

전기 자극을 이용한 피드백의 형태가 무릎성형 수술 환자의 넙다리 네갈래근 등척성 운동 학습에 미치는 영향

박은영, 곽창화, 정경수
분당제생병원 재활의학과 재활치료실

Abstract

Effects of Electrical Stimulation Biofeedback on Motor Learning of Quadriceps Isometric Exercise of Total Knee Replacement

Park Eun-young, M.S., P.T.
Kwak Chang-hwa, P.T.
Joung Gyeong-soo, B.H.Sc., P.T.

Dept. of Rehabilitation Therapy, Pundang Jaesaeng General Hospital, Daejin Medical Center

The purpose of this study was to determine the effect of electrical stimulation biofeedback on motor learning of quadriceps muscle isometric exercise in 3 patients who have undergone total knee replacement surgery. A multiple baseline design across subjects was used. The electrical stimulation biofeedback was provided with each patient during quadriceps isometric exercise, which last 10 to 14 sessions with 10 repetitions each sessions. After training patients received 4 retention tests. Maximum muscle activity was measured pre- and post- electrical stimulation biofeedback training and retention test to evaluate the effect of biofeedback training. Maximum isometric muscle activity of quadriceps was increased after electrical stimulation biofeedback training in all subjects. The results indicate that a electrical stimulation biofeedback training is a useful method to improve motor learning of quadriceps isometric exercise in total knee replacement.

Key Words: Electrical stimulation biofeedback; Motor learning; Quadriceps.

I. 서론

골관절염은 관절 연골(hyaline cartilage)의 변형과 파괴가 특징인 질병이며(Walker와 Helewa, 1996), 나이가 증가함에 따라 유병률

또한 증가한다(Badley와 Tennant, 1992; Kirwan, 1987). 이 질병은 무릎 관절에 흔히 발병하는데, 무릎의 골관절염은 근육에 기능 이상을 유발한다(Lankhorst 등, 1985; Nordesjö 등, 1983; Røgind 등, 1998). 이로

인해 환자는 의자에 앉았다 일어서기, 계단 오르고 내리기, 서기와 걷기 등의 일상생활이 어렵게 된다(Cooke와 Dwosh, 1986).

골관절염에 대한 보존적인 치료가 어려운 경우, 효과적인 수술적 방법으로는 무릎관절 성형술(total knee arthroplasty)이 있다(Forrest 등, 1999; Montgomery 등, 1998). 수술 후 환자는 약화된 근육의 근력증가를 위한 운동을 하게 되는데, 수술 직후에는 통증을 피하고 안전한 운동을 위해 무릎 펴짐 근의 등척성 운동이 수행되어진다(Whitelaw 등, 1989).

Lucca와 Recchiuti(1983)는 건강한 성인 여성을 대상으로 등척성 운동을 수행하지 않은 집단, 등척성 운동을 수행한 집단, 근전도 바이오피드백을 이용하여 등척성 운동을 수행한 집단을 비교한 결과 근전도 바이오피드백을 이용한 집단이 이용하지 않은 집단보다 최대 토크(peak torque)가 크게 증가하였음을 보고하였다. 또한 Croce(1986)는 5주 동안의 훈련을 통하여 피드백을 이용한 등척성 운동 집단이 각속도 30.에서 등장성 운동을 수행한 집단보다 근활성화도가 높았음을 보고하였다.

등척성 운동의 효과를 증가시키기 위한 방법으로 근전도 바이오피드백이 사용되고 있다. 근전도 바이오피드백은 운동을 수행하는 동안에 환자에게 근육 활동에 관한 정보를 제공한다(Portney, 1994). 이전의 연구들에서 사용된 정보의 형태로는 시각과 청각 피드백이 있으며 그 유용성이 보고되어지고 있다(Batavia 등, 1997; Hamman 등, 1995). 최근에 다른 형태의 피드백이 사용되어지고 있는데, Akamastu 등(1995)은 컴퓨터 마우스를 이용하여 목표물을 선택하는 과제를 수행하는 동안 시각, 청각 그리고 촉각 피드백의 효과를 비교한 결과 촉각 피드백에서 가장 빠른 반응을 보였음을 보고하였다. 또한 Keyson (1997)은 Akamastu 등(1995)에서와 동일한 과제 수행에서 시각과 촉각 피드백의 효과를 비교한 결과 촉각 피드백에서 수행시간과 오차율이

낮았음을 보고하였다. 촉각 피드백의 형태는 시각이나 청각 피드백 형태에 비해 반응 시간(reaction time)이 빠르며(Jordan, 1972), 정보를 이해하는데 최소한의 이해력을 필요로 하는(Keyson, 1997) 장점이 있다.

노인은 젊은 성인에 비해 감각, 균형, 인지능력의 감소를 보인다(Jackson-Wyatt, 1995). 노인이 하나의 과제를 수행 할 때에는 기능을 이행할 수 있지만 정상적인 상황에서는 여러 가지 일을 동시에 수행하는데 있어서 그 능력의 감소하는데, 이는 노인의 인지능력 감소가 과제 수행에 영향을 미치기 때문이다(Summway-Cook와 Woolcott, 1995). 따라서 무릎관절성형 수술을 받은 노인 환자의 운동 학습을 위한 피드백으로써 정보를 이해하는데 최소한의 이해력을 필요로 하는 촉각 피드백의 형태가 필요하다.

정상인의 운동 수행능력의 향상에 촉각 피드백이 효과가 있었음을 보고한 기존의 연구 결과에 근거하여, 본 연구에서는 촉각 피드백이 무릎성형수술 환자의 넵다리 네갈래근(quadriceps femoris)의 등척성 운동 학습에 긍정적인 영향을 주는지 알아보고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상 및 연구기간

본 연구의 대상은 병원에서 치료를 받고 있으며 골관절염으로 인해 수술적 처치를 받은 환자 3명이었다. 대상자 선정 조건은 다음과 같다.

- 가. 넵다리 네갈래근 등척성 운동 방법을 교육받은 경험이 없는 자
- 나. 심장 질환의 경력이 없는 자
- 다. 대상자의 지시에 따를 수 있는 의식 수준을 가진 자

대상자의 신체적인 특성은 표 1과 같으며, 인지기능은 한국판 Mini-Mental Status Exam (MMSE-K)를 이용하여 측정하였는데, 측정 결과는 모두 정상 수준이었다.

표 1. 대상자의 일반적인 특성과 MMSE-K 검사결과

| | 성별 | 나이(세) | 몸무게(kg) | 키(cm) | 수술측 부위 | MMSE-K 점수 |
|-------|----|-------|---------|-------|--------|-----------|
| 대상자 1 | 여 | 77 | 54 | 150 | 좌측 | 28 |
| 대상자 2 | 여 | 59 | 69 | 163 | 좌측 | 30 |
| 대상자 3 | 여 | 68 | 62 | 160 | 좌측 | 30 |

'본 연구는 1999년 11월 1일부터 동년 12월 15일까지 시행되었다'

2. 연구 설계

본 연구는 개별 실험 연구방법(single-subject research design) 중 실험 대상자간 다중 기초선 설계(multiple baseline design across subjects)를 이용하였다.

3. 연구 방법

가. 실험 기기

1) 근전도 바이오피드백(Myomed 932)¹⁾

근전도 바이오 피드백은 대상자의 환측 최대근활성화도 측정과 등척성 운동 수행 중 피드백을 제공하기 위해서 사용되었다. 본 연구에서는 표면 전극을 이용하였으며, 안쪽 넓은근(vastus medialis)의 최대근활성화도를 측정하기 위해서 1개의 채널을 사용하였다.

2) 인지평가도구

한국판 Mini-Mental Status Exam (MMSE-K)는 대상자의 인지기능을 평가하기 위해서 사용하였다(권용철과 박중환, 1989). 이 검사 도구는 널리 사용되는 인지 검사 도구이며, 특별히 노인들에게 적용할 수 있는 장점이 있다(김원호, 1998). 이 검사에서 총 30점 중 24점 이하는 인지 손상을 의미한다(Shunk, 1992). 검사도구의 신뢰도는 .99이다(권용철과 박중환, 1989).

나. 실험 과정

1) 기초자료 수집

기초선(baseline)은 대상자가 피드백이 제공되지 않은 상태에서 넙다리 네갈래근의 등척성 운동을 수행하는 동안 안쪽 넓은근의 최대근활성화도를 측정하였다. 기초자료 측정은 대상자 1이 4회, 대상자 2가 6회, 대상자 3이 8회였고, 1일 4회 실시하였다. 본 연구에서 최대근활성화도는 대상자가 5초 동안 넙다리 네갈래근의 등척성 운동을 수행할 때 측정된 최대값으로 정의하였다.

기초자료 수집과정은 다음과 같았다.

ㄱ. 넙다리 네갈래근의 등척성 운동을 실시하기 위한 대상자의 자세는 엉덩이 관절 90, 무릎 관절 0를 유지하여 다리를 뻗고 앉은 자세였다. 양다리는 붙이고 앉았으며, 양손을 바닥에 짚도록 지시하였다.

ㄴ. 최대근활성화도 측정을 위한 전극을 부착하였다. 넙다리 네갈래근의 등척성 운동을 수행하는 동안 최대근활성화도는 근위축이 잘 발생하는 안쪽 넓은근에서 측정하였다(Boucher 등, 1992). 전극은 접지 전극 1개와 활성 전극 1개, 그리고 참고 전극 1개로 이루어 졌다. 접지 전극은 피하에 근육 조직이 적고 부착이 용이한 손등에 부착하였고, 안쪽 넓은근의 최대근활성화도를 측정하기 위한 활성 전극과 참고 전극은 무릎뼈(patella)의 안쪽 바닥 (medial base)에서 네 손가락 길이 위

1) Enraf-Nonius B.V., Netherlands. 1997.

를 표시한 후, 표시한 지점에서 사선 방향으로 1.5 cm 떨어진 곳에 각각 부착하였다(Delagi와 Perotto, 1980). 반복측정 동안 전극 위치를 일정하게 유지하였다.

- ㉔. 전극과 피부사이 저항을 최소화하기 위하여 전극을 부착할 부위를 알코올로 닦았다.
- ㉕. 실험전 대상자는 넙다리 네갈래근 등척성 운동에 관한 정보를 제공받았다. 실험자는 대상자의 무릎아래에 손을 넣어 무릎을 아래로 누르는 힘을 주도록 지시하였다. 이 때 대상자는 발등쪽 굽힘을 동시에 실시하도록 하고, 5초 동안 힘주고 5초 동안 힘을 뺄 것을 지시하여 총 10회 반복 연습하였다. 이 때 실험자는 1초 간격으로 숫자를 세어 움직임의 속도를 통제하였다.
- ㉖. '㉔' 과정 후에 3분간의 휴식시간을 주었다.
- ㉗. 휴식 시간후 대상자는 '㉔'의 등척성 운동 수행 과정을 3회 수행하였다. 실험자는 대상자에게 최대한 힘을 주도록 지시하였고, 근전도 바이오 피드백 기계를 이용하여 최대근활성화도를 측정하였다.
- ㉘. 측정값은 3회 반복 측정값 중 각각의 최대값을 채택하고, 이 3개의 최대값의 평균값을 사용하였다.

2) 치료과정

치료과정의 효과를 평가하기 위해 측각 피드백을 이용한 넙다리 네갈래근의 등척성 운동 수행 훈련 동안 대상자의 최대근활성화도를 측정하였다. 측정은 대상자 1이 14회, 대상자 2가 12회, 대상자 3이 10회 실시되었다.

- ㉙. 대상자의 자세와 수집과정('ㄱ'항 - '㉔'항)은 기초자료 수집과정과 동일하게 실시하였다.
- ㉚. 실험전 대상자는 피드백에 관한 정보를 제공받았다. 측각 피드백으로써 전

기자극 피드백(current feedback)이 사용되었는데, 이는 bi-asymmetric 파형으로 duration 200 ms, frequency 80 Hz, ramp up time 1초와 ramp down time 1초를 포함하여 총 5초 동안 제공하였다. 전기자극의 강도는 각 환자에 따라 다르게 적용하였는데 환자가 자극을 느끼기 시작한 강도로 정하였다. 전기자극 피드백은 대상자가 역치를 넘는 힘을 주었을 경우 제공되는데, 기초선 수집 과정의 마지막 측정 시기의 최대 등척성 수축 평균값의 80%에 해당하는 값을 역치로 정하였다. 이는 최대 등척성 수축 값의 80% 이상으로 훈련시 근력 향상에 효과가 있기 때문이었다(Kisner와 Colby, 1990).

- ㉛. 최대근활성화도는 전기자극 피드백을 이용한 넙다리 네갈래근의 등척성 운동 학습이 끝난 직후 대상자의 피드백이 제공되지 않은 상태에서 등척성 운동을 3회 실시하는 동안 측정하였다.
- ㉜. 측정값 산출은 기초선 수집과정과 동일하게 하였다.

3) 기억검사(retention test)

기억검사는 전기자극 피드백을 이용한 등척성 운동 학습 훈련이 끝난 후 24 시간 후에 측정하였다. 이는 전기자극 피드백이 주어진 상태에서 훈련받은 대상자들이 넙다리 네갈래근의 등척성 운동을 학습하였는지를 알아보기 위해서 시행하였다. 대상자의 자세와 수집과정은 기초자료 수집과정과 동일하게 실시하였으며 최대 근활성화도의 측정은 치료과정과 동일하게 하였다. 각각의 대상자 모두에서 총 4회 측정하였다.

4. 분석 방법

분석을 위해서는 그래프를 통한 시각적 분석과 평균값을 사용하였다.

III. 결과

근전도 바이오피드백을 이용하여 측정된 최대 근활성화도 값은 표 2와 그림 1에 제시한 바와 같이 3명의 대상자들에서 기초자료 수집기간과 치료과정, 그리고 치료과정 후 기억검사 간에 차이가 있었다. 대상자 1에서는

평균 최대 근활성화도 값이 기초자료 수집과정의 83.75 mV에서 치료과정의 94.64 mV로 증가하였고(13%), 기억검사 과정의 98.75 mV로 증가하였다(18.0%). 대상자 2에서는 40.67 mV에서 53.92 mV(33%)와 53.00 mV(30%)로, 대상자 3에서는 81.00 mV에서 87.80 mV(8%)와 97.75 mV(21%)로 각각 증가하였다.

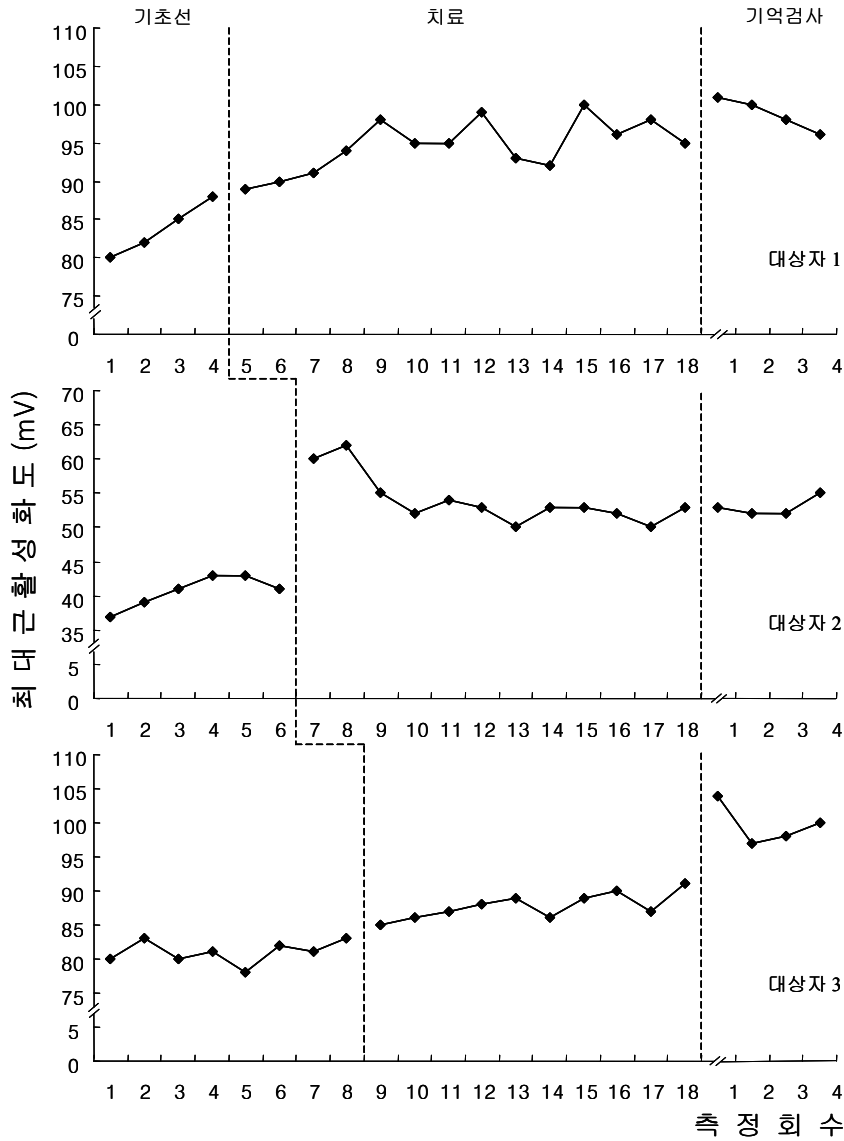


그림 1. 대상자의 최대근활성화도 측정결과

표 2. 최대 근활성화도의 평균값

(단위: mV)

| | 기초선 | 치료과정 | 기억검사 |
|-------|------------|------------|------------|
| | 평균±표준편차 | 평균±표준편차 | 평균±표준편차 |
| 대상자 1 | 83.75±3.50 | 94.64±3.39 | 98.75±2.22 |
| 대상자 2 | 40.67±2.39 | 53.92±3.63 | 53.00±1.41 |
| 대상자 3 | 81.00±1.69 | 87.80±1.93 | 97.75±3.96 |

대상자 3명 모두에서 치료회수가 증가함에 따라서 최대 근활성화도가 지속적으로 증가하였다. 대상자 1에서는 치료 8회와 치료 9회에서 최대 근활성화도의 감소를 보였으나 이는 기초선 과정의 평균 최대 근활성화도(83.75 mV) 보다는 높은 값이었다. 대상자 2에서는 치료 시작 초기부터 향상을 보였고, 대상자 3에서는 기억검사 기간 동안에 향상을 보였다.

V. 고찰

본 연구는 전기자극을 이용한 촉각 피드백의 형태가 무릎성형수술 환자의 넙다리 네갈래근 등척성 운동 학습에 긍정적인 영향을 주는지 알아보기 위해 실시되었다. 그 결과 촉각 피드백은 무릎성형수술 환자의 등척성 운동학습에 효과가 있는 것으로 나타났으며, 대상자 모두에서 넙다리 네갈래근의 최대 근활성화도의 증가가 나타났으나 증가 양상은 대상자간에 차이가 있었다.

대상자 2에서는 다른 대상자들 보다 큰 변화율(33%)을 보였는데 이는 대상자 1과 3보다 대상자 2에서 기초선 기간에 측정된 넙다리 네갈래근의 최대 근활성화도가 낮았기 때문에 증가율이 크게 나타난 것으로 생각되며, 대상자 2의 나이가 다른 대상자들에 비해 낮은 것도 등척성 운동학습효과에 영향을 미친 것으로 여겨진다.

가장 낮은 학습효과를 나타낸 것은 대상자 1이었는데(18%), 이러한 결과의 원인 중의 하나로 대상자 1이 다른 대상자들에 비해 고

령이었다는 점을 생각해 볼 수 있겠다. 노인의 뇌는 젊은 성인의 뇌와 비교할 때 신경화학적, 생리학적, 해부학적 변화를 보이는데(Books, 1991), 이는 균형과 소동작 협응 능력에서의 어려움과 함께 속도가 요구되는 과제에서의 느린 수행속도, 새로운 과제를 배우는 것에 느림, 어떤 최근의 경험을 재생하는 능력의 감소로써 보여진다(Birren과 Schaie, 1990). 노인에서의 이러한 변화를 고려할 때, 본 연구에서 대상자 1의 낮은 운동학습 훈련 효과와 대상자 1의 연령과 유관한 관계라 생각된다. 또 다른 원인으로 대상자 1의 낮은 MMSE-K 점수를 들 수 있다. Metherall 등(1996)은 14세의 뇌성마비 아동을 대상으로 전기자극 피드백을 이용하여 대상자의 천추 후만 자세를 교정하는 훈련을 시행한 결과, 치료사가 구두로 직접 지시하는 청각적 피드백 보다 전기자극 피드백을 이용한 자세 교정 훈련이 덜 효과적이었다고 보고하였다. 이 연구에서 Metherall 등(1996)은 훈련기간이 길어짐에 따라서 아동이 전기자극 피드백을 무시하는 성향을 보였는데, 이는 인지 기능이 낮은 뇌성마비 아동이 일정한 강도의 자극에 적응을 하였기 때문이라 고찰하였다. 이러한 연구와 비교해 볼 때, 대상자 1의 낮은 인지 기능이 전기자극 피드백을 이용한 운동학습 효과에 영향을 미쳤으리라 생각된다.

근전도 바이오 피드백에 관한 선행 연구들은 근전도 바이오 피드백이 운동학습 훈련과 재활과정에 유용하다고 보고하였다(O'sullivan과 Schmitz, 1994). Levitt 등(1995)은 무릎 관절경수술 환자들을 대상으로 근전도 바

이오 피드백을 이용하여 넙다리 네갈래근의 등척성 운동과 수직다리들기(straight leg raising) 운동 훈련을 수행한 결과 근전도 바이오 피드백을 이용하지 않은 훈련집단 보다 유의하게 큰 토크와 근력증가를 보였다고 보고하였다. Simmons 등(1998)은 72세 편마비 환자를 대상으로 무게 중심 이동에 대한 바이오 피드백을 시각 형태로 제공하는 균형 조절 재훈련 프로그램을 실시한 결과 4주간의 훈련 후에 대상자의 균형 조절 능력이 증가하였음을 보고하였다.

근전도 바이오 피드백에서 이용되는 피드백의 종류는 다양하며 청각 시각 그리고 촉각 등이 있는데(Baratta 등, 1998; Batavia 등, 1997; Kim과 Kramer, 1997), 이중 청각과 시각 피드백을 운동학습에 이용한 연구들은 다양하게 보고되어져왔으나, 촉각 피드백을 이용한 연구는 최근에 보고되어지고 있다. 촉각 피드백 중 흔히 이용되고 있는 것은 압력(pressure) 형태이다. Hirsh 등(1999)은 요실금 여자 환자 33명을 대상으로 압력형태의 촉각피드백을 사용하는 근전도 바이오 피드백을 이용하여 하루 20분씩 6개월 동안 훈련한 결과 28명의 환자들이 요실금 증상이 호전되었다고 보고하였다.

다른 형태의 촉각피드백으로는 본 연구에서 사용한 전기 자극 피드백이 보고되어지고 있는데, 앞에서 언급한 Metherall 등(1996)의 연구가 있었다. 그러나 이 연구는 뇌성마비 아동 1명을 대상으로 한 증례 보고 형태였으며, 전기자극 형태의 피드백을 이용한 운동 훈련을 적절하게 수행하지 못하였다. 본 연구에서는 넙다리 네갈래근의 등척성 운동학습에 전기 자극 형태의 촉각 근전도 바이오 피드백을 이용하여 훈련한 결과 대상자의 최대 근활성화도가 증가하였다. 이러한 결과는 근전도 바이오 피드백을 이용한 운동학습 훈련에서 촉각 피드백이 유의한 영향을 미쳤다는 것을 의미한다. 그러나 본 연구에서는 참여한 대상자의 수가 적은 개별 실험 설계를 사용하였기 때문에 이러한 결과를 일반화하기에는

제한이 있다. 따라서 전기 자극 피드백이 노인 환자의 재활 과정에서 운동 학습 훈련에 효과가 있는지를 알아보기 위해서 앞으로의 연구에서는 좀더 많은 환자를 대상으로 하여 연구를 시행하는 것과 다른 형태의 피드백과의 비교 연구가 필요하다 할 수 있겠다.

V. 결론

본 연구의 목적은 무릎 성형수술 후 환자의 넙다리 네갈래근의 등척성 운동학습에 전기 자극 형태의 촉각 피드백의 유의성을 알아보는 것이었다. 총 3명의 무릎 성형수술을 받은 환자에게 전기 자극 형태의 피드백을 제공하여 넙다리 네갈래근의 등척성 운동학습 훈련을 시행하고, 근전도 바이오 피드백을 이용하여 안쪽 넓은근의 최대 근활성화도를 측정하였는데, 3 명의 환자 모두에서 최대 근활성화도가 향상되었다. 본 연구의 결과는 운동학습의 효과를 향상시키기 위한 방법으로 시각이나 청각 피드백의 형태뿐만 아니라 전기 자극 형태의 촉각 피드백이 효과가 있음을 제시한다.

인용문헌

- 권용철, 박종한. 노인용 한국판 Mini-Mental State Examination (MMSE-K)의 표준화 연구. 한국정신의학회. 1989;28:125-135.
- 김원호. 노인의 균형유지 능력에 영향을 미치는 요인. 연세대학교 대학원. 1998.
- Akamatsu M, CacKenzie IS, Hasbroucq T. A comparison of tactile, auditory, and visual feedback in a pointing task using a mouse-type device. 1995;38:816-27.
- Badley EM, Tennant A. Changing profile of joint disorders with age: Findings from a postal survey of the population

- of Calderdale, West Yorkshire, United Kingdom. *Ann Rheum Dis.* 1992;51:366-371.
- Baratta RV, Zhou BJ, Solomonow M, D'Ambrosia RD. Force feedback control of motor unit recruitment in isometric muscle. *J Biomech.* 1998;31:469-478.
- Batavia M, Gianutsos JG, Kambouris M. An augmented auditory feedback device. *Arch Phys Med Rehabil.* 1997;78:1389-1392.
- Birren JE, Schaie KW. *Handbook of the Psychology of Aging.* 3rd ed. San Diego; Academic Press, 1990.
- Boucher JP, King MA, Lefebvre R, et al. Quadriceps femoris muscle activity in patellofemoral pain syndrome. *Am J Sports Med.* 1992;20:527-532.
- Brooks DN. The head-injured family. *J Clin Exp Neuropsychol.* 1991;13:155-188.
- Cooke TDV, Dwosh IL. Clinical features of osteoarthritis in the elderly. *Clin Rheum Dis.* 1986;12:155-172.
- Croce RV. The effects of EMG biofeedback on strength acquisition. *Biofeedback Self Regul.* 1986;11(4):299-310.
- Delagi EF, Perotto A. *Anatomic Guide for the Electromyographer.* 2nd ed. Illinois, Thomas Books, 1980.
- Forrest GP, Roque JM, Dawodu ST. Decreasing length of stay after total joint arthroplasty: Effect on referrals to rehabilitation units. *Arch Phys Med Rehabil.* 1999;80:192-194.
- Hamman R, Longridge NS, Mekjavic I, Dickinson J. Effect of age and training schedules on balance improvement exercises using visual biofeedback. *J Otolaryngol.* 1995;24:221-229.
- 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
- Jackson-Wyatt O. Brain function, aging, and dementia. In: Umphred DA, ed. *Neurological Rehabilitation.* 3rd ed. St. Louis, Mosby, 1995:722-742.
- Jordan TC. Characteristics of visual and proprioceptive response times in the learning of motor skills. *Q J Exp Psychol.* 1972;24:536-543.
- 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.
- Kirwan JR, Silman AJ. Epidemiological, sociological and environmental aspects of rheumatoid arthritis and osteoarthritis. *Baillieres Clin Rheumatol.* 1987;1:467-489.
- Kisner C, Colby LA. *Therapeutic Exercise: Foundations and techniques.* 2nd ed. Philadelphia, FA. Davis Co, 1990.
- Lankhorst GJ, Van de Stadt RJ, Van der Korst JK. The relationship of functional capacity, pain, and isometric and isokinetic torque in osteoarthritis of the knee. *Scand J Rehabil Med.* 1985;17:167-172.
- 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.
- Lucca JA, Recchiuti SJ. Effect of electromyographic biofeedback on an isometric strengthening program. *Phys Ther.* 1983;63:200-203.
- Metherall P, Dymond EA, Gravill N. Posture control using electrical stimulation biofeedback pilot study. *J Med Eng Tech.* 1996;20:53-59.
- Montgomery WH 3rd, Insall JN, Haas SB, et al. Primary total knee arthroplasty in stiff and ankylosed knees. *Am J Knee Surg.* 1998;11:20-23.
- Nordesjö LO, Nordgren B, Wigren A, Kolstad K. Isometric strength and endurance in patients with severe rheumatoid arthritis or osteoarthritis in the knee joint. *Scand J Rheumatol.* 1983;12:152-156.
- Portney LG. Electromyography and nerve conduction velocity tests. In: O'sullivan SB, Schmitz TJ, eds. *Physical Rehabilitation: Assessment and treatment.* Philadelphia: F.A. Davis Co., 1994:133-165.
- RØgind H, Bilbow-Nielsen B, Jensen B, et al. The effects of a physical training program on patients with osteoarthritis of the knees. *Arch Phys Med Rehabil.* 1998;79:1421-1427.
- Shumway-Cook A, Woollacott MH. *Motor Control: Theory and practical applications.* Baltimore, Williams & Wilkins, 1995.
- Shunk C. Cognitive impairment. In: Guccione AA, ed. *Geriatric Physical Therapy.* St. Louis, Mosby, 1992.
- Simmons RW, Smith K, Erez E, et al. Balance retraining in a hemiparetic patient using center of gravity biofeedback: A single-case study. *Percept Mot Skills.* 1998;87:603-609.
- Walker JM, Helewa A. *Physical Therapy in Arthritis.* Philadelphia, W. B. Saunders Co., 1996.
- Whitelaw GP Jr, Rullo DJ, Markowitz HD, et al. A conservative approach to anterior knee pain. *Clin Orthop.* 1989; 246:237-237.