Female	7	4
Height(cm)	167.60±7.73	166.13± 8.44
Weight(kg)	59.27±7.61	60.73±12.42
Hemiplegic side		
Right		5
Left		10
Prevalence Period(month)		14.73±7.41
Modified Ashworth Scale		
Grade 1		3
Grade 1+		10
Grade 2		2

2. 연구방법

대상자를 Isokinetic Exercise Analysis System(Biodex Medical Systems, Inc., Biodex System 3PRO, USA)에 앉히고 대퇴와 골반 그리고 가슴을 벨트로 고정하였다. Dynamometer의 회전축은 슬관절 축과 일직선이 되게 대퇴의 외측과를 따라 정렬하였다. 대상자의 우세 측 또는 마비 측 하지의 고관절은 70° 굴곡위, 슬관절은 45° 굴곡위로 고정시킨 후 수의적으로 최대한 슬관절을 신전하도록 하였다. 반대 측 하지는 자유롭게 두었으며, 양팔은 편마비환자들과 조건을 같이 하기 위하여 팔짱을 끼게 하였

다. 대상자들의 자세는 모든 실험과정에서 동일하게 유지하였다.

1) 최대 수의적 등척성 수축력의 감소

슬관절을 6초 동안 최대근력으로 신전하고, 2초간 휴식하는 방법으로 21회를 연속적으로 반복하여 1회, 3회, 6회, 9회, 12회, 15회, 18회, 21회의 최대우력 값을 선택하여 최대 등척성 수축력 감소양상과 근력감소지수를 분석하였다.

근력감소지수(strength decrement index; SDI)는 Clarke 등(1954)의 공식을 사용하였다.

$$SDI(\%) = (T_i - T_t) \times 100/T_i$$

Ti; peak torque in the period of initial 6 second of stimulation

Tt; peak torque in the period of initial 6 second of stimulation at t time from initial stimulation

2) 최대 수의적 등척성 수축력의 회복

최대 수의적 등척성 수축력 측정 마지막 운동 횟수(21회)의 최대 수의적 등척성 수축력을 기점으로 2분, 3분, 38분 간격으로 각 시기마다 3회 측정하여 얻은 평균값을 최대우력 값을 선택하여 최대 수의적 등척성 수축력 회복양상과 근력회복지수를 분석하였다.

근력회복지수(strength recovery index; SRI)는 근피로를 측정하기 위한 Clarke 등(1954)의 공식을 변형하여 사용하였다.

$$SRI(\%) = (T_t - T_i) \times 100/T_i$$

Ti; peak torque in the period of initial 6 second of stimulation

Tt; peak torque in the period of initial 6 second of stimulation at time from initial stimulation

3. 분석방법

모든 통계는 측정된 자료들을 부호화하여 SPSS/PC 10.0을 이용하여 처리하였다. 최대 등척성 수축력의 감소와 회복양상에 대한 분

석은 반복측정된 분산분석(repeated measures ANOVA)을 사용하였으며, 근력감소지수(SDI), 근력회복지수(SRI)의 비교는 independent t test를 실시하였다. 통계적 유의성을 검정하기 위한 유의 수준 α 는 0.05로 정하였다.

III. 결 과

1. 최대 수의적 등척성 수축력의 감소

정상군의 수의적 운동에 의한 최대우력의 변화는 1회가 135.88 ± 32.77 Nm, 6회가 129.69 ± 32.28 Nm, 12회가 118.95 ± 32.40 Nm, 21회가 79.99 ± 37.88 Nm로 등척성 수축 횟수가 늘어날수록 최대우력이 현저히 감소되는 경향을 나타내었다. 환자군의 수의적 운동에 의한 최대우력의 변화는 1회가 54.07 ± 22.49 Nm, 6회가 51.04 ± 21.58 Nm, 12회가 45.11 ± 19.15 Nm, 21회가 34.59 ± 15.17 Nm로 등척성 수축 횟수가 늘어날수록 최대우력의 감소가 완만하게 감소되는 경향을 나타내었다. 실험군 간의 연속 최대 등척성 수축력의 감소를 반복측정 분산분석을 한 결과 군 간, 측정시기 간, 군과 측정시기 간의 교호작용에서 모두 유의한 차이를 나타내었다($p < .01$)(Figure 1).

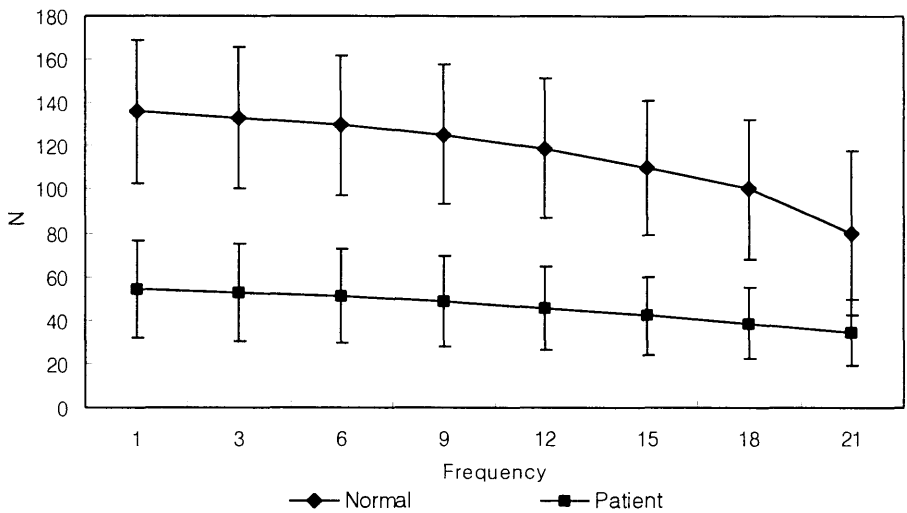


Figure 1. Decreasing of maximal isometric contraction during voluntary exercise(Nm)

2. 근력감소지수 변화

수의적 운동에 의한 근력감소지수는 정상군이 43.01±13.23%, 환자군이 36.14±12.74%로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

3. 최대 수의적 등척성 수축력의 회복

최대 등척성 수축력의 회복의 결과로 정상군은 연속반복측정 21회 측정값 80.93±39.14 Nm을 기준으로 2분 후가 117.73±29.61 Nm, 13분 후가 122.23±34.18 Nm, 38분 후가 138.04±29.63 Nm으로 시간이 경과

할수록 최대우력의 회복력이 점진적으로 증가 되는 경향을 나타내었다. 환자군은 연속 반복측정 21회 측정값 34.59±15.17 Nm을 기준으로 2분 후가 48.34±18.91 Nm, 13분 후가 48.43±21.79 Nm, 38분 후가 49.56±23.491 Nm으로 초기에는 회복지수가 현저하게 증가되나 이후부터 매우 완만하게 증가하는 경향을 나타내었다. 실험군 간의 최대 등척성 수축력의 회복을 반복측정 분산 분석을 한 결과 군 간, 측정시기 간, 군과 측정시기 간에서 모두 유의한 차이를 나타내었다(p<.01)(Figure 2).

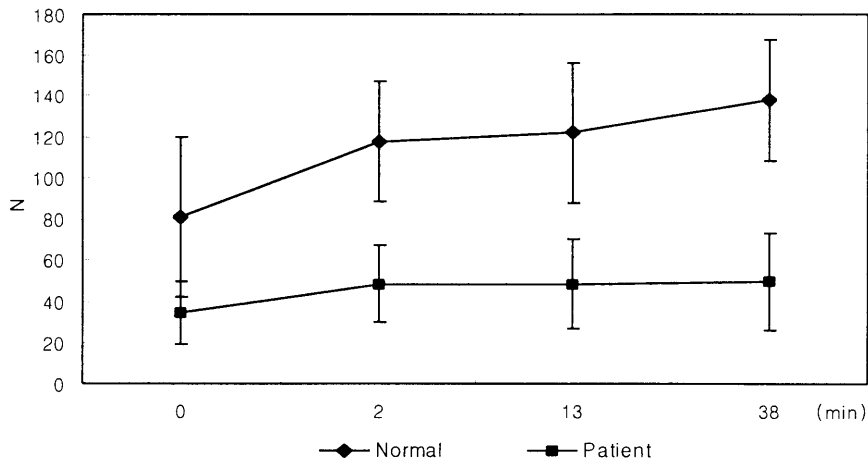


Figure 2. Recovery of maximal isometric contraction during voluntary exercise(Nm)

4. 근력회복지수 변화

군이 286.99±86.75%, 환자군이 99.11±86.21 %로 유의한 차이를 나타내었다(Table 2).

수의적 운동에 의한 근력회복지수는 정상

Table 3. Changes of strength recovery index (%)

	Normal	Patient
Voluntary	286.99±86.75	99.11±86.21**

All value are showed mean±SD

** : p<0.01

IV. 고찰

근피로의 측정방법은 운동전·후의 혈청 크레아틴 키나제(creatine kinase) 또는 젖산의 농도를 측정하는 혈액·화학적 방법(Hagberg 등,1982), 근육의 최대 수축력을 측정하는 운동역학적 방법(Fulco 등, 1995)

및 주파수 영역에서의 분석(Mannion 등, 1996)을 통한 전기생리학적 방법 등이 있다.

근육의 피로 발생시점을 결정하는 두 가지 방법으로는 대상자 스스로가 피로를 느껴 운동을 포기하는 방법(Baratta 등, 1998)과 Vollestad 등(1988)에 의한 지구력을 측정하는 방법이 있다. Kots 등(1977)은 중주파전류를 사용하여 정상신경지배근을 훈련시킨 결과 전기자극이 수의적 운동보다 근

력을 30~40% 더 증가시킨다고 발표한 이후 전기자극을 이용한 근력증강 방법들에 대한 많은 연구가 이루어졌다. 등척성 운동과 전기자극을 이용한 근력증진을 비교한 Patterson(1977)은 등척성 훈련군보다 전기자극을 함께 한 훈련군에서 근력증가가 더 크다고 하였고, Godfrey 등(1979)은 전기자극군이 등척성 운동군 보다 근력증가가 높다고 하였으며, 반면 Currier 등(1977)은 전기자극군과 등척성 운동군 간의 근력향상에는 차이가 없다고 보고 하였다. 현재까지 전기자극이 등척성 운동에 비해 근력증진에 더 효과적인지는 논란의 여지가 남아 있다.

따라서 본 연구에서는 Biodex 등속성 동력계를 이용하여 정상인과 경직형 편마비환자의 대퇴사두근을 대상으로 수의적 운동을 적용하여 유발시킨 등척성 운동에 의한 근수축력의 감소 및 회복 경향과 근력감소지수 및 근력회복지수의 변화를 비교 분석하여 경직근에 대한 근수축력의 효율성 증대와 근 피로유발을 알아보고자 하였다.

Bigland-Ritchie 등(1978)은 대퇴사두근의 중추피로를 전기자극으로 발생하는 근력의 감소와 지속적인 최대 등척성 수축을 하는 동안의 근력감소를 비교한 결과 최대 등척성 수축력이 전기자극으로 발생하는 힘보다 더 빨리 떨어지기 때문에 중추피로가 근력감소의 원인이 된다고 하였다. Binder-Macleod 등(1993)은 수의적인 근수축이나 전기자극을 장시간 지속하면 근 피로를 유발할 수 있으며, 골격근에 신경근전기자극을 적용하는 동안 피로율은 수의적 수축에서 보다 훨씬 더 크다고 하였다.

Kent-Braun 등(1996)은 처음 최대 등척성

수축력을 4분 동안 유지하는데 운동 프로토콜(exercise protocol)은 24%, 전기자극은 11% 근력감소가 있다고 보고하였고, Gandevia 등(1996)은 최대 등척성 수축을 3분 동안 유지한 후에 상완 이두근에서 자가 활동이 상당히 감소했다는 것을 밝혀냈다.

Petrofsky 등(2000)은 운동과 휴식의 비율은 50:50이 대퇴사두근의 근력과 지구력 증진에 가장 좋다고 하였으며, 운동시간이 길고 휴식시간이 짧은 경우 근 피로가 빨리 진행 된다고 하였다. 그 이유는 근육의 혈액순환장애 때문이라고 하였다. 근 수축을 지속적으로 유지했을 때 근육 내 압력이 증가되고, 수축 근육내의 혈액순환의 폐쇄에 의한 것이라 보고 하였다. 등척성 수축을 할 때 혈액순환의 일부 또는 전체의 폐쇄는 근 수축 시 발생된다. 근 수축 기간이 길어질수록 혈액순환장애는 더욱 길어지며, 근육의 강제적 무산소운동이 길어질수록 피로는 더욱 심해진다. 그러므로 장시간에 걸친 근 수축의 운동은 빠른 근 수축 주기보다 더 많은 근 피로를 유발한다고 하였다.

근 피로는 반복된 자극에 대한 단일 근육의 감소된 반응이며, 이는 정상적인 생리학적 반응으로 운동단위 활동전위(motor unit action potential)의 진폭이 감소하여 신경, 근육계에서 힘 발생능력이 감소하는 것이라 정의되고 있다(Kisner and Colby, 1996). 또한, 근 피로는 근육의 수축강도, 수축지속시간, 근 수축의 횟수, 휴식시간 및 휴식횟수 등에 영향을 받는다고 하였다(변승남 등, 1995).

Kahn 등(1989)은 근육의 수축강도가 15~20% 최대 수의적 수축력 이상일 경우 수축

지속시간이 길어짐에 따라 근육 피로가 급격히 증가한다는 본 연구와 일치하였으며 일의 반복횟수 또한 근 피로를 증가시키므로 반복횟수가 증가할수록 총 휴식시간이 증가해야하며, 한 번의 긴 휴식시간보다 짧고 빈번한 휴식시간이 더 효과적이라고 하였다(Genaidy 등,1993). Genaidy 등(1993)은 주어진 강도로 등척성 수축을 지속 할 경우 근육의 피로에 의해 근력의 크기는 감소된다. 그러나 적절한 휴식시간이 주어지면 근육의 피로회복에 따라 근력 또한 회복하게 된다. 이러한 과정을 여러 번 반복 할 때 최초 발휘된 근력의 크기 대 마지막 발휘 근력의 크기 비를 근력회복률 이라 하였다. 근 피로의 회복에 대해 Ament 등(1996)은 트레드밀운동 후 20분에 원래의 중앙주파수로 회복됐다고 하였고, Van der Hoeven 등(1993)도 주파수가 등척성 수축 후 10~12분에 운동 전 상태로 회복되었다고 하였다. 변승남 등(1995)은 지속적인 근수축에 따른 근회복율이 휴식시간 3분일 경우 45.8%, 40분일 경우 근력의 86%까지 회복되는 것으로 보고 하였다. 본 연구에서도 지속적인 반복운동 횟수에 따른 근 피로는 시간이 경과 할수록 증가 하였으며 휴식시간이 증가할수록 근 회복은 초기상태로 회복되는 것으로 나타났다.

이와 같은 연구결과로 보아 수의적 운동에 의한 최대 등척성 수축력의 실험에서 경직근이 근 피로에 의한 근수축력의 감소가 느리게 나타나고 회복은 낮은 것으로 나타나 수축시간과 이완시간의 순환비가 낮을수록 근 피로에 더 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 따라서 임상에서 경직근에 대한

지속적인 반복운동 횟수의 변화에 따른 수의적 최대 등척성 수축력의 감소 및 회복 정도를 고려하여 적용 할 필요가 있는 것으로 사료된다.

V. 결 론

이 연구에서는 정상근과 경직근을 대상으로 등속성 운동분석장치(Biodex System 3PRO, USA)를 이용하여 수의적 운동에 의한 대퇴사두근의 최대 등척성 수축력의 감소 및 회복경향과 근력감소지수 및 근력회복지수를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

정상근의 최대 등척성 수축력의 감소는 운동 횟수가 늘어날수록 점차 현저하게 증가되는 경향을 나타내었으나, 경직근은 운동 횟수에 따른 수축력의 차이가 크지 않아 매우 완만하게 감소되는 경향을 나타내었다. 그러나 최대 등척성 수축력의 회복은 경직근이 정상근에 비하여 매우 느리고 낮은 폭으로 증가하였다. 이상의 결과로 보아 경직형 편마비환자를 대상으로 수의적 운동에 의한 근 수축 시 근 피로 유발의 특성을 충분히 고려해야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

배성수 외 15인 역 : 운동치료총론 - Kisner C , Colby LA.의 Therapeutic Exercise(영문출판사). pp 70, 1997.

- 변승남, 정운태 : 두 근 수축 방법이 피로 회복율과 근육 동원 방법에 미치는 영향에 관한 연구. 대한인간공학회지. 14(1); 9-23, 1995.
- Ament W, Bonga GJ, Hof AL, et al. : Electromyogram median power frequency in dynamic exercise at medium exercise intensities. Eur J. Appl. Physiol. 74; 180-186, 1996.
- Baratta RV. et al. : Methods to reduce the variability of EMG power spectrum estimates. J Electromyogr Kinesiol. 8;279-285, 1998.
- Binder-Macleod SA, Snyder-Mackler L : Muscle fatigue: clinical implications for fatigue assessment and neuromuscular electrical stimulation. Phys Ther. 73;902-910, 1993.
- Bigland-Ritchie B, Jones DA, Hosking GP, et al. : Central and peripheral fatigue in sustained maximum voluntary contraction of human quadriceps muscle. Clin Mol Med. 54;609-614, 1978.
- Bigland-Ritchie B, Donovan EF, Roussos C : Conduction velocity and EMG power spectrum changes in fatigue of sustained maximal efforts. J Appl Physiol. 51; 1330-1305, 1981.
- Bigland-Ritchie B, Woods JJ : Changes in muscle contractile properties and neural control during human muscular fatigue. Muscle Nerve. 7;691-699, 1984.
- Bohannon RW, Walsh S : Nature, reliability, and predictive values of muscle performance measures in patients with hemiparesis following stroke. Arch Phys Med Rehabil. 73;721- 25, 1992.
- Bohannon RW, Andrews AW : Limb muscle strength is impaired bilaterally after stroke. J Phys Ther Sci. 7;1-7, 1995.
- Currier DP, Lehman J, Lightfoot P : electrical stimulation in exercise of the quadriceps femoris muscle. Phys Ther. 59;1508-1512, 1977.
- Edwards RHT : Human muscle function and fatigue. In: Human Muscle Fatigue. Physiological Mechanisms. edited by Porter R, Whelan J, London Pitman. p;1-18, 1981.
- Fulco CS, Lewis S. et al. : Quantitation of progressive muscle fatigue during dynamic leg exercise in humans. J Appl Physiol. 79(6);2154-2162, 1995.
- Gandevia SC, Allen GM, Butler JE, et al. : Supraspinal factors in human muscle fatigue: evidence for suboptimal output from the motor cortex. J Physiol. 490; 529-536, 1996.
- Genaidy AM, Al-Rayes S : Psychophysical approach to determine the frequency and duration of work-rest schedules for manual handling operations. Ergonomics. 36(5);509-518, 1993.
- Godfrey C, Jayawardena H, Quance TAK, et al. : Comparison of electrical stimulation and Isokinetic exercise in strengthening the quadriceps muscle. Physiotherapy Canada. 31;265-267, 1979.

- Hagberg M, Michaelson G, Ortelius A : Serum creatine kinase as an indicator of local muscular strain in experimental and occupational work. *Int Arch Occup Environ Health.* 50(4);377-386, 1982.
- Karlsson J, Thorstensson A : Fatigue ability and fibre composition of human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand,* 98;318-322, 1976.
- Kent-Braun JA, Le Blanc R : Quantitation of central activation failure during maximal voluntary contractions in humans. *Muscle Nerve.* 19;861-869, 1996.
- Kahn JF, Monod H : "Fatigue Induced by Static Work," *Ergonomic,* Vol. 32(7);839-846, 1989.
- Kots YM : Electrostimulation (Canadian-Soviet exchange symposium on electrostimulation of skeletal muscle. Concordia University. Montreal. Quebec. Canada. December 6-15, 1977). Quoted in: Kramer J. Mendryk SW. Electrical stimulation as a strength improvement technique. *J Orthop Sports Phys Ther.* 4;91-98, 1982.
- Mannion AF, Dolan P : Relationship between myoelectric and mechanical manifestations of fatigue in the quadriceps femoris muscle group. *Eur J Appl Physiol.* 74(5);411-419, 1996.
- McDunnell MK, Delitto A, Sinacore DR et al. : Electrically elicited fatigue test of the quadriceps femoris muscle: description and reliability. *Phy Ther.* 67;941-945, 1987.
- Patterson PR : The effects of electrical stimulation and Isokinetic training technique on the strength and hypertrophy of the quadriceps muscle. Unpublished masters thesis. University of Western Ontario, 1977.
- Perry J, Garrett M, Gronley JK, et al : Classification of walking handicap in the stroke population. *Stroke.* 26;982-89, 1995.
- Petrofsky JS, Stacy R, Laymon M : The relationship between exercise work intervals and duration of exercise on lower extremity training induced by electric stimulation in humans with spinal cord injuries. *Eur J Appl Physiol.* Aug, 82(5-6);504-9, 2000.
- Sharp SA, Brouwer BJ : Isokinetic strength training of the hemiparetic knee: effects on function and spasticity. *Arch Phys Med Rehabil.* 78;1231-36, 1997.
- Shumway-Cook A, Woollacott M. *Motor Control : Theory and practical applications.* Baltimore: Williams & Wilkins, 1995.
- Susan BO, Thomas JS. : *Physical Rehabilitation Assessment and Treatment.* 4th ed. Philadelphia, FA. Davis Co. 520, 2001.
- Van der Hoeven JH, van Weerden TW, Zwarts MJ : Long-lasting supernormal conduction velocity after sustained maximal isometric contraction in human muscle.

Muscle Nerve. 16;312-320, 1993.
Vollestad NK, Sejersted OM, Bahr R, et al
: Motor drive and metabolic responses

during repeated submaximal contractions
in humans. J Appl Physiol. 64;1421-1427,
1988.