

근전도-생체피드백 훈련이 무릎관절 전치환술 환자의 하지 근활성도와 균형에 미치는 영향

박승규, 김제호

세한대학교 대학원 물리치료학과

Effects of EMG-biofeedback Training on Total Knee Replacement Patients' Lower Extremity Muscle Activity and Balance

Seung-Kyu Park, Je-Ho Kim

Department of Physical Therapy, Graduate School, Sehan University

Purpose: The purpose of the current study was to examine the effects of electromyography (EMG)-biofeedback training on lower extremity muscle activity and balance of patients with total knee replacement (TKR).

Methods: Subjects were randomly allocated to two groups: experimental and control group. Subjects in the experimental group (n=10) were provided with quadriceps setting exercise by EMG-biofeedback (QSE+BF) and those in the control group were provided with QSE. Subjects in both groups were provided with the respective training programs for 20 minutes per session, five times per week, for a period of six weeks. To test significance, data analysis was performed using repeated-ANOVAs.

Results: Statistically significant differences in muscle activity of the rectus femoris muscle and the vastus lateralis, and dynamic balance ability were observed in the experimental group, compared with the control group. In comparison of the muscle activity of the rectus femoris muscle and the vastus lateralis, and dynamic balance ability between different training periods within the groups, both groups showed statistically significant differences.

Conclusion: EMG-biofeedback training is effective in improving lower extremity muscle activity and balance ability of patients with TKR, and should be effective in patients with other diseases.

Keywords: Total knee replacement, Electromyographic biofeedback, Muscle activity, Balance

I. 서론

뼈관절염은 흔한 만성 질환 중 하나로 근육뼈대계 질환 중 가장 많은 비율을 차지하며, 연령에 따라 발생빈도가 증가하는데 방사선 검사상으로 60세 이상은 약 80%, 75세 이상의 노인

에서는 80% 이상의 임상소견을 보이고, 모든 관절에서 나타날 수 있으나 체중부하 관절에 주로 침범하며, 가장 호발되는 부위는 무릎관절이다.¹⁻³

무릎관절은 굽힘과 펴는 움직임을 갖는 경첩관절이며 안정성과 운동성을 동시에 제공하고 넵다리네갈래근의 등척성 활성화(isometric activation)를 통해 안정성이 제공된다.⁴ 하지만 노화로 인한 뼈관절염 환자들은 통증, 넵다리네갈래근의 약화와 운동성의 소실, 관절의 강직과 변형, 제한된 움직임 및 고유 수용성감각기능의 저하로 인해 균형능력의 감소를 보인다.⁵ 퇴행성 뼈관절염의 치료를 위해 약물요법, 물리치료 등 다양한 치료 방법들이 시도되고 있으나 퇴행성 변화가 현저히 진

Received March 13, 2013 Revised April 12, 2013

Accepted April 15, 2013

Corresponding author Je-Ho Kim, albam20@naver.com

Copyright © 2013 by The Korean Society of Physical Therapy

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

행되어 통증과 일상생활에 제한이 있거나 관절의 파괴를 피할 수 없는 경우 무릎관절 전치환술이 권장되고 있으며 통계학적으로 계속 증가되고 있다.⁶ 최근 무릎관절 전치환술은 팔목할 만하게 발전되어 수술 후 통증 감소와 기능향상, 운동성 개선 등에 큰 효과가 있다고 보고되었다.^{7,8} 이후 시행되는 물리치료는 전체 무릎관절 전치환술 환자의 기능적 수행능력에 많은 영향을 주며, 수술 후 초기에 시행하는 재활운동은 보행을 빠르게 하며, 일상생활로의 복귀를 단축할 수 있다고 보고되었으며, 수술 직후부터 적극적인 재활 운동의 필요성을 제기하고 있다.⁹

수술 후 재활을 목적으로 시행하는 운동으로는 continuous passive motion (CPM)과 근력강화운동, 그리고 균형훈련 등이 있으며, 그 중 넙다리네갈래근의 근력 회복은 무릎관절의 체중부하와 안정성 및 정상적인 기능의 수행을 위해 매우 중요하다.^{10,11} 수술 후 넙다리네갈래근의 근력 향상을 위해 Han¹²은 8주간의 수중 복합 운동을 통해 넙다리네갈래근의 근력과 균형의 향상을 보였고, Avramidis 등¹³은 신경근 전기자극을 적용하여 넙다리네갈래근의 근력 향상을 보였으며 보행속도를 증진시켰다. 이처럼 다양한 운동 방법 중 넙다리네갈래근 고정 운동(quadriceps setting exercise, QSE)은 넙다리네갈래근의 등척성수축을 통하여 무릎관절 기능부전으로 인한 수술 환자의 초기 근력강화를 위한 대표적인 근력강화 운동방법이고, 넙다리네갈래근 고정 운동과 전기 자극을 비교한 연구에서 넙다리네갈래근 고정 운동이 근력 증가에 더 효과적임을 보고하였다.¹⁴ Shaw 등¹⁵은 앞십자인대 재건술 환자를 대상으로 수술 후 초기 재활 운동방법으로 넙다리네갈래근 고정 운동을 중재하여 관절가동범위와 관절의 안정성이 빠르게 회복된다고 하였다. 이처럼 수술 후 근력강화 운동은 무릎관절 기능을 정상적으로 회복하는 데 매우 중요하며 하지의 근력이 강한 그룹이 하지의 근력이 약한 그룹보다 균형능력이 좋았다.¹⁶ 균형은 근력과 밀접한 관련이 있으며, 무릎관절 전치환술 후 균형능력에 대한 연구는 꾸준히 발전되어 왔다.¹⁷ Lee¹⁸는 무릎관절 전치환술 환자를 대상으로 proprioceptive neuromuscular facilitation 하지 패턴을 이용한 근력운동을 시행하여 통증과 균형의 향상을 보였고, Lim¹⁹은 퇴행성 무릎관절염 환자에게 생체되먹임 훈련과 근력강화 운동을 중재한 후 균형과 통증의 향상을 보였으며, 생체되먹임 훈련이 더 효과적임을 시사하였다.

생체되먹임은 자신이 수행한 움직임의 정보를 실시간으로 제공함으로써 적절한 근수축, 신체정렬 상태 유지 및 정상적인 움직임을 이끌어내는데 효과적이며, 운동학습을 촉진시키는 데 효과적인 방법이라고 하였다.^{20,21} Park 등²²은 무릎관절

전치환술 환자를 대상으로 전기 자극을 이용한 되먹임을 제공한 그룹과 제공하지 않은 그룹 간의 비교에서 되먹임을 제공한 그룹이 운동학습에 효과적이었고, Yilmaz 등²³은 무릎관절염 환자에게 근전도-생체되먹임을 이용한 근력강화운동 중재한 후 통증의 감소와 근력의 향상을 보고하였다. 또한 생체되먹임은 균형과 보행 장애를 가진 환자의 치료에 효과적인 훈련방법이고 무릎관절 전치환술 환자에게 생체되먹임 훈련을 중재하여 균형능력의 향상을 보였다.²⁴ 이처럼 무릎관절 전치환술을 시행한 환자를 대상으로 재활훈련이 균형과 근력향상에 효과적이라 하였고,¹⁷ 수술 후 초기부터 근력강화 훈련과 균형능력 향상을 위한 운동이 필요하다고 하였다.^{9,16}

하지만 선행연구에서 무릎관절 전치환술 후 급성기 재활훈련에 대한 연구는 많이 이루어지지 않았고, 근육 재교육에 효과적인 생체되먹임을 이용한 연구 또한 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 무릎관절 전치환술을 시행한 후 급성기 환자에게 근전도-생체되먹임을 이용한 넙다리네갈래근 고정운동이 하지 근활성도와 균형에 미치는 영향에 대하여 알아보고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 본인 또는 보호자에게 연구의 내용과 목적을 충분히 설명하고 참여 동의서를 받은 후 진행하였다. 2012년 11월부터 2013년 1월까지 전남 J종합병원에 입원하여 퇴행성 무릎관절염으로 인해 무릎관절 전치환술을 시행하고 물리치료를 받고 있는 환자 25명을 대상으로 하였고 세부적인 선정 조건은 다음과 같다(Table 1).

- (1) 무릎관절 전치환술을 시행한 후 1주 이내인 자
- (2) 류마티스와 같은 다른 원인에 의한 관절염 병력이 없는 자
- (3) 한국형 간이 정신상태 검사(Mini-Mental State Examination-K)에서 24점 이상인 자

Table 1. General characteristics of subject

Variable	QSE+BF (n=10)	QSE (n=10)	t	p
Age (yr)	67.1±2.1	66.9±2.3	0.20	0.84
Weight (kg)	66.3±4.2	66.9±4.8	-0.33	0.75
Height (cm)	166.3±6.7	167.3±4.6	-0.41	0.69

Values are presented as mean±standard deviation.

QSE+BF: quadriceps setting exercise+biofeedback, QSE: quadriceps setting exercise.

2. 실험방법

대상자들은 CPM을 이용한 관절가동범위 운동을 하루 30분씩 1회 제공받았다. 그 후 실험군과 대조군은 각각의 중재프로그램을 6주 동안 주 5회 일 20분씩 중재하였다.

실험군은 Shahnawaz 등²⁵이 제시한 중재방법으로 근전도-생체피드백을 이용한 넙다리내 갈래근 고정 운동을 Myomed 134 (Enraf Nonius, Rotterdam, The Netherlands)를 이용하여 넙다리곧은근(rectus femoris)과 가쪽넓은근(vastus lateralis)에 중재하였다. 각 근육의 최대 근수축을 3회 실시한 후 얻은 평균값에서 20%의 힘을 뺀 값을 역치(threshold)로 설정하였고 역치 이하의 근수축 동안 시·청각적 피드백이 제공되었다. 근수축 유지시간은 5초, 이완시간은 10초로 설정하였다 (Figure 1). 대조군은 Choi와 Han¹⁴이 제시한 넙다리내갈래근 고정 운동을 중재하였고, 최대 근수축을 유발하여 5초 유지

후 10초 이완하였다.

20분의 중재 동안 환자의 체력상태를 고려하여 휴식을 취하도록 하였다.

1) 측정도구 및 방법

(1) 표면근전도시스템

하지의 근활성도를 측정하기 위해 MP 100 표면 근전도 시스템(Biopac System Inc., Santa Barbara, CA, USA)을 이용하였고 여기에서 전환된 디지털 신호는 개인용 컴퓨터에서 Acqknowledge 3.91 소프트웨어(Biopac System Inc.)를 이용하여 자료처리하였다. 표면 근전도의 신호에 대한 피부저항을 감소시키기 위하여 부착부위의 털을 제거하고 가는 사포로 3~4회 문질러 피부각질층을 제거한 후, 소독용 알코올로 피부를 깨끗이 하였다. 표본추출률(sampling rate)은 1,024 Hz로 설정하였고, 잡음을 최소화하기 위하여 대역 여과 필터(notch filter) 60 Hz, 대역 통과 필터(band pass filter) 30~500 Hz를 사용하였고, 수집된 신호는 root mean square 처리하였다. 총 3회 측정된 값의 평균값을 이용하였으며, 근전도 신호를 표준화하기 위하여 특정 동작의 근수축을 기준 수축(reference voluntary contraction, RVC)으로 삼아 이를 기준으로 표준화하는 %RVC 방법을 이용하였다. 기준 수축은 넙다리내갈래근 고정 운동 자세에서 수술을 시행하지 않은 하지의 최대등척성 수축 시의 근활성도를 측정하여 총 5초 수축 동안의 근전도 신호 중 처음과 마지막 1초씩을 제외한 3초의 신호를 이용하여 RVC값으로 구하였으며, 수술을 시행한 하지의 넙다리내갈래근 고정 운동 시 근활성도와 비교하여 %RVC 값을 산출하였다(Figure 2A).

(2) 균형측정시스템

균형능력을 측정하기 위해 Biorescue (RM Ingenierie, Rodez,

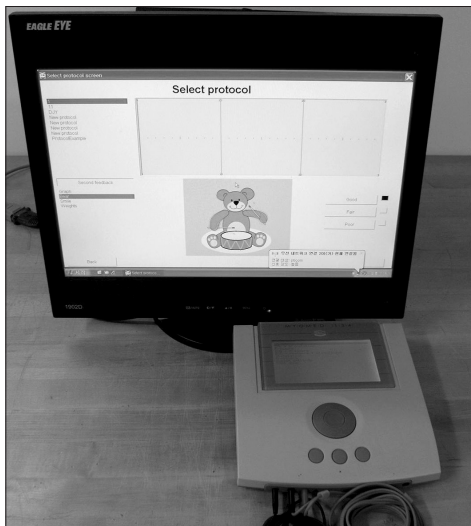


Figure 1. Electromyography-biofeedback (Myomed 134; Enraf Nonius, Rotterdam, The Netherlands).

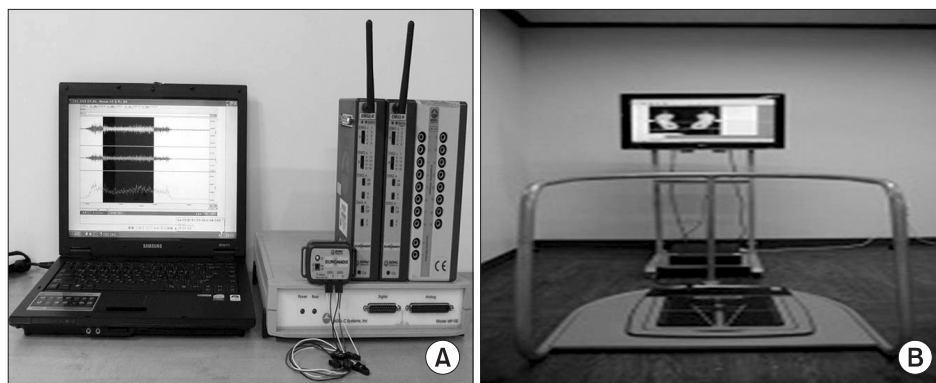


Figure 2. (A) Electromyography, (B) Biorescue (RM Ingenierie, Rodez, France).

France)를 이용하였으며, 압력중심(center of pressure)의 이동을 측정하기 위한 힘판(force plate)과 압력중심의 이동을 보여주는 모니터로 구성되어있다. 동적 균형능력을 측정하기 위해 안정성한계(limited of stability)를 측정하였다. 측정은 전·후·좌·우로 구성된 8개의 방향으로 이동 시 중심점에서의 거리를 측정하였고 총 3회 측정된 값의 평균값을 이용하였다(Figure 2B).²⁶

3. 통계 처리

측정된 자료는 IBM SPSS Statistics 19.0 (IBM Co., Armonk, NY, USA)를 이용하여 통계처리 하였으며, 두 집단 간의 정규성 검증을 위해 독립표본 t검정을 하였다. 그룹 간 훈련수행 시간에 따른 근활성도와 균형능력의 차이를 검증하기 위해 반복 측정 분산분석(repeated ANOVA)을 사용하였다. Mauchly의 구형성 검정에서 유의한 차이가 없는 경우 구형성 가정으로 유의성을 검증하고, 유의한 차이가 있을 경우 Greenhouse-Geisser의 값을 이용하여 측정 시기와 그룹 간 상호작용의 유의성을 검증하였다. 통계학적 유의수준은 0.05로 하였다.

III. 결과

1. 하지 근활성도 비교

실험군(QSE+ biofeedback [BF])의 넙다리곧은근과 가쪽넙은근의 근활성도(%RVC)는 시간의 변화에 따른 반복측정에서 시간이 경과함에 따라 근활성도는 유의하게 증가하였고

($p < 0.05$, $p < 0.01$), 대조군(QSE)도 시간의 변화에 따른 반복측정에서 시간이 경과함에 따라 근활성도가 유의하게 증가하였다($p < 0.05$). 훈련수행 시간 변화에 따른 근활성도의 집단 간 효과검정에서 실험군의 넙다리곧은근($p < 0.05$), 가쪽넙은근($p < 0.01$)이 통계학적으로 유의한 차이가 있었다. 하지만 집단 간의 상호작용은 통계학적으로 유의한 차이가 없었다(Table 2).

2. 균형능력 비교

실험군(QSE+BF)의 동적 균형능력(limited of stability, LOS)은 시간의 변화에 따른 반복측정에서 시간이 경과함에 따라 동적 균형능력이 유의하게 증가하였고($p < 0.05$), 대조군(QSE)도 시간의 변화에 따른 반복측정에서 시간이 경과함에 따라 동적 균형능력이 유의하게 증가하였다($p < 0.05$) 훈련수행 시간 변화에 따른 동적 균형능력의 집단 간 효과검정에서 실험군의 동적 균형능력이 통계학적으로 유의한 차이가 있었다($p < 0.01$). 하지만 집단 간의 상호작용은 통계학적으로 유의한 차이가 없었다(Table 3).

IV. 고찰

무릎관절 전치환술 환자의 대부분은 넙다리네갈래근의 근력 약화를 보이며, 이러한 근약화를 해결하기 위한 목적으로 근전도-생체피먹임이 사용되었다.^{27,28} 따라서 본 연구에서는 6주간의 근전도-생체피먹임을 이용한 넙다리네갈래근 고정 운

Table 2. Comparison of muscle activity (%RVC) in QSE+BF group and QSE group following periods (unit: %)

Variable	Period	QSE+BF	QSE	F	p	
RF	Pre	23.91±1.93	23.77±2.11	12.28	0.03*	
	3 weeks	52.69±1.64	47.66±2.28			
	6 weeks	70.61±1.49	67.62±1.31			
	F	Pre~3 weeks	17.80	4.03		
		3~6 weeks	13.73	3.76		
	p	Pre~3 weeks	0.01 [†]	0.03*		
		3~6 weeks	0.04*	0.05*		
	VL	Pre	27.82±2.08	27.48±2.05	17.22	0.01 [†]
3 weeks		56.45±2.03	49.87±2.01			
6 weeks		73.38±1.39	70.45±1.44			
F		Pre~3 weeks	41.80	7.55		
		3~6 weeks	14.57	4.94		
p		Pre~3 weeks	0.01 [†]	0.02*		
		3~6 weeks	0.02*	0.04*		

Values are presented as mean±standard deviation.

QSE+BF: quadriceps setting exercise+biofeedback, QSE: quadriceps setting exercise, RF: rectus femoris, VL: vastus lateralis.

* $p < 0.05$, [†] $p < 0.01$.

Table 3. Comparison of balance ability in QSE+BF group and QSE group following periods (unit: cm²)

Variable	Period	QSE+BF	QSE	F	p
LOS	Pre	78.06±2.07	78.04±1.78	17.53	0.01 [†]
	3 weeks	120.08±2.79	110.68±1.99		
	6 weeks	139.92±1.50	130.74±1.20		
F	Pre~3 weeks	10.12	5.36		
	3~6 weeks	4.98	3.76		
p	Pre~3 weeks	0.02*	0.03*		
	3~6 weeks	0.04*	0.05*		

Values are presented as mean±standard deviation.

QSE+BF: quadriceps setting exercise+biofeedback, QSE: quadriceps setting exercise, LOS: limited of stability.

*p<0.05, †p<0.01.

동이 무릎관절 전치환술을 시행한 환자의 하지 근활성도와 균형에 미치는 영향을 알아보기 위하여 본 연구를 실시하였고 연구결과 실험군과 대조군 모두 시간의 변화에 따른 반복측정에서 시간이 경과함에 따라 근활성도와 동적 균형능력의 유의한 증가를 보였고, 훈련수행 시간 변화에 따른 근활성도와 동적 균형능력의 집단 간 효과검정에서 실험군이 유의한 효과를 보였다. Kimap 등²⁹은 반달 연골 절제술을 시행한 40명의 환자를 대상으로 근전도-생체피드백을 이용하여 근력강화 운동을 시행한 그룹과 생체피드백을 제공하지 않은 그룹의 비교에서 근전도-생체피드백을 제공한 그룹에서 가쪽넓은근의 근활성도가 유의하게 증가하였다. Kim 등³⁰은 무릎뼈 부정렬 환자 39명을 대상으로 4주 동안 근전도-생체피드백을 이용하여 근력강화 운동을 시행한 그룹과 테이핑을 적용한 그룹의 비교에서 근전도-생체피드백을 적용한 그룹에서 안쪽넓은근의 근활성도가 유의하게 증가하였다. 본 연구에서도 선행연구들과 질환은 다르지만 근전도-생체피드백을 제공한 그룹에서 생체피드백을 제공하지 않은 그룹과 비교에서 가쪽넓은근과 넙다리곧은근의 근활성도가 유의하게 증가하는 동일한 결과는 얻었다. 이는 무릎관절 기능부전을 가진 환자들에게 근전도-생체피드백을 이용한 훈련이 필요하다는 것을 뒷받침해 줄 수 있다.

Stevens-Lapsley 등²⁷은 무릎관절성형술을 시행한 환자 66명을 대상으로 넙다리네갈래근의 근력강화를 위해 신경근 전기자극을 6주까지 적용하고 52주 동안 추적 관찰한 결과 5주까지 넙다리네갈래근의 근활성도에 유의한 증가를 보였다. 본 연구는 선행연구와 중재방법에 차이는 있지만 6주 후에도 넙다리네갈래근의 근활성도가 유의하게 증가되는 동일한 결과를 얻었다. 신경근 전기자극에 비해 근전도-생체피드백은 근활성도를 정량적으로 측정하여 시·공간적인 정보를 제공함으로써 행동수정 및 동기부여를 통하여 더 강한 근활성을 일으

켜 근활성도가 증가되었다고 생각된다. 무릎관절 전치환술 환자는 넙다리네갈래근의 약화로 인하여 선행적 자세조절에 영향을 주며 균형의 감소를 일으킨다.³¹ Han¹²은 무릎관절 전치환술 환자에게 수증치료를 증재하여 하지 근활성도가 향상되어 균형 능력에 유의한 증가를 보였고, Yang³²은 뇌졸중 환자에 근전도-생체피드백을 이용한 과제지향적 훈련을 통해 근활성도가 증가되어 버그균형척도와 Timed Up and Go Test, 10 m 걷기검사와 같은 균형능력 평가에서 유의한 증가를 보였다. 본 연구에서도 근전도-생체피드백을 이용한 근력강화 훈련을 통해 가쪽넓은근과 넙다리곧은근의 근활성도가 증가되어 안정성 한계와 같은 동적 균형능력의 유의한 증가를 보여 선행 연구와 같은 결과를 얻었다. 이처럼 하지 근활성도의 증가는 균형과 보행능력에 높은 상관관계를 보인다고 하였고,³³ 무릎관절 전치환술 환자의 균형 향상을 위해서는 넙다리네갈래근의 근력의 향상이 필수적이라고 생각된다. 본 연구의 제한점으로는 연구 대상자의 지역적 제한으로 인해 모든 무릎관절 전치환술 환자에게 일반화하기가 어려우며, 연구 대상자의 일상생활 통제에 어려움이 있었다. 향후 본 연구를 바탕으로 무릎관절 전치환술 환자에게 근전도-생체피드백 훈련을 증재한 후 보행의 운동형상학적 분석과 삶의 질에 관한 연구가 필요할 것이다.

본 연구는 무릎관절 전치환술 환자들을 대상으로 근전도-생체피드백을 이용한 넙다리 네갈래근 고정 운동을 6주간 실시한 후 하지 근활성도와 균형에 미치는 영향을 분석하여 근전도-생체피드백 훈련의 효과를 알아보았다. 넙다리곧은근, 가쪽넓은근의 근활성도 (%RVC)값과 동적 균형능력(LOS)값의 분석을 통하여 근전도-생체피드백을 이용한 훈련이 하지 근활성도와 균형향상에 효과적임을 증명하였다. 그러므로 근전도-생체피드백을 이용한 넙다리네갈래근 고정 운동이 근전

도-생체되먹임을 제공하지 않은 운동보다 하지 근활성도와 동적 균형능력을 향상시키는 것으로 결론을 얻었다.

Acknowledgements

본 연구는 세한대학교 물리치료학과에서 연구비 지원을 받았음.

참고문헌

- Salaffi F, De Angelis R, Grassi W; MArche Pain Prevalence; INvestigation Group (MAPPING) study. Prevalence of musculo-skeletal conditions in an Italian population sample: results of a regional community-based study. I. The MAPPING study. *Clin Exp Rheumatol*. 2005;23(6):819-28.
- Seo SK, Cho WS, Lee JW et al. Effects of auricle electric stimulation on pain, gait and balance in the old aged with knee joint disease. *J Korean Soc Phys Ther*. 2008;20(2):11-7.
- Iversen MD. Managing hip and knee osteoarthritis with exercise: what is the best prescription? *Ther Adv Musculoskelet Dis*. 2010;2(5):279-90.
- Christanell F, Hoser C, Huber R et al. The influence of electromyographic biofeedback therapy on knee extension following anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol*. 2012;4(1):41.
- Sharma L, Dunlop DD, Cahue S et al. Quadriceps strength and osteoarthritis progression in malaligned and lax knees. *Ann Intern Med*. 2003;138(8):613-9.
- Hwang YT, Hwang KO. The effect of isometric exercise and active stretching on joint function in patient with osteoarthritis. *J Korean Soc Phys Ther*. 2006;18(2):35-45.
- Crowninshield RD, Rosenberg AG, Sporer SM. Changing demographics of patients with total joint replacement. *Clin Orthop Relat Res*. 2006;443:266-72.
- Harato K, Otani T, Nakayama N et al. When does postoperative standing function after total knee arthroplasty improve beyond preoperative level of function? *Knee*. 2009;16(2):112-5.
- Rossi MD, Hasson S. Lower-limb force production in individuals after unilateral total knee arthroplasty. *Arch Phys Med Rehabil*. 2004;85(8):1279-84.
- Yim SJ, Min KD, Lee YK et al. Efficacy of physiotherapist after total knee arthroplasty. *Knee Surgery & Related Reserch*. 2009;21(4):58-64.
- MacDonald SJ, Bourne RB, Rorabeck CH et al. Prospective randomized clinical trial of continuous passive motion after total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 2000;(380):30-5.
- Han JH. Effectiveness of 8 weeks of application of aqua complexed exercise on lower limbs muscular strength, pain relief and balance after total knee arthroplasty. Korea University. Dissertation of Master's Degree. 2010.
- Avramidis K, Strike PW, Taylor PN et al. Effectiveness of electric stimulation of the vastus medialis muscle in the rehabilitation of patients after total knee arthroplasty. *Arch Phys Med Rehabil*. 2003;84(12):1850-3.
- Choi JC, Han DU. The effects of quadriceps setting exercise and electrical stimulation on improvement of quadriceps muscle strength. *J Korean Soc Phys Ther*. 2001;13(2):273-80.
- Shaw T, Williams MT, Chipchase LS. Do early quadriceps exercises affect the outcome of ACL reconstruction? A randomised controlled trial. *Aust J Physiother*. 2005;51(1):9-17.
- Stitik TP, Kaplan RJ, Kamen LB et al. Rehabilitation of orthopedic and rheumatologic disorders. 2. Osteoarthritis assessment, treatment, and rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil*. 2005;86(3 Suppl 1):S48-55.
- Gauchard GC, Vançon G, Meyer P et al. On the role of knee joint in balance control and postural strategies: effects of total knee replacement in elderly subjects with knee osteoarthritis. *Gait Posture*. 2010;32(2):155-60.
- Lee JH. Effect of lower extremity patterns of proprioceptive neuromuscular facilitation on pain and balance in total knee replacement. Daegu University. Dissertation of Master's Degree. 2010.
- Lim KB. The effect of balance and pain in the osteoarthritis patients after bio-feedback and strengthening exercises. Daegu University. Dissertation of Master's Degree. 2009.
- Kim YK, Song JC, Choi JW et al. Functional electric stimulation-assisted biofeedback therapy system for chronic hemiplegic upper extremity function. *J Korean Soc Phys Ther*. 2012;24(6):409-13.
- Dursun N, Dursun E, Kiliç Z. Electromyographic biofeedback-controlled exercise versus conservative care for patellofemoral pain syndrome. *Arch Phys Med Rehabil*. 2001;82(12):1692-5.
- Park EY, Kwak CH, Joung GS. Effects of electrical stimulation biofeedback on motor learning of quadriceps isometric exercise of total knee replacement. *KAUTPT*. 2000;7(3):81-9.
- Yilmaz OO, Senocak O, Sahin E et al. Efficacy of EMG-biofeedback in knee osteoarthritis. *Rheumatol Int*. 2010;30(7):887-92.
- Mirelman A, Patrìti BL, Bonato P et al. Effects of virtual reality training on gait biomechanics of individuals post-stroke. *Gait Posture*. 2010;31(4):433-7.
- Shahnawaz A, Nishat Q, Mohammad M et al. Effectiveness of electromyographic biofeedback training on quadriceps muscle strength in osteoarthritis of knee. *Hong Kong Physiotherapy Journal*. 2011;29:86-93.
- Yang DJ, Park SK, Kang JI et al. Effect of computerized feedback postural training on balance and muscle activity in stroke patients. *J Korean Soc Phys Ther*. 2012;24(5):348-54.
- Stevens-Lapsley JE, Balter JE, Wolfe P et al. Early neuromuscular electrical stimulation to improve quadriceps muscle strength after total knee arthroplasty: a randomized controlled trial. *Phys Ther*. 2012;92(2):210-26.
- Levitt R, Deisinger JA, Remondet Wall J et al. EMG feedback-assisted postoperative rehabilitation of minor arthroscopic knee surgeries. *J Sports Med Phys Fitness*. 1995;35(3):218-23.
- Kirnap M, Calis M, Turgut AO et al. The efficacy of EMG-bio-feedback training on quadriceps muscle strength in patients after arthroscopic meniscectomy. *N Z Med J*. 2005;118(1224):U1704.

30. Kim DY, Kim SH, Lim YE et al. Effect of EMG biofeedback training and taping on vastus medialis oblique for function improvement of patient with patella malalignment. *J Korean Soc Phys Ther.* 2008;20(3):35-44.
31. Venema DM, Karst GM. Individuals with total knee arthroplasty demonstrate altered anticipatory postural adjustments compared with healthy control subjects. *J Geriatr Phys Ther.* 2012;35(2):62-71.
32. Yang DJ. Effects of biofeedback with task-related training on motor function and neural plasticity in subject with stroke. Dongsin University. Dissertation of Doctorate Degree. 2011.
33. Kim YH. Effects of realignment at lower extremities on the balance and walking in the people with chronic stroke. Yongin University. Dissertation of Master's Degree. 2002.