

시·촉각 되먹임이 넙다리네갈래근 등척성 운동에 미치는 영향

이수영
연세대학교 보건과학대학 재활학과
정영중
국립암센터 물리치료실

Abstract

The Effects of Visual and Tactile Feedback on Quadriceps Isometric Exercise

Lee Su-young, B.H.Sc., P.T.

Dept. of Rehabilitation Therapy, College of Health Science, Yonsei University

Jung Young-jong, B.H.Sc., P.T.

Dept. of Physical Theray, The National Cancer Center

Physical therapists have been using biofeedback training to induce improvements in various circumstances. The purpose of this study was to compare the effects of visual and tactile feedback using electrical stimulation on quadriceps strength. Nineteen women without known impairment of the neuromusculoskeletal system volunteered for this study. Subjects were randomly allocated into three groups: visual feedback, tactile feedback, and control group. The torque of isometric knee extension force was measured. Subjects were asked to exert the maximal isometric contraction force of quadriceps over a 30 second period. The resting period of 10 minutes was given after the maximal isometric contraction to avoid the muscle fatigue.

In between groups comparison, significant differences of the peak torque and the torque area were found on the performance of the maximal isometric contraction of quadriceps ($p < .05$). The values peak of torque and torque area were significantly higher during visual feedback than tactile feedback. The results of this study suggest that visual feedback is more powerful than tactile feedback ($p < .01$).

Key Words: Isometric exercise; Tactile feedback; Torque; Visual feedback.

I. 서론

인간에게 있어 움직임의 조절은 매우 복잡한 과정이며 대규모의 피질(cortical), 피질하(subcortical) 그리고 말초정보(peripheral information)의 통합을 요구한다(Basmajian 등, 1982). 이러한 조절을 위해 여러 가지 되먹임

(feedback)이 사용되고 있는데 임상에서 올바른 운동수행을 위해 사용되는 되먹임은 재활에 있어 매우 중요한 치료도구로 사용된다(Carr와 Shepherd, 1987; Winstein, 1987).

무릎관절의 운동으로 사용되는 여러 방법 중 등척성 운동은 무릎의 재활에 있어 많이 사용되고 있는 방법인데 그 운동의 효과를

증가시키기 위한 방법으로 근전도 생체되먹임이 사용되고 있다. 근전도 생체되먹임은 운동을 수행하는 동안에 대상자에게 근육 활동에 관한 정보를 제공해 준다(Portney, 1994). 근전도 생체되먹임에서 이용되는 되먹임의 종류는 청각, 시각 그리고 촉각 등으로 매우 다양하며(Baratta 등, 1998; Batavia 등, 1997; Kim과 Kramer, 1997), 청각과 시각 되먹임을 운동학습에 이용한 연구들이 다양하게 보고되고 있다. O'sullivan과 Schmitz(1994)는 운동학습 훈련과 재활 과정에 근전도 생체되먹임이 유용하다고 하였다. Levitt 등(1995)은 무릎 관절경 수술 환자들을 대상으로 근전도 생체되먹임을 이용하여 넙다리네갈래근의 등척성 운동과 하지직거상 운동 훈련을 수행한 결과 근전도 생체되먹임을 이용하지 않은 훈련 집단보다 토크와 근력이 유의하게 증가하였다. Adamovich 등(1979)은 무릎 펌근의 등척성 운동에 대한 근전도 생체되먹임이 무릎 펌 시에 발생하는 최대 우력(peak torque)을 증가시킨다고 하였다. 이 연구의 결과는 내부 신호(internal cue) 강화를 통한 되먹임은 대상으로 하여금 등척성 운동 시에 근긴장도를 증가시킬 수 있음을 나타내고 있다.

최근에는 시각 되먹임과 청각 되먹임과는 달리 촉각 되먹임을 이용한 연구가 보고되고 있다. 척수손상을 당한 이후에 잃어버린 움직임에 대한 재활을 위해 전기자극이 적용되기 시작했고 이것은 촉각 되먹임으로 매우 중요하게 여겨지고 있다(Kralj과 Bajd, 1989; Matsushita 등, 1995; Popovic 등, 1993). Tang 등(1997)은 촉각 감각기에 대한 정보를 입력하는데 걸리는 속도와 정확도의 연구에서 시각 되먹임, 감각 되먹임 그리고 시각과 감각 되먹임을 동시에 주었을 경우 그 효과를 비교한 결과 촉각 되먹임만을 준 경우가 가장 효과가 좋다고 하였다. 하지만 이 실험은 시험대상자가 9명으로 그 수가 적어 일반화하기에는 제한이 있었다. 최근에는 컴퓨터 마우스를 이용한 촉각 되먹임의 연구가 많이 이루어졌는데 몇몇 저자들은 설정된 목표지

점에 커서(cursor)를 위치시키는 연구에서 촉각 되먹임이 움직임 시간을 줄이는데 효과적이라고 보고하고 있다(Akamatsu 등, 1995; Keyson, 1997).

Metherall 등(1996)과 박은영 등(2000)의 연구에서는 다른 형태의 촉각 되먹임으로 본 연구에 사용된 전기자극 되먹임의 효과가 보고되고 있다. Metherall 등(1996)의 연구는 전기자극 형태의 되먹임을 이용한 앉기 자세 운동 훈련을 적절하게 수행하지 못한 뇌성마비 아동 1명을 대상으로한 증례 보고 형태였다. 그리고 박은영 등(2000)의 연구는 넙다리네갈래근의 등척성 운동학습에 전기자극 형태의 촉각 근전도 생체되먹임을 이용하여 훈련한 결과를 최대 근활성도로 측정하였으나 실험에 참여한 대상자를 3명으로 한 개별실험 설계를 하였기에 결과를 일반화하기에는 한계가 있었다. 이전의 촉각 되먹임을 이용한 연구는 고유수용성감각이나 수행 시간 등에 대한 반응에 좋은 효과를 보인다고 보고되었으나(Akamatsu 등, 1995; Jordan, 1972; Keyson, 1977) 아직까지 등척성 운동 시에 전기자극을 이용한 촉각 되먹임이 근력증진에 어떤 효과가 있는지 알아본 연구는 없었다.

치료사에 의한 등척성 운동 프로그램은 힘을 빠르게 증가시키는데 사용되며(Liberson, 1978), 생체되먹임은 근 수축력을 강화시키는데 사용되어져 왔다(Adamovich 등, 1979). 따라서 본 실험에서는 정상 성인 여자 19명을 대상으로 넙다리네갈래근의 등척성 운동 시에 생체되먹임을 이용한 시각 되먹임과 전기자극을 이용한 촉각 되먹임의 효과를 근 수축력에서 비교하고 그 결과를 알아보고자 실시하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상 및 연구기간

본 연구는 2001년 6월 25일부터 7월 30일까지

지 연세대학교에 재학 중인 20~30대 건강한 여성 19명을 대상으로 하였다. 본 연구의 목적을 이해하고, 지원한 사람들을 대상으로 하였으며 연구 대상자의 선정 조건은 다음과 같다.

- 가. 전기자극 되먹임을 적용할 안쪽넓은근(vastus medialis)과 가쪽넓은근(vastus lateralis)에 개방성 상처가 없는 자
- 나. 실험 전 일주일 동안 근육통을 동반할 정도의 심한 운동을 하지 않은 자
- 다. 무릎관절 질환이나 그로 인한 수술 경험이 없는 자
- 라. 심장 질환의 경력이 없는 자

2. 실험기기 및 도구

가. 근전도 신호와 기록

토크 감지기와 연결되어 나오는 근전도 신호처리를 위해 MP100WS¹⁾를 사용하였다. 잡음을 제거하기 위해 low pass filter는 5 Hz로 설정해 놓았다. N-K 테이블²⁾에 대상자의 무릎관절이 110°가 되도록 고정된 상태에서 최대 수축 시 나온 근 수축력값(단위 kg·cm)과 이때 MP100에서 나온 신호의 평균값(단위 volt)을 무부하 상태의 평균값으로 정하고 일정 무게(5 kg)를 얹어서 나온 토크값과 이때 MP100에서 나온 신호의 평균값을 구한 후 단위변환 과정을 처리했다(송영희, 2001).

토크 감지기에 연결되어 MP100 모니터에 나오는 토크값으로 변환된 신호는 각 수축 시에 영역값(area)과 최대값(peak torque)을 구하여 기록하였다. 측정 변수 설정과 신호의 컴퓨터 저장은 Acqknowledge 3.53³⁾ 프로그램을 이용하였다.

나. 전기자극의 도자 위치

안쪽넓은근과 가쪽넓은근에 전기자극기의 패드를 위치시켰다. 안쪽넓은근의 패드 위치는 안쪽넓은근의 근힘살(muscle belly) 중에서 가장 돌출된 부분(Hung와 Gross, 1999; Karst와 Jewett, 1993; Laprade 등, 1998)에 부착하였고, 가쪽넓은근의 패드 위치는 무릎 뼈 바닥으로부터 근위부 방향으로 대상자의 손바닥 넓이 만큼의 상부에서 바깥쪽으로 부착하였다(Delagi 등, 1975). 전극 부착은 실험 기간 동안 동일 연구자가 부착하였다.

3. 실험방법

실험 전 대상자는 실험 과정에 대한 설명을 들었다. 대상자는 토크 감지기가 장착된 N-K 테이블에 등을 대고 편안한 자세로 앉게 한다. 5 cm 이의 벨트에 의해 상체가 등받이에 고정되고, 상지는 편안한 상태로 양쪽 손잡이를 잡게 했다. 이 때 대상자의 오른쪽 무릎관절은 넙다리내갈래근이 최대 등척성 수축력이 발생할 수 있는 각도인 70°(Smith 등, 1996)를 만들기 위해 N-K 테이블의 무릎 축과 일치되게 한 후 무릎의 각도를 110° 펴시킨 상태가 되도록 고정하고, 무릎 펴 운동 시 등척성 운동을 위해 저항이 가해지는 발목관절 부위에 N-K 테이블의 발목 축을 일치시킨 후 벨크로를 이용해서 다른 보상운동이 일어나지 않도록 잘 고정시켰다. 또한 대퇴부 원위 아래에 수건을 말아 넣어 대퇴부 펴 시 테이블에 가해지는 마찰력으로 인한 통증을 줄였고, 대퇴부가 테이블과 평행이 되도록 하였다(송영희, 2001).

그 후 각 대상자는 3가지 실험을 무작위 선정(random assignment)을 함으로써 측정 순서에 의한 학습효과(learning effect)를 없애고자 했다.

운동 적용은 대상자가 N-K 테이블에 앉은 자세에서 양손은 테이블의 손잡이를 잡고 실험자의 '시작'이라는 말과 함께 최대 등척성 운동을 시행한 후 '멈춰'라는 말을 들을 때까지 운동을 계속하게 했다. 총 운동 시간은 30 초이며 시각 되먹임을 적용할 경우에는 토크

1) BIOPAC System Inc., CA. USA

2) Preston. NJ. USA

3) BIOPAC System Inc. CA. USA

감지기와 연결된 컴퓨터 화면에 나오는 그래프를 보고 대상자는 시각적으로 되먹임 자극을 제공하였다. 촉각 되먹임은 전기자극 되먹임이 사용되었는데, 이는 30초 동안 제공하였다. 전기자극의 강도는 각 환자에 따라 다르게 적용하였는데 환자가 자극을 느끼기 시작한 강도로 정하였다. 전기자극 되먹임을 적용하기 전에 미리 전기자극을 적용하여 환자가 느끼는 강도를 파악한 후에 되먹임 적용 시 그 강도를 적용하였다.

실험 중에 구두독려는 대상자의 수행 능력에 영향을 줄 수 있기 때문에 어떤 구두 독려도 대상자에게 주지 않았다. 각 운동을 1회씩 실시한 후에 근 피로를 없애기 위해 10분간의 휴식시간을 주었다.

4. 분석방법

시각 되먹임, 촉각 되먹임, 되먹임 없는 조건에서 각각 최대 등척성 수축을 대상자가 30초간 지속하였을 때, 초기 5~10초간에 대한 최대 토크값과 영역값으로 분석하였다

이때 5초간 토크값으로 변환된 신호의 최대값과 영역값에 차이가 있는지 알아보기 위하여 반복 측정된 일요인 분산분석(one way repeated ANOVA)을 이용하였다. 다중비교 방법으로는 Bonferroni 검정을 하였다. 자료의 통계처리는 상용 통계 프로그램인 윈도우용 SPSS Version 10.0 을 사용하였으며 통계적 유의성을 검정하기 위해 유의수준은 $\alpha = .05$ 로 하였다.

III. 결과

1. 연구대상자의 일반적 특성

연구 대상자의 평균 연령은 25세이며, 평균 체중은 51.7 kg, 평균 신장은 159.6 cm이다(표 1).

표 1. 연구대상자의 일반적 특성 (N=19)

특성	평균±표준편차	범위
연령(세)	25±4.3	20~34
체중(kg)	51.7±5.6	43~65
신장(cm)	159.6±5.1	150~168

2. 각 되먹임간의 최대 토크값과 영역값 비교

대상자내 각 되먹임의 최대 토크값이 유의한 차이가 있었다($p<.01$),(표 2).

표 2. 대상자내 각 되먹임간의 최대 토크값에 대한 반복 측정된 일요인 분산분석

변인	평방향	자유도	평방평균	F	p
되먹임	1.196	2	5.979	9.242	.001
오차	2.329	36	6.469		

또한 대상자내 각 되먹임의 영역값도 유의한 차이가 있었다($p<.01$),(표 3).

표 3. 대상자내 각 되먹임간의 영역값에 대한 반복 측정된 일요인 분산분석

변인	평방향	자유도	평방평균	F	p
되먹임	3111.535	2	1555.767	9.985	.000
오차	5609.118	36	155.809		

각 되먹임에 따른 최대 토크값과 영역값을 Bonferroni로 사후검정한 결과 시각 되먹임 조건과 촉각 되먹임 조건간에는 유의한 차이가 있었고($p<.01$), 촉각과 되먹임이 없는 조건에선 유의한 차이가 없었다. 시각과 되먹임이 없는 조건에선 유의한 차이가 없었다(그림 1),(그림 2).

그림 1. 되먹임 조건간 최대 토크값 비교 (* $p<.01$)

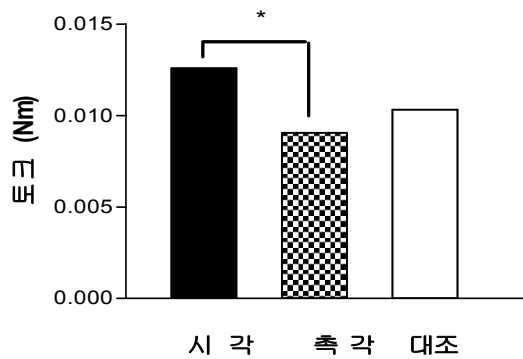


그림 1. 되먹임 조건간 최대 토크값 비교 (*p<.01)

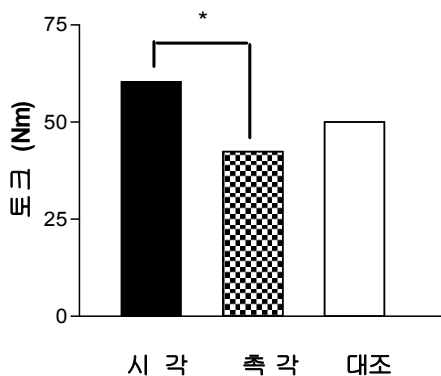


그림 2. 되먹임 조건간 토크 영역값 비교 (*p<.01)

IV. 고찰

되먹임이란 반응에 대한 정보라고 하며 수행이나 결과에 대한 지식을 제공하는 것을 말한다(Gillen과 Burkhardt, 1998). 특히 되먹임은 움직임 기술의 습득단계에서 매우 중요하다. 되먹임은 임상에서 다양한 환자를 대상으로 사용되고 있으며 그 중에서도 뇌졸중이나 두뇌손상(head injury), 척추손상, 뇌성마비, 말초신경손상, 근육전이 수술(muscle transfer surgery) 환자 치료에 많이 사용되고 있다(Basmajian 등, 1982; Ince 등, 1984).

Lucca와 Recchiuti(1983)는 무릎 관절의 등척성 운동 시 근전도 생체되먹임이 주어지지 않은 조건에서보다 되먹임을 제공했을 때 더

큰 힘을 얻을 수 있다고 보고하였으며, Bas-majian(1963)은 청각과 시각 되먹임이 운동 단위(motor unit)의 발사율(firing rate)과 동원(recruitment)을 조절할 수 있다고 밝혔다.

Solomonow(1984)는 근방추(muscle spindle)와 골지건(Golgi tendon organ)으로부터 오는 되먹임 신호는 수의적 움직임 시 정교하고 부드러운 조절을 하며 운동단위 동원과 발사율에 영향을 준다고 보고했다. 또 다른 연구에서는 사지와 관절의 되먹임과 그에 따른 동시 수축(co-contraction)이 관절의 움직임을 조절한다고 하였다(Baratta 등, 1988).

촉각 되먹임의 효과는 주로 뻗기(Schlesinger과 Parisi, 2001)와 자세조절(Metherall 등, 1996) 그리고 손의 협응기능(Tang 등, 1997) 등에 있어 유의성이 증명되었다. 어린 아기에게 뻗기(reaching) 과제 수행 시 촉각 되먹임이 적용되었을 때 시각과 고유감각(proprioception)이 잘 협응됨을 보고하였다. 최근에는 촉각 되먹임 중 압력(pressure) 형태의 되먹임이 사용되기도 하는데, Hirsch 등(1999)은 요실금 여자 환자 33명을 대상으로 압력 형태의 촉각 되먹임인 근전도 생체되먹임을 이용하여 하루 20분씩 6개월 동안 훈련한 결과 28명의 환자들에서 요실금 증상이 호전되었음을 보고하였다.

Gracely(1989)는 전기자극을 이용한 촉각 되먹임에서 전기자극 역치 비교 시 집단내 비교는 개인들간에 비슷한 민감도(sensitivity) 때문에 허용된다고 했다. 이는 본 실험에서 여자로 대상자를 제한한 이유이다.

Lesny 등(1993)은 뇌성마비 아동에게 감각 장애는 통합의 부분이므로 정상인 대상자로부터 통증 역치를 결정하는 것은 합당하지 않다고 했다. 이러한 이론을 바탕으로 본 연구는 자극의 강도를 근 수축이 일어나지 않고 자극을 느끼는 정도로 결정하였는데 이는 전기자극이 넵다리네갈래근의 등척성 수축 시에 수축력에 영향을 주는 점을 배제하기 위함이었다.

본 연구에서는 대상자 전체 19명의 최대

토크값의 평균을 비교한 결과 조건별로 각각 시각 되먹임 0.0126 Nm, 촉각 되먹임은 0.0090 Nm, 그리고 되먹임 없는 조건은 0.0103 Nm로 촉각과 비교 시 시각 되먹임에서 효과가 컸다(그림 1). 영역값을 각 되먹임 별로 평균을 비교한 결과 조건별로 각각 60.43 Nm, 42.40 Nm, 50.06 Nm로 시각이 촉각 전기자극을 통한 촉각 되먹임보다 효과가 컸다(그림 2). Metherall 등(1996)은 14세의 뇌성마비 아동을 대상으로 전기자극 되먹임을 이용하여 대상자의 천추 후만 자세를 교정하는 훈련을 시행한 결과, 치료사가 전기자극 되먹임보다 구두로 직접 지시하는 청각적 되먹임을 이용한 자세 교정 훈련이 더 효과적이었다고 보고하였는데 그 이유로 연구자들은 뇌성마비 아동의 신호해석 문제와 전기자극 적응능력에 문제가 있기 때문이라고 하였다. 이를 통해 가장 적절한 되먹임의 선택은 대상자나 시행되는 환경에 따라 달라질 수 있다고 함으로써 되먹임의 효과가 항상 동일하지 않음을 제시했다.

Schlesinger와 Parisi(2001)는 시각 되먹임은 모호한 정보인 반면, 촉각 되먹임은 그렇지 않다고 했지만 본 연구의 결과는 전기자극을 이용한 촉각 되먹임의 효과가 시각 되먹임의 효과보다 낮았는데, 그 이유로 시각 되먹임은 근 수축 시에 힘의 변화에 대해 지속적인 되먹임을 주는 반면 촉각 되먹임은 일정한 전기자극이 주어짐으로써 대상자 반응에 유동적인 자극이 되지 못했기 때문이라고 사료된다.

본 연구는 촉각 되먹임이 무릎관절의 등척성 운동 시에 힘의 변화에 어떤 영향을 주는 지 알아보기 위해 실시되었다. 또한 촉각 되먹임과 시각 되먹임의 효과를 비교함으로써 촉각 되먹임의 효과를 보다 객관적으로 알아보려고 실시하였다. 본 연구를 실험한 결과 개체 내 3가지 되먹임에서 유의한 차이가 있었는데 시각 되먹임에서 가장 큰 효과를 보였다.

현재까지는 시각 되먹임과 청각 되먹임이

임상에서 많이 사용되고 연구되어져 왔으나 이제는 본 연구의 제한점을 수정·보완하여 촉각 되먹임에 대한 더 많은 연구가 이루어지기를 바란다.

V. 결론

본 연구는 20~30대 정상인 여성 19명을 대상으로 넵다리네갈래근의 등척성 운동학습에 전기자극 형태의 촉각 되먹임과 시각 되먹임의 유의성을 알아보려고 실시하였다.

시각 되먹임, 촉각 되먹임, 되먹임 없는 조건에서 각각 최대 등척성 수축을 대상자가 30초간 지속하였을 때, 초기 5~10초간에 대한 최대 토크값과 영역값을 비교하였다.

대상자내 각 되먹임의 최대 토크값과 영역값은 통계학적으로 유의한 차이가 있었다($p < .01$).

각 되먹임에 따른 최대 토크값과 영역값을 Bonferroni로 사후검정한 결과 시각은 촉각과 유의한 차이가 있었고($p < .01$) 촉각과 되먹임이 없는 조건에선 유의한 차이가 없었다. 시각과 되먹임이 없는 조건에선 유의한 차이가 없었다.

인용문헌

- 박은영, 광창화, 정경수. 전기자극을 이용한 되먹임의 형태가 무릎성형 수술 환자의 넵다리네갈래근 등척성 운동 학습에 미치는 영향. 한국전문물리치료학회지. 2000; 7:81-89.
- 송영희. 기능적 전기자극기를 이용한 간헐적 고주파 교대자극과 간헐적 저주파 동시 자극의 근 수축력 비교. 연세대학교 대학원, 재활학과 석사학위논문. 2001
- Adamovish DA, Lobby ML, Nicholson DE, et al. The Effect of Biofeedback on isometric contraction. Read at the 55th Annual Conference of the American

- Physical Therapy Association, Atlanta, 1979.
- Akamatsu M, CacKenzie IS, Hasbroucq T. A comparison of tactile, auditory, and visual feedback in a pointing task using a mouse-type device. *Ergonomics*. 1995;38:816-827.
- Baratta RV, Zhou BH, Solomonow M, et al. Muscular coactivation: The role of the antagonist muscular in maintaining knee stability. *Am J Sports Med*. 1988;16:113-122.
- Baratta RV, Zhou BH, Solomonow M, et al. Force feedback control of motor unit recruitment in isometric muscle. *J Biomech*. 1998;31:469-478.
- Basmajian JV. Control and training of individual motor units. *Science*. 1963; 141:440-441
- Basmajian JV, Gowland C, Brandstater ME, et al. EMG feedback treatment of upper limb in hemiplegic stroke patients: A pilot study. *Arch Phys Med Rehabil*. 1982;63:613-616.
- Batavia M, Gianutsos JG, Kambouris M. An augmented auditory feedback device. *Arch Phys Med Rehabil*. 1997;78:1389-1392.
- Carr JH, Shepherd RB. *A Motor Relearning Programme for Stroke*. Rockville. Md., Aspen Pub., 1987.
- Delagi EF, Perotto A, Lazzetti J, et al. *Anatomic Guide for the Electro-myographer*. Charles C Thomas Pub., 1975;180-194.
- Gracely RH. Methods of testing pain mechanisms in normal man. In: Melzack R, Wall PD. eds. *Textbook of Pain*. 2nd ed. Churchill Livingstone, 1989;257-269.
- Gillen G, Burkhardt A. *Stroke Rehabilitation: A Function-Based Approach*. 1998.
- Hirsch A, Weirauch G, Steimer B, et al. Treatment of female urinary incontinence with EMG-controlled biofeedback home training. *Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct*. 1999;10(1):7-10.
- Hung YJ, Gross MT. Effect of foot position on electromyographic activity of the vastus medialis oblique and vastus lateralis during lower-extremity weight-bearing activities. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1999;99(2):93-104.
- Ince LP, Leon MA, Christidia D. Experimental foundations of EMG biofeedback with the upper extremity: A review of the literature. *Biofeedback Self Regul*. 1984;9:371-383.
- Jordan TC. Characteristics of visual and proprioceptive response times in the learning of motor skills. *Q J Exp Psychol*. 1972;24:536-543.
- Karst GM, Jewett PD. Electromyographic analysis of exercises proposed for differential activation of medial and lateral quadriceps femoris muscle components. *Phys Ther*. 1993;73(5): 286-299.
- Keyson DV. Dynamic cursor gain and tactual feedback in the capture of cursor movements. *Ergonomics*. 1997;40: 1287-1298.
- Kim HJ, Kramer JF. Effectiveness of visual feedback during isokinetic exercise. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1997;26:318-323.
- Kralj A, Bajd T. *Functional electrical stimulation: Standing and walking after spinal cord injury*. CRC Press, Boca Raton, FL. 1989.

- Laprade J, Culhan E, Brouwer B. Comparison of five isometric exercise in the recruitment of the vastus medialis oblique in persons with and without patellofemoral pain syndrom. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1998;27(3):197-204.
- Lesny I, Stehlik A, Tomasek J, et al. Sensory disorders in cerebral palsy: Two-point discrimination. *Dev Med Child Neurol.* 1993;35(5):402-405.
- Levitt R, Deisinger JA, Wall JR, et al. EMG feedback-assisted postoperative rehabilitation of minor arthroscopic knee surgeries. *J Sports Med Phys Fitness.* 1995;35:218-223.
- Liberson WT. Brief isometric exercise. In: Basmajian JV. ed. *Therapeutic Exercise*, 3rd ed. Baltimore, MD, Williams & Wilkins Co., 1978:206-217
- Matsushita, N., Handa, Y., Ichie, M. et al. Electromyogram analysis and electrical stimulation control of paralyzed wrist and hand. *Journal of Electromyogr Kinesiol.* 1995;5:117-130.
- Metherall P, Dymond EA, Gravill N. Posture control using electrical stimulation biofeedback: A pilot study. *J Med Eng Tech.* 1996;20:53-59.
- O'Sullivan SB, Schimitz TJ. Electromyography and nerve conduction velocity tests. In: Portney LG, eds. *Physical Rehabilitation: Assessment and treatment*. Philadelphia, F.A. Davis Co., 1994; 133-165
- Popovic DB, Stein RB, Jovanovic KL et al. Sensory nerve recording for closed-loop control to restore motor functions. *IEEE Trans-BME.* 1993;40:1024-1031.
- Portney LG. Electromyography and nerve conduction velocity tests. In: O'sullivan SB, Schimitz TJ, eds. *Physical Rehabilitation: Assessment and Treatment*. Philadelphia, F.A. Davis Co., 1994; 133-165.
- Schlesinger M, Parisi D. Multimodal control of reaching-stimulating the role of tactile feedback. *IEEE Trans Evol Comput.* 2001;5:122-128
- Smith LK, Weiss EL, Lehmkuhl DL. *Brunnstrom's Clinical Kinesiology*. 5th ed. Philadelphia, F. A. Davis Co., 1996.
- Solomonow M. External control of the neuromuscular system. *IEEE Trans-BME.* 1984;31:752-763.
- Tang H, Beebe DJ, Kramer AF. Comparison of tactile and visual feedback for a multi-state input mechanism. *IEEE EMBS.* 1997;30:1697-1700.
- Winstein CJ. Motor learning considerations in stroke. In: Duncan PW, Badke MB, eds. *Stroke Rehabilitation: The recovery of motor control*. Chicago, Ill., Year Book Medical Pub., 1987:109-134.