

*Original Article*

## 근전도 생체피드백 기반 닫힌사슬운동이 무릎넙다리통증증후군의 넙다리네갈래근 근활성도와 동적 균형에 미치는 영향

강주현, 김제호<sup>1)</sup>

김포대학교 보건행정과 겸임교수, 대구보건대학교 물리치료과 교수<sup>1)</sup>

## Effects of EMG-Biofeedback based Closed Kinetic Chain Exercise on Quadriceps Muscle Activity and Dynamic Balance in Patellofemoral Pain Syndrome

Joo-hyun Kang, Je-ho Kim<sup>1)</sup>

*Dept. of Health Service Administration, Kimpo University  
Dept. of Physical Therapy, Daegu Health Collage<sup>1)</sup>*

### ABSTRACT

**Purpose:** The purpose of this study was to determine the effects of electromyography (EMG)-biofeedback based closed kinetic chain exercise (CKCE) on quadriceps muscle activity and dynamic balance ability in patellofemoral pain syndrome (PFPS).

**Methods:** Thirty subjects with PFPS were included and they were divided into EMG-biofeedback using CKCE (Group I) and squat exercise using CKCE (Group II), each group consisted of 15 patients. Group I and Group II was performed by the patients for three times a week, for six weeks. sEMG was used to measure quadriceps muscle activity and star excursion balance test (SEBT) was used to measure dynamic balance ability.

**Results:** According to the results of the comparisons between the groups, after intervention, quadriceps muscle activity and dynamic balance ability were significantly higher in Group I than in the Group II.

**Conclusion:** Findings of this study suggest that EMG-biofeedback using CKCE that provides real-time biofeedback information on muscle contraction may have a beneficial effect on selective muscle strength of vastus medialis oblique muscle and dynamic balance ability in PFPS.

**Key Words:**

Patellofemoral pain syndrome, EMG-biofeedback, Quadriceps muscle activity, Dynamic balance

## I. 서론

무릎 넓다리 통증증후군(patellofemoral pain syndrom; PFPS)은 무릎 통증을 일으키는 일반적인 원인으로 젊은 여성에서 발병률이 높다(Glaviano 등, 2015). PFPS는 최소 한가지 이상의 동작에서 체중을 지지하는 동안 무릎을 굽힘 시 무릎뼈 주변이나 뒤에서 발생하는 통증이다(Crossley 등, 2016). PFPS의 발병원인은 명확하지 않지만, 다리 근육의 근력 불균형, 근육 길이의 짧아짐 등으로 넓다리네갈래근 각(Q-각)이 증가되어 무릎관절의 과도한 스트레스를 유발하며, 이로 인해 비정상적인 무릎뼈의 움직임과 부정렬(malalignment)을 초래한다(Almedia 등, 2016).

특히 안쪽빗넓은근(vastus medialis oblique; VMO)의 약화는 Q-각의 증가와 무릎뼈 가쪽 당김을 유발하여, 넓다리네갈래근과 무릎힘줄 사이에서 발생하는 벡터 합성을 증가시키고, 그 결과 과도한 가쪽 활시위힘(lateral bowstring force)을 생산하여 무릎관절에 스트레스를 증가시킨다(Sherman 등, 2014).

또한, PFPS는 관절에 위치하는 기계적수용기에 손상을 유발하여 고유수용성감각을 저하시키고, 감각-운동계의 기능부전을 초래하여 작용근과 대항근의 협력수축 감소와 신체도식(body schema)의 잘못된 형성으로 균형능력을 감소시킨다(Yosmaoglu 등, 2013). Heijden 등(2015)은 PFPS는 가쪽넓은근이 안쪽넓은근과 비교하여 더 높은 근육의 활성을 보이고, 근력의 불균형으로 인해 균형, 통증, 기능적 움직임에 제한을 보이기 때문에 무릎뼈의 정상적인 정렬을 위해서는 안쪽빗넓은근의 근력 강화가 필요하다고 하였다.

PFPS의 통증 감소 및 기능향상을 위해 테이핑(Chang 등, 2015), 관절가동기법(Jayaseelan 등, 2020), 전기치료(Kuru 등, 2012) 등 다양한 중재 방법들이 제시되고 있다. 하지만 보존적 중재 방법은 통증과 기능향상의 효과가 일시적이며, PFPS의 모든 대상자에게 그 효과를 입증하기에 어려움이 있으므로, 지속적인 효과를 얻기 위해서는 넓다리네갈래근의 근력 강화가 필요하다고 하였다(Saltychev 등, 2018). 근력 강화를 위한 움직임의 형상은 열린사슬운동(open kinetic chain exercise)과 닫힌사슬운동(close kinetic chain exercise)으로 분류된다.

열린사슬운동은 마지막 무릎 폼 30° 동안 관절에 높은 앞쪽 전단력을 일으키기 때문에 열린사슬운동 보다 안전한 닫힌사슬운동이 무릎관절 손상 후 재활에 더 많이 이용되고 권장된다(Perriman 등, 2018). 닫힌사슬운동은

고유수용성 감각입력의 증가와 작용근과 대항근이 동시 수축(co-contraction)으로 관절에 안정성을 제공하고, 무릎관절 폼근의 크기(size)를 증가시켰다(Bloomquist 등, 2013). 닫힌사슬운동 중 스쿼트(squat)운동은 넓다리네갈래근의 강화에 효과적이며, 무릎관절 30°~60° 굽힘에서 안쪽빗넓은근의 최대 활성을 유발하여 PFPS의 근력 향상을 위한 대표적인 중재방법이다(Felicio 등, 2019; Jaberzadeh 등, 2016).

근전도-생체피드백(EMG-biofeedback)은 동작을 수행하는 동안 운동단위의 활동전위를 측정하여 실시간으로 정보를 제공하며, 최근 신경계 및 근육뼈대계 손상으로 인한 재활훈련에 중재방법으로 제시되고 있다(Yoo 등, 2017; Kim, 2017; Criado 등, 2016). 또한, 근전도-생체피드백 훈련은 특정 근육을 선택적으로 강화할 수 있기 때문에 선택적 근력 강화가 필요한 질환에 적용하면 효과적이라고 보고하였다(Kim 등, 2008).

Alonoazi 등(2021)은 운동선수 60명을 대상으로 근전도-생체피드백 훈련과 거짓 근전도-생체피드백 훈련을 비교하여 근전도-생체피드백 훈련이 안쪽빗넓은근과 가쪽넓은근의 근활성비에 유의한 차이를 보였다. 또한, Yip과 Ng(2006)은 근전도-생체피드백 훈련과 일반 운동 치료를 비교하여 근전도-생체피드백 훈련이 안쪽빗넓은근의 등속성 최대 토크에서 유의한 차이를 보여, 근전도-생체피드백훈련이 선택적 근력강화에 효과적이었다고 보고하였다. 하지만 근전도-생체피드백을 이용한 대부분의 선행연구들은 안쪽빗넓은근의 활성도와 근활성비에 초점을 두어 PFPS 대상자들의 동적 균형능력과 같은 기능적 측면에 대한 연구가 필요하다고 보고하였다(Erdoganoglu 등, 2020).

또한, 여성은 감소된 물렁뼈 두께, 증가된 Q각, 엉덩관절 안쪽돌림 등 성별 간 해부학적 및 생체역학적 차이로 인하여 PFPS에 유병률이 증가되고, 신체적-정신적 요인에 영향을 주어 삶의 질을 감소시키기 때문에 여성의 PFPS 예방을 위한 관리가 필요하다고 보고하였다(Apivotgaroon 등, 2016; Dutton 등, 2016; Boling 등, 2010).

다양한 연구들을 통해 근전도-생체피드백 기반 닫힌사슬운동이 PFPS의 근력 강화 및 통증감소에 관한 연구는 많이 이루어지고 있지만, 동적균형과 같이 기능적 측면에 미치는 영향에 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 PFPS를 보이는 20대 여성을 대상으로 근전도-생체피드백 기반 닫힌사슬운동을 적용하여 넓다리네갈래근 활성도와 동적균형에 미치는 영향을 알아보고 PFPS를 가진 대상자들의 기능 회복을 위한 운동치료의

기초자료를 제공하고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상자

본 연구는 전남 영암에 위치한 00대학교에 재학중인 여자 대학생 중 연구 내용과 목적을 충분히 설명하고 실험의 참여에 동의한 대상자를 선발하여, 쿠알라 무릎다리 점수(Kujala patellofemoral score)에서 70점 이상 80점 미만의 무릎다리관절에 기능부전을 가지고 있는 대상자 30명을 표본 추출하였다. G power 3.0 프로그램(University of Kiel, Kiel, Germany)을 이용하였다. 두 개 집단 간 측정 항목들에 차이를 알아보기 위해 독립 t-검정을 이용하였고, 효과크기 .5, 유의수준 .05 통계적 검증력 .80으로 설정하여 계산된 연구대상자의 최소 인원수는 24명이었다.

기타 세부적인 선정기준은 다리 관절에 정형외과적 수술을 시행하지 않은 자, 다리근력 강화 운동을 시행하지 않은 자, 기타 다른 내·외과적 질환을 가지고 있지 않은 자로 선정하였다. 연구대상자는 근전도-생체피막을 이용한 달린사슬운동군(group I) 15명, 달린사슬운동군(group II) 15명으로 네이버에서 제공되는 사다리게임 프로그램을 이용하여 무작위 배정하였다.

### 2. 평가도구 및 측정방법

#### 1) 근활성도 측정

다리 근활성도를 측정하기 위해 MP100 표면 근전도 시스템(Biopac System Inc, Santa Barbara, CA, USA)을 이용하였고, 추출된 신호는 개인용 컴퓨터에서 Acqknowledge 3.91 소프트웨어를 통해 분석하였다(Figure 1).

이극 표면전극을 사용하였으며, 표면 근전도 신호에 대한 피부 저항을 감소시키기 위해 부착부위의 털을 제거하고 가는 사포로 3~4회 문질러 피부 각질층을 제거한 후 소독용 알코올솜으로 피부를 깨끗이 하였다. 가쪽넓은근, 안쪽빗넓은근의 근활성도를 측정하기 위해 이극전극을 근힘살의 중앙에 근섬유 방향과 평행하게 부착하였다(Figure 2).

표본추출율(sampling rate)은 1,024Hz, 대역여과필터(notch filter)는 60Hz, 대역통과필터(band pass filter)는 30~450Hz로 설정하였고, 수집된 신호는 완파정류(full

wave rectification) 처리하였다.

수집된 근활성도를 표준화하기 위해 %최대수의적 수축(%maximum voluntary contraction: %MVC)을 이용하였다. 가쪽넓은근과 안쪽빗넓은근의 최대수의적수축은 NK테이블에 엉덩관절 굽힘 90°, 무릎관절 굽힘 90°의 앉은자세에서 무릎관절 굽힘 60°를 5초 동안 유지하는 동안 나타나는 근활성도 값을 측정하여 분모값으로 이용하였다. 무릎관절 굽힘 60°의 스쿼트 자세를 5초 동안 유지하는 동안 측정된 가쪽넓은근과 안쪽빗넓은근의 근활성도 값을 분자값으로 이용하였고, 백분위 환산하여 %MVC를 산출하였다.

모든 근전도 신호는 3회 측정하여 평균값을 이용하였고, 5초 동안의 근활성도 중 처음과 마지막 1초는 제외한 3초 동안의 근활성도를 분석하였다. 또한, 스쿼트를 하는 동안 나타나는 실효치 증폭의 평균값을 이용하여 안쪽빗넓은근과 가쪽넓은근의 비율을 산출하였다(Chen 등, 2018).



Figure 1. Measurement of muscle activity: A. surface electromyography, B. Placement of surface electrodes(VL; vastus lateralis, VMO; vastus medialis oblique)

#### 2) 동적 균형 측정

동적 균형능력을 측정하기 위해 별모양 다리 뻗기 균형 검사(star excursion balance test; SEBT)를 이용하였다(Figure 2). 손상측 다리로 지지한 한발서기 자세에서 비손상측 발을 사용하여 앞쪽, 뒤안쪽, 뒤가쪽 방향으로 발을 최대한 멀리 뻗어 최대지점을 기록한다. 6번의 시도 중 3회 값의 평균을 기록하며, 각 방향 별 측정을 완료한 뒤 30초의 휴식을 제공하였다. 각 방향 별 측정값을 정량화하기 위해 “(각 방향 별 최대 뻗은 거리/다리 길이) x 100= %최대 뻗기”와 같은 공식을 이용하였

다. 다리 길이는 위앞엉덩뼈가시에서부터 안쪽복사까지 측정하였다(Erdoganoglu 등, 2020).

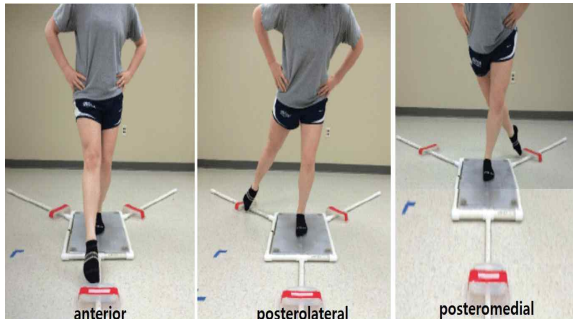


Figure 2. Star excursion balance test

### 3) 무릎 넓다리 기능 평가

기능적 능력을 평가하기 위해 쿠알라 무릎넓다리 점수 (Kujala Patellofemoral Score, KPS)를 이용하였다.

KPS는 자가평가 형식으로 통증, 부종, 넓다리네갈래근 위축, 움직임 등 13문항으로 구성되어 있으며 총점은 100점이다. 100점에 가까울수록 기능적으로 정상인 상태를 나타내며, 신뢰도는 .98로 높은 신뢰도를 보인다 (Ummels 등, 2017).

## 3. 중재 방법

### 1) 근전도-생체피막임 기반 달힌사슬운동

근전도-생체피막임 기반 달힌사슬운동은 스쿼트 운동과 동일한 자세에서 안쪽빗넓은근의 선택적인 근력강화를 위해 근전도-생체피막임(Mymed 132, Enraf Nonius, Netherlands)을 이용하였다(Figure 3-A). 기록전극의 채널 1은 안쪽빗넓은근의 근힘살에 부착하고 채널 2는 가쪽넓은근의 근힘살에 부착하였다.

무릎관절 굽힘 60°의 스쿼트 자세를 5초 동안 유지하는 동안 측정된 근활성도의 최대값 중 80%에 해당하는 근활성도를 기준값으로 설정하여 치료에 적용하였다. 대상자는 모니터를 통해 근전도-생체피막임 신호를 실시간으로 확인할 수 있었으며, 기준값 이하의 근활성도를 보이면 시·청각적 피막임을 제공하여 근수축을 강화할 수 있도록 하였다. 운동시간은 수축시간 10초, 휴식시간 20초로 설정하여 주 3회, 1일 30분, 6주 동안 실시하였다 (Yip과 Ng, 2006).

### 2) 달힌사슬운동

달힌사슬운동은 Emamvirdi 등(2019)의 연구를 이용하

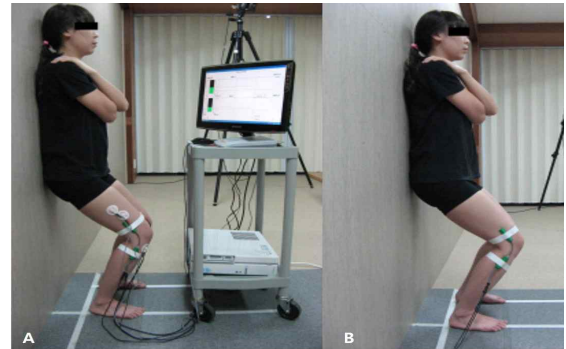


Figure 3. Intervention method

A. EMG-biofeedback based close kinetic chain exercise, B. Squat using close kinetic chain exercise

여 스쿼트 운동을 중재하였다(Figure 3-B). 운동수행 전 자세에 대한 교육을 충분히 실시한 후 무릎을 60° 까지 굽힘하여 10초간 스쿼트 자세를 유지한 후 다시 초기 자세로 되돌아와 20초간 휴식을 제공하였다. 운동은 6주 동안 주 3회, 1일 30분(5세션) 중재하였으며, 1세션 당 4분간 운동을 시행하였고 2분간 휴식을 제공하였다. 정확한 무릎관절 굽힘 60°를 위해 다리 가쪽에 부착한 전자각도계(Simple Sensor Twin Axis Goniometer, Biopac, USA)를 이용하였다. 무릎관절 굽힘 60°가 되면 “유지”라는 구두지시로 안내 해주었으며, 전자각도계에 대한 시각적 정보를 제공하지 않았다.

## 4. 분석방법

수집된 자료는 IBM SPSS Ver 19.0(IBM Co, Armonk, NY, USA) 통계프로그램을 이용하여 통계 처리하였다. 샤피로-윌크 검정(Shapiro-wilk test)을 사용하여 대상자의 일반적 특성과 변수에 대한 정규성 검정을 하였다.

집단 간 동질성 검정을 위해 독립표본 t-검정을 사용하였다. 집단 내 중재 전·후 넓다리네갈래근 근활성도와 동적균형 능력의 차이를 검정하기 위해 대응표본 t-검정을 사용하였고, 집단 간 중재 전·후 넓다리네갈래근 근활성도와 동적균형 능력 차이를 검정하기 위해 독립표본 t-검정을 사용하였다. 통계학적 유의수준은  $\alpha=.05$ 로 정하였다.

## III. 결 과

### 1. 연구대상자의 일반적인 특징

본 연구대상자는 근전도-생체피드백을 이용한 달힌사슬운동군(Group I) 15명, 스쿼트 운동을 이용한 달힌사슬운동군(Group II) 15명으로 총 30명이며 집단 간 정규성과 동질성을 보였고, 일반적인 특성은 표 1과 같다.

**Table 1.**  
General characteristics of the subjects

Variables	Group I (n=15)	Group II (n=15)	p
Age(yrs)	21.08±1.23 <sup>a</sup>	21.42±.89	.689
Height(cm)	160.83±4.26	159.34±4.37	.779
Weight(kg)	54.19±3.69	53.94±3.82	.356
KPS(score)	74.38±4.15	76.27±3.18	.594

<sup>a</sup>Mean±SD, Group I: EMG-biofeedback using closed kinetic chain exercise, Group II: Squat using closed kinetic chain exercise, KPS: Kujala patellofemoral score

### 2. 그룹 내 중재 전·후 넙다리네갈래근 근활성도 비교

넙다리네갈래근의 근활성도 비교에서 Group I 과 Group II는 안쪽빗넓은근의 %MVC와 근활성비에서 그룹 내 중재 전·후 유의한 차이를 보였다(p<.05)(Table 2). 가쪽넓은근의 %MVC는 그룹 내 중재 전·후 유의한 차이를 보이지 않았다.

**Table 2.**  
Comparison of quadriceps muscle activity within the group

Variables		Group I (n=15)	Group II (n=15)
VMO (%MVC)	pre	23.84±3.27 <sup>a</sup>	23.98±2.98
	post	30.94±2.96	27.87±3.41
	t(p)	4.348(.025)	3.874(.046)
VL (%MVC)	pre	32.21±2.62	32.40±3.01
	post	32.56±3.09	32.84±2.86
	t(p)	1.238(.094)	1.210(.089)
VMO/VL (ratio)	pre	.74±.15	.74±.08
	post	.95±.07	.85±.11
	t(p)	7.761(.035)	4.231(.048)

<sup>a</sup>Mean±SD, Group I: EMG-biofeedback using closed kinetic chain exercise, Group II: Squat using closed kinetic chain exercise, VL: Vastus lateralis, VMO: Vastus medialis oblique, %MVC: %Maximum voluntary contraction

### 3. 그룹 내 중재 전·후 동적 균형능력 비교

동적 균형능력 비교에서 Group I 과 Group II는 앞쪽, 뒤가쪽방향에서 그룹 내 중재 전·후 유의한 차이를 보였다(p<.05, p<.01)(Table 3). 뒤안쪽 방향은 그룹 내 중재 전·후 유의한 차이를 보이지 않았다.

**Table 3.**  
Comparison of dynamic balance ability within the group

SEBT	Group	Pre-test	Post-test	t (p)
Anterior	Group I (n=15)	57.02±7.64 <sup>a</sup>	65.15±6.43	9.421 (.002)
	Group II (n=15)	56.97±6.97	60.28±5.84	6.286 (.008)
Postero medial	Group I (n=15)	67.05±6.17	71.26±5.78	3.375 (.048)
	Group II (n=15)	66.98±5.87	69.85±6.21	2.218 (.051)
Postero lateral	Group I (n=15)	52.62±5.86	60.12±6.25	7.168 (.004)
	Group II (n=15)	53.12±4.75	56.48±5.17	5.695 (.009)

<sup>a</sup>Mean(%)±SD, Group I: EMG-biofeedback using closed kinetic chain exercise, Group II: Squat using closed kinetic chain exercise, SEBT: star excursion balance test

### 4. 그룹 간 중재 전·후 넙다리네갈래근 근활성도 및 동적 균형능력 비교

넙다리네갈래근 근활성도와 동적 균형능력에 대한 Group I 과 Group II의 그룹 간 비교에서 유의한 차이를 보였다(p<.05)(Table 4). 하지만 가쪽넓은근의 %MVC에서는 유의한 차이를 보이지 않았다.

## IV. 고찰

PFPS는 안쪽빗넓은근과 가쪽넓은근의 근육 불균형에 의해 정강뼈의 과도한 가쪽돌림과 밖굽이(valgus) 스트레스의 증가 및 목말밑관절의 과도한 옆침 등을 유발하여 통증 및 균형능력 감소 등 기능부전(dysfunction)을 유발한다(Gaitonde 등, 2019). PFPS의 기능회복을 위해서는 안쪽빗넓은근의 선택적인 근력 강화가 필요하다고 보고되었고(Singh과 Srivastava, 2018), 관절에 손상을

**Table 4.**  
Comparison of quadriceps muscle activity and dynamic balance ability between the group

Variables	Group I (n=15)	Group II (n=15)	t(p)
Muscle activity	VMO (%MVC)	7.10±1.58 <sup>a</sup>	3.89±1.02 4.110 (.029)
	VL (%MVC)	.42±.15 <sup>a</sup>	.44±.21 <sup>a</sup> 1.924 (.079)
	VMO/VL (ratio)	.21±.03	.12±.04 5.065 (.046)
SEBT (%)	Anterior	8.13±2.16	3.31±1.31 3.356 (.047)
	Postero medial	4.21±1.23	2.87±1.14 2.147 (.053)
	Postero lateral	7.50±1.08	3.36±1.14 3.657 (.042)

<sup>a</sup>Mean±SD, Group I: EMG-biofeedback using closed kinetic chain exercise, Group II: Squat using closed kinetic chain exercise, VL: vastus lateralis, VMO: vastus medialis oblique, %MVC: %maximum voluntary contraction, SEBT: Star excursion balance test

최소화하고 효과적인 근력 강화를 위해 달힌사슬운동과 근전도-생체피드백 훈련이 대두되고 있다(Alba-Martin 등, 2015). 본 연구에서는 효과적이고 선택적인 근력 강화를 위해 근전도-생체피드백 기반 달힌사슬운동을 중재하여 PFPS의 넓다리네갈래근의 근활성도와 동적 균형 능력 향상에 미치는 영향을 알아보고 PFPS의 기능향상을 위한 운동치료의 기초자료를 제시하기 위해 다음과 같이 논의하고자 한다

스쿼트 운동은 달힌사슬운동의 대표적인 운동으로 엉덩관절, 무릎관절, 발목관절의 복합적인 움직임을 동반하며, 넓다리네갈래근, 뒤넓다리근, 장딴지근의 협력작용을 유발하기 때문에 다리근력 강화와 점프, 달리기 등 운동 수행력을 평가하는 간접적 지표로 사용된다(Clark 등, 2012). Tang 등(2001)은 PFPS 10명 대상으로 무릎관절 굽힘 60°와 90° 스쿼트 운동을 이용한 달힌사슬운동을 중재한 결과 무릎관절을 60° 굽힘한 스쿼트 운동이 90° 굽힘한 스쿼트 운동과 비교하여 안쪽빗넓은근과 가쪽넓은근의 근활성도 비율에서 유의한 차이를 보였다.

Ramazzina 등(2016)은 PFPS의 진단을 받은 운동선수 30명을 대상으로 그룹 별 무릎관절 굽힘 30°, 60°, 90° 스쿼트 운동을 8주 동안 주 3회 1회 3세트를 중재한 결과 무릎관절 굽힘 60° 스쿼트 운동 그룹이 대조군과 비교하여 넓다리네갈래근의 등속성 근력, 통증에서 유의한 차이를 보였다. 본 연구에서도 스쿼트를 이용한

달힌사슬운동을 적용하여 넓다리네갈래근의 근활성도를 향상을 시켰다. 또한 무릎관절을 60° 굽힘한 스쿼트 운동을 중재하여 선행연구와 동일한 결과를 보였으며, 스쿼트 운동은 PFPS의 다리 근력 강화 및 기능향상을 위해 효과적인 중재방법임을 확인하였다.

Hertel 등(2004)은 스쿼트와 같은 달힌사슬 운동은 다관절의 움직임을 유발하고, 엉덩관절 모음 시 큰모음근의 먼쪽 부분에서 기원되는 안쪽빗넓은근의 뺨침을 동반한다고 하였다. 이는 안쪽빗넓은근의 길이장력 특성에 변화를 일으켜 안쪽빗넓은근의 수축력이 증가된다고 하였다. 그러므로 PFPS의 기능 회복에 스쿼트와 같은 달힌사슬운동이 효과적인 중재 방법으로 생각된다.

Lin 등(2010)은 건강한 20대 여성 7명과 PFPS 진단을 받은 20대 여성 9명을 대상으로 안쪽빗넓은근과 가쪽넓은근의 근활성도 비율에 유의한 차이를 보였다. 건강한 성인은 1:1의 근활성비에 가깝지만 PFPS는 안쪽빗넓은근의 약화로 인해 근활성비가 낮게 나타났으며, 안쪽빗넓은근의 선택적 근력 강화가 필요하다고 보고하였다.

선택적 근력 강화를 위해 Glaviano 등(2020)은 PFPS 16명을 대상으로 안쪽빗넓은근에 신경근전기자극을 결합한 계단 내려오기 훈련과 거짓 신경근전기자극을 결합한 계단 내려오기 훈련을 4주 동안 중재한 결과 신경근전기자극을 결합한 계단 내려오기 훈련이 대조군과 비교하여 안쪽빗넓은근의 근활성도에 유의한 차이를 보이지 않았다.

선행연구와 비교하여 PFPS를 대상으로 선택적인 안쪽빗넓은근의 근력강화를 위해 중재를 시행한 연구목적은 일치하지만, 본 연구에서는 안쪽빗넓은근의 근활성도에 유의한 차이를 보여 선행연구와 상반되는 결과를 보였다. 선행연구 결과와 불일치한 이유는 안쪽빗넓은근의 근력 강화 시 선행연구는 신경근전기자극을 이용하였고 본 연구는 근전도-생체피드백을 이용하였다. Doucet 등(2012)은 저주파를 이용한 신경근전기자극은 동시성 탈분극을 유발하여 수의적 근수축과 비교하여 더 빠른 근피로를 유발한다고 하였다. 그 결과 선행연구에서는 안쪽빗넓은근의 근활성도가 유의한 차이를 보이지 않았고 본 연구에서는 유의한 차이를 나타낸 것으로 생각된다.

Ng 등(2008)은 PFPS 진단을 받은 26명을 일반적 운동치료를 시행한 대조군과 근전도-생체피드백+일반적 운동치료를 병행한 실험군을 선정한 후 8주 동안 주 3회, 1회 30분씩 중재한 결과 실험군이 대조군과 비교하여 안쪽빗넓은근과 가쪽넓은근의 근활성비에서 유의한 차이를 보였다.

또한, Dursun 등(2001)은 PFPS를 보이는 60명을 대상으로 근전도-생체피드백 훈련군 30명과 일반적 운동치

료군 30명을 비교한 결과 근전도-생체피막임 훈련군이 안쪽빗넓은근의 근활성에 유의한 차이를 보였다. 본 연구에도 근전도-생체피막임 기반 달힌사슬운동군이 스쿼트 운동을 이용한 달힌사슬운동군과 비교하여 안쪽빗넓은근의 %MVC와 안쪽빗넓은근과 가쪽넓은근의 근활성비에서 유의한 차이를 보여 선행연구 동일한 결과를 보였다. 선행연구와 동일한 결과를 보인 것은 선택적 근력 강화에 있어 근전도-생체피막임의 효과성을 뒷받침하고 있으며, 근전도-생체피막임 기반 달힌사슬운동은 근육의 수축 시 운동단위 동원에 대한 시·청각적 피막임의 제공으로 운동학습과 운동조절이 향상되어(Holtermann 등, 2010) 선택적인 안쪽빗넓은근의 근력 강화에 효과적일 것으로 생각된다.

Citaker 등(2011)은 PFPS는 엉덩관절과 무릎관절 주변 근육의 약화와 넙다리 모음 및 안쪽 돌림의 증가로 관절의 제어가 결여되고, 이마면과 시상면의 과도한 움직임으로 인해 자세 불안정성이 증가되어 균형능력이 감소된다. de Moura 등(2016)은 PFPS 진단을 받은 20대 여성 25명과 건강한 20대 여성 25명을 대상으로 무릎관절 펌근, 엉덩관절 펌근, 엉덩관절 별림근과 가쪽돌림근의 근력과 동적 균형능력을 비교한 결과 다리 근력과 앞쪽, 가쪽 동적균형에 유의한 차이를 보였다.

본 연구에서도 근전도-생체피막임 기반 달힌사슬운동군과 스쿼트를 이용한 달힌사슬운동군이 안쪽빗넓은근의 활성도가 증가되어 앞쪽, 뒤가쪽 방향에 대한 동적균형능력이 향상되는 동일한 결과를 보였다. Negahban 등(2013)은 PFPS의 앞쪽과 가쪽방향에 대한 동적 균형능력 감소는 무릎관절 펌근의 피로도도와 높은 상관관계가 있으며, 무릎관절 펌근의 피로도 증가는 무릎관절의 박급이 스트레스를 증가시켜 이마면과 시상면에 대한 균형능력이 감소된다고 보고하였다.

또한, Barton 등(2011)은 안쪽빗넓은근의 약화는 Q-각의 증가와 무릎뼈 가쪽당김을 유발하여 발목관절의 과도한 옆침을 야기시키고 한발서기를 하는 동안안가쪽에 대한 안정성을 감소시킨다고 보고하였다. 본 연구에서는 근전도-생체피막임 기반 달힌사슬운동을 중재하여 안쪽빗넓은근의 근활성도를 증가시켰고 이로인해 동적 균형능력이 향상된 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점은 연구대상자의 수가 많지 않고 특정 지역에서 대상자를 선정하여 연구결과를 일반화하는데 어려움이 있었다. 향후 본 연구를 기반으로 스쿼트 이외에 다른 달힌사슬운동 자세를 이용한 근전도-생체피막임을 중재하여 PFPS의 기능 향상에 효과적인 자세를 알아보는 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## V. 결론

본 연구는 PFPS 30명을 대상으로 근전도-생체피막임 기반 달힌사슬운동을 중재하여 넙다리네갈래근 근활성도와 동적 균형능력에 미치는 영향을 알아본 연구이다. 근전도-생체피막임 기반 달힌사슬운동과 달힌사슬운동을 적용하여 그룹 간 넙다리네갈래근 근활성도를 비교한 결과는 다음과 같다.

1. 안쪽빗넓은근의 %MVC와 안쪽빗넓은근/가쪽넓은근의 근활성비에서 유의한 차이를 보였다.
2. 그룹 간 동적 균형능력을 비교한 결과 앞쪽, 뒤가쪽방향의 동적 균형능력은 유의한 차이를 보였지만, 뒤안쪽 방향의 동적 균형능력은 유의한 차이를 보이지 않았다.

본 연구결과를 바탕으로 선택적 근력 강화 및 동적 균형능력 향상을 위해 근전도-생체피막임을 이용한 달힌사슬운동을 중재할 것을 제안하며, 스쿼트, 런지 등 다양한 달힌사슬운동에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## 참고문헌

- Alba-Martín P, Gallego-Izquierdo T, Plaza-Manzano G, et al. Effectiveness of therapeutic physical exercise in the treatment of patellofemoral pain syndrome: A systematic review. *J Phys Ther Sci.* 2015;27(7):2387-2390. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.2387>
- Almeida GP, Silva AP, França FJ, et al. Q-angle in patellofemoral pain: Relationship with dynamic knee valgus, hip abductor torque, pain and function. *Rev Bras Ortop.* 2016;51(2):181-186. <https://doi.org/10.1016/j.rboe.2016.01.010>
- Alonazi A, Hasan S, Anwer S, et al. Efficacy of electromyographic-biofeedback supplementation training with patellar taping on quadriceps strengthening in patellofemoral pain syndrome among young adult male athletes. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(9):4514. <https://doi.org/10.3390/ijerph18094514>

i.org/10.3390/ijerph18094514

Apivatgaroon A, Anghong C, Sanguanjit P, et al. The validity and reliability of the Thai version of the Kujala score for patients with patellofemoral pain syndrome. *Disabil Rehabil.* 2016;38(21):2161-2164. <https://doi.org/10.3109/09638288.2015.1114035>

Barton CJ, Levinger P, Crossley KM, et al. Relationships between the foot posture index and foot kinematics during gait in individuals with and without patellofemoral pain syndrome. *J Foot Ankle Res.* 2011;4:10. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-4-10>

Bloomquist K, Langberg H, Karlsen S, et al. Effect of range of motion in heavy load squatting on muscle and tendon adaptation. *Eur Appl Physiol.* 2013;113(8):2133-2142. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2642-7>

Boling M, Padua D, Marshall S, et al. Gender differences in the incidence and prevalence of patellofemoral pain syndrome. *Scand J Med Sci Sports.* 2010;20(5):725-730. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.00996.x>

Chang WD, Chen FC, Lee CL, et al. Effects of kinesio taping versus McConnell taping for patellofemoral pain syndrome: A systematic review and meta-analysis. *Evid Based Complement Alternat Med.* 2015;471208. <https://doi.org/10.1155/2015/471208>

Chen S, Chang WD, Wu JY, et al. Electromyographic analysis of hip and knee muscles during specific exercise movements in females with patellofemoral pain syndrome: an observational study. *Medicine.* 2018;97(28):e11424. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000011424>

Clark DR, Lambert MI, Hunter AM. Muscle activation in the loaded free barbell squat: A brief review. *J Strength Cond Res.* 2012;26(4):1169-1178. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31822d533d>

Citaker S, Kaya D, Yuksel I, et al. Static balance in patients with patellofemoral pain syndrome. *Sports Health.* 2011;3(6):524-527. <https://doi.org/10.1177/1941738111420803>

Criado L, de La Fuente A, Heredia M, et al. Electromyographic biofeedback training for reducing muscle pain and tension on masseter and temporal muscles: A pilot study. *J Clin Exp Dent.* 2016;8(5):571-576. <https://doi.org/10.4317/jced.52867>

Crossley KM, Stefanik JJ, Selfe J, et al. 2016 patellofemoral pain consensus statement from the 4th International Patellofemoral Pain Research Retreat, Manchester. Part 1: Terminology, definitions, clinical examination, natural history, patellofemoral osteoarthritis and patient-reported outcome measures. *Br J Sports Med.* 2016;50(14):839-843. <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2016-096384>

Doucet BM, Lam A, Griffin L. Neuromuscular electrical stimulation for skeletal muscle function. *Yale J Biol Med.* 2012;85(2):201-215.

Dursun N, Dursun E, Kiliç Z. Electromyographic biofeedback-controlled exercise versus conservative care for patellofemoral pain syndrome. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001;82(12):1692-1695. <https://doi.org/10.1053/apmr.2001.26253>

Dutton RA, Khadavi MJ, Fredericson M. Patellofemoral pain. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2016;27(1):31-52. <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2015.08.002>

Emamvirdi M, Letafatkar A, Khaleghi-Tazji M. The effect of valgus control instruction exercise on pain, strength, and functionality in active females with patellofemoral pain syndrome. *Sports Health.* 2019;11(3):223-237. <https://doi.org/10.1177/1941738119837622>

Erdoganoglu Y, Pepe M, Kaya D, et al. Lower extremity alignment due to patellofemoral syndrome and dynamic postural balance. *J*



- Orthop Surg. 2020;28(1):2309499019900819.  
<https://doi.org/10.1177/2309499019900819>
- Felicio LR, de Carvalho CAM, Dias CLCA, et al. Electromyographic activity of the quadriceps and gluteus medius muscles during/different straight leg raise and squat exercises in women with patellofemoral pain syndrome. *J Electromyogr Kinesiol.* 2019;48:17-23. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2019.05.017>
- Gaitonde DY, Ericksen A, Robbins RC. Patellofemoral pain syndrome. *Am Fam Physician.* 2019;99(2):88-94. PMID: 30633480
- Glaviano NR, Kew M, Hart JM, et al. Demographic and epidemiological trends in patellofemoral pain. *Int J Sports Phys Ther.* 2015;10(3):281-290. PMID: PMC4458915
- Glaviano NR, Marshall AN, Mangum LC, et al. Improvements in lower extremity function following a rehabilitation program with patterned electrical neuromuscular stimulation in females with patellofemoral pain: A randomized controlled trial. *J Sport Rehabil.* 2020;29(8):1075-1085. <https://doi.org/10.1123/jsr.2019-0278>
- Heijden RA, Lankhorst NE, Linschoten R, et al. Exercise for treating patellofemoral pain syndrome. *Cochrane Database Syst Rev.* 2015;21:CD010387. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010387.pub2>
- Hertel J, Earl JE, Tsang KK, et al. Combining isometric knee extension exercises with hip adduction or abduction does not increase quadriceps EMG activity. *Br J Sports Med.* 2004;38(2):210-213 <http://dx.doi.org/10.1136/bjism.2002.003277>
- Holtermann A, Mork PJ, Andersen LL, et al. The use of EMG biofeedback for learning of selective activation of intra-muscular parts within the serratus anterior muscle: A novel approach for rehabilitation of scapular muscle imbalance. *J Electromyogr Kinesiol.* 2010;20(2):359-365 <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2009.02.009>
- Jaberzadeh S, Yeo D, Zoghi M. The Effect of altering knee position and squat depth on VMO: VL EMG ratio during squat Exercises. *Physiother Res Int.* 2016;21(3):164-173. <https://doi.org/10.1002/pri.1631>
- Jayaseelan DJ, Holshouser C, McMurray MW. Functional joint mobilizations for patellofemoral pain: A clinical suggestion. *Int J Sports Phys Ther.* 2020;15(4):643-649.
- Kim JH. The effects of training using EMG biofeedback on stroke patients upper extremity functions. *J Phys Ther Sci.* 2017;29(6):1085-1088. <https://doi.org/10.1589/jpts.29.1085>
- Kim DY, Kim SH, Lim YE, et al. Effect of EMG biofeedback training and taping on vastus medialis oblique for functional improvement of patient with patella malalignment. *J Kor Phys Ther.* 2008;20(3):35-44.
- Kuru T, Yalman A, Dereli EE. Comparison of efficiency of Kinesio taping and electrical stimulation in patients with patellofemoral pain syndrome. *Acta Orthop Traumatol Turc.* 2012;46(5):385-392. <https://doi.org/10.3944/AOTT.2012.2682>
- Negahban H, Etemadi M, Naghibi S, et al. The effects of muscle fatigue on dynamic standing balance in people with and without patellofemoral pain syndrome. *Gait Posture.* 2013;37(3):336-339. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.07.025>
- Ng GY, Zhang AQ, Li CK. Biofeedback exercise improved the EMG activity ratio of the medial and lateral vasti muscles in subjects with patellofemoral pain syndrome. *J Electromyogr Kinesiol.* 2008;18(1):128-133. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2006.08.010>
- Saltychev M, Dutton RA, Laimi K, et al. Effectiveness of conservative treatment for patellofemoral pain syndrome: A systematic

Kang, et al. Effects of EMG-Biofeedback based Closed Kinetic Chain Exercise on Quadriceps Muscle Activity and Dynamic Balance in Patellofemoral Pain Syndrome

review and meta-analysis. *J Rehabil Med.* 2018;50(5):393-401. <https://doi.org/10.2340/16501977-2295>

Sherman SL, Plackis AC, Nuelle CW. Patellofemoral anatomy and biomechanics. *Clin Sports Med.* 2014;33(3):389-401. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2014.03.008>

Singh GK, Srivastava S. Preferential strengthening of VMO muscle during selected biomechanical rehabilitative exercises of automotive workers with patellofemoral pain syndrome. *Work.* 2018;60(1):135-141. <https://doi.org/10.3233/WOR-182723>

Tang SF, Chen CK, Hsu R, et al. Vastus medialis obliquus and vastus lateralis activity in open and closed kinetic chain exercises in patients with patellofemoral pain syndrome: An electromyographic study. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001;82(10):1441-1445. <https://doi.org/10.1053/apmr.2001.26252>

Ummels PE, Lenssen AF, Barendrecht M, et al. Reliability of the dutch translation of the Kujala patellofemoral score questionnaire. *Physiother Res Int.* 2017;22(1). <https://doi.org/10.1002/pri.1649>

Yip SL, Ng GY. Biofeedback supplementation to physiotherapy exercise programme for rehabilitation of patellofemoral pain syndrome: A randomized controlled pilot study. *Clin Rehabil.* 2006;20(12):1050-1057. <https://doi.org/10.1177/0269215506071259>

Yoo JW, Lee DR, Cha YJ, et al. Augmented effects of EMG biofeedback interfaced with virtual reality on neuromuscular control and movement coordination during reaching in children with cerebral palsy. *NeuroRehabilitation.* 2017;40(2):175-185. <https://doi.org/10.3233/NRE-161402>

Yosmaoglu HB, Kaya D, Guney H, et al. Is there relationship between tracking ability, joint position sense, and functional level in patellofemoral pain syndrome? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21(11):2564-2571. <https://doi.org/10.1007/s00167-013-2406-2>

논문접수일(Date received) : 2021년 11월 30일  
논문수정일(Date revised) : 2021년 12월 17일  
논문게재확정일(Date accepted) : 2021년 12월 27일