

Comparison of Lower Extremity Muscle Activity According to Ankle Angle during Sling Bridge Exercise in Patients with Patellofemoral Pain Syndrome

Jonghoon An^a, Jihye Jung^b, Jinhyung Choi^a, and Seungwon Lee^{c*}

^aDepartment of Physical Therapy, Graduate School of Sahmyook University

^bInstitute of SMART Rehabilitation, Sahmyook University

^cDepartment of Physical Therapy, College of Health and Welfare, Sahmyook University

Objective: This study attempted to compare the effects of bridge exercise using a sling according to the angle of the ankle to confirm the effective lower extremity muscle activation posture of patients with patellofemoral pain syndrome(PFPS).

Design: Cross-sectional study

Methods: Seventeen patients with PFPS were recruited and the muscle activities of the vastus medialis, vastus lateralis, rectus femoris, and gluteus maximus were measured according to the ankle position (dorsiflexion, neutral, plantar flexion). After measuring the maximum number of isometric contractions of vastus medialis, vastus lateralis, rectus femoris, and gluteus maximus, bridging exercise using a sling according to each ankle posture was applied to measure lower extremity muscle activity. The evaluation was performed 3 times for 10 seconds. The three ankle postures were randomly performed and the average values were compared.

Results: As a result of this study, the vastus medialis muscle showed high muscle activity in the order of dorsiflexion, plantar flexion, and neutral position bridge exercise ($p < 0.05$). And the vastus lateralis showed high muscle activity in the order of dorsiflexion, neutral, and plantar flexion ($p < 0.05$). However, rectus femoris and gluteus maximus did not show significant muscle activity according to the ankle posture, but muscle activity was highest in the dorsiflexion posture.

Conclusions: As a result of this study, muscle activity was high in the order of vastus medialis and vastus lateralis during ankle dorsiflexion. This is thought to be a major factor that can be applied in various ways in clinical practice according to the ankle angle when treating PFPS patients.

Key Words: Sling exercise, Patellofemoral pain syndrome, Bridge exercise, Electromyography

서론

슬개대퇴 통증 증후군(patellofemoral pain syndrome, PFPS)은 주로 8세부터 35세 사이에 호발하며, 운동선수에게 빈번하며, 남성보다 여성에게서 2배이상 높은 발생률을 보인다[1, 2]. PFPS는 여러 병리학적 소견 없이 무릎뼈의 전방 또는 후방에서 통증이 나타나는 것으로 지속적인 앉기(sitting), 무릎 꿇기(kneeling), 계단 오르내리기와 쪼그려 앉기 등이 통증을 유발하는 요인으로 작

용한다[3]. 또한 PFPS는 안쪽넓은근(vastus medialis, VM)과 가쪽넓은근(vastus lateralis, VL)의 불균형으로 무릎뼈의 불안정성을 유발하고[2], Q-각(quadiceps angle)의 증가와 비정상적인 무릎뼈 정렬, 그리고 과도한 발의 옆침과 정강이뼈의 과도한 외부 비틀림과 같은 생체역학적 변화를 가져올 수 있다[4].

넙다리네갈래근 중 VM과 VL은 무릎뼈 안정화에 중요한 역할을 담당하지만 해당 근육 약화는 PFPS 환자의 무릎관절 기능을 더욱 악화시키게 된다. VM과 VL

Received: Mar 17, 2023 Revised: Mar 29, 2023 Accepted: Mar 30, 2023

Corresponding author: Seungwon Lee (ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0413-0510>)
Dept. of Physical Therapy, Sahmyook University, 815 Hwarang-ro, Nowon-gu, Seoul [01795]
Tel: +82-2-3399-1630 Fax: +82-2-3399-1639 E-mail: swlee@syu.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © 2023 Korean Academy of Physical Therapy Rehabilitation Science

근육의 이상적인 비율은 1:1이나 대부분의 PFPS 경우에는 근전도 검사결과 근 활성도 비대칭으로 나타나 근 활성이 약화됨을 확인할 수 있다[4]. 이런 문제를 해결하기 위해 근력강화운동[5, 6], 전기치료[7], 테이핑 기법[8] 등을 적용할 수 있다. 근력강화 운동 중 등척성(isometric) 운동은 관절을 무리하게 움직이지 않아 관절 부담이 적고 환자에게 쉽게 근력 향상을 할 수 있어서 많이 사용되는 방법이다[9]. 또한 PFPS 환자의 넵다리네갈래근 등척성 운동은 보행, 일상생활 동작 및 기능 훈련의 향상과 통증 감소, 근 위축 감소를 위한 목적으로 초기 재활에서 실시해야 할 중요한 운동 치료 중 하나이다[10]. 하지 근력운동 시 발목 관절의 자세가 무릎관절의 역학적인 안정성에 매우 밀접한 영향을 미치며, PFPS 환자는 발목의 위치에 따라 넵다리네갈래근의 활성도가 달라진다고 하였다[11].

일반적으로 많이 적용하는 교각 운동(bridge exercise)은 몸통과 하지근력향상, 하지 근력향상 및 근육 협응패턴을 향상시키는 보편적인 닫힌 사슬운동으로[12] 운동 효과를 증가시키기 위해서 불안정한 지지면에서 적용하거나[13] 자세를 변화시켜 수행할 수 있다[14]. 불안정한 지지면은 근 활성도를 증가시키고 근육의 안정성과 균형 능력에 영향을 준다[15]. 슬링은 안정화 근육의 근 활성도를 증가시키고 축의 변화를 이용하여 불안정한 지지면을 제공한다[16]. 그리고 관절의 이동성, 스트레칭, 근지구력과 몸을 안정화를 시키고 고유수용성감각을 효과적으로 자극한다[17]. 특히 능동적 참여를 전제로 하는 슬링 운동은 수동적인 방법보다 신경근 조절에 매우 효과적이며, 관절의 부담 없이 높은 수준의 신경근 자극을 사용하여 정상 기능을 회복 할 수 있다[18]. 따라서 슬링을 이용한 교각 운동은 하지 근육의 근 활성도를 증가시킬 수 있을 것이다.

하지 근 활성도에 대한 연구들 중 대부분 발목 위치에 따른 근활성에 대한 연구가 많다[11, 19-21]. 하지만 PFPS 환자를 슬링 교각 운동시 발목 자세에 따른 안쪽넓은근, 가쪽넓은근, 넵다리곧은근, 큰볼기근의 활성도를 가장 효과적으로 증가시키고 최적화할 것인지를 규명한 연구결과는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 전통적인 교각운동과 달리 무릎 펴 근 활성도를 높이기 위해 무릎 펴 상태에서 슬링의 스트랩에 종아리를 올려 불안정한 지지면을 제공하고 발목 자세 변화에 따라 슬개대퇴 통증 증후군 환자의 하지 근육 활성도에 미치는 영향을 규명하고자 하였다.

연구 방법

연구 대상

본 연구는 경기도 안산시에 위치한 3곳의 1차의료기관에 무릎통증을 호소하여 진료를 본 환자 대상으로 진행하였으며, 물리치료실 구두홍보와 병원 내 게시판 홍보를 통하여 PFPS 대상자를 모집을 하였다. 참가의사를 밝힌 PFPS 환자 중 본 연구에 대한 충분한 목적과 진행 방법을 듣고 자발적으로 연구 참여 의사를 표명한 20명의 환자를 대상으로 진행하였다. 선정조건은 의사의 진찰 및 문진 후 방사선 검사와 이학적 검사를 통해 PFPS를 진단받은 자, 쪼그려 앉기, 무릎 꿇기, 달리기, 계단 보행, 의자에 30분 동안 앉아 있기 중 2개 이상 조건에서 무릎 앞쪽 통증이 있는 자[22], 하지관절구축이 없는 자로 하였다. 그리고 지난 1년 이내 허리뼈, 엉덩관절, 하지 손상이 있었던 환자나 신경학적, 근골격계 또는 심폐질환이 있는 환자, 외과적 수술을 받은 경험이 있는 자, 그리고 교각 운동시 허리뼈나 엉덩관절에 통증이 있는 환자들은 제외하였다[23].

연구 절차

본 연구는 단면적 연구설계(cross-sectional study)로 PFPS 진단을 받고 자발적인 참여 의사를 밝힌 대상자 중 선정기준과 제외기준에 따라 대상자를 선정하였다. 대상자는 먼저 교각운동 시 근 활성도의 객관성 비교를 위해 본 실험에 앞서 앉거나 누운자세에서 최대 수의적 등척성 수축(maximal voluntary isometric contraction, MVIC)을 측정하였다. 측정을 위하여 전극 부착부위에 알코올 솜을 이용하여 털과 각질을 제거하고 피부를 청결하게 하였다. 넵다리곧은근(rectus femoris, RF), 안쪽넓은근, 가쪽넓은근의 MVIC를 측정하기 위해 발이 닿지 않는 높이의 테이블에 걸터앉게 하였다. 측정자는 대상자에게 무릎 관절을 90도 굽힘으로 유지하여 시작 자세를 취하도록 지시한 후, 대상자가 무릎관절을 최대의 힘으로 펴는 동작을 시도하는 동안 측정자는 발목 관절 위쪽에 저항을 주어 최대 수의적 등척성 수축이 일어나도록 하였다[24]. 큰볼기근(gluteus maximus, GM)은 엎드린 자세에서 다리를 약간 바깥 돌림하여 측정자가 대상자의 발목 관절 위쪽을 잡고 아래로 저항을 가할 때 대상자가 최대의 힘으로 엉덩관절을 펴 할 때의 근전도 신호를 측정하였다[25]. 발목각도에 따른 슬링을 이용한 교각 운동 시 발목을 발등 굽힘, 중립, 발바닥 굽힘 3가지 자세로 정하였으며 운동의 순서는 종이 뽑기를 통해 무작위로 하였다. 교각 운동은 총 3회 실시하였으며 10초 유지, 15초 휴식을 취했고 동작이 바뀔 때마다

2분 휴식하였다. 운동을 수행하는 동안 VM, VL, RF, GM의 근활성도를 측정하고 분석 소프트웨어(Myoresearch XP Master 1.07, Noraxon, U.S.A, 2011)를 이용해 자료를 분석하였다.

연구대상자 수 선정을 위해 중간 효과크기인 Cohen's f 값을 0.3으로, α 값을 0.05로, 그리고 $1-\beta$ 값을 0.8로 설정하여 총 20명의 대상자를 대상으로 연구를 진행하였습니다. 본 연구는 삼육대학교 기관 심사위원회(승인 2-7001793-AB-N-012019034HR)의 승인을 받았고 승인된 동의서에 서명함으로써 정보에 입각한 동의를 얻었다. 따라서 헬싱키 선언의 윤리적 원칙에 따라 피험자의 권리가 보호되었다.

중재 방법

모집된 20명 중 선정기준에 적합하는 총 18명을 대상으로 발목 위치에 따른 슬링 교각운동에서 발목의 위치에 따라 하지 근육을 근활성도를 측정하였다. 실험을 진행하던 도중 심한 근 경련으로 포기 의사를 밝힌 대상 1명이 탈락하여 총 17명을 대상으로 진행하였다. 모든 대상자는 10년 이상의 경력을 가진 물리치료사에게 실험 동작에 대한 설명을 듣고 자세의 일관성을 위해 5분간 자세 교육 및 유의사항에 관한 설명을 듣고 시행하였다.

슬링 교각운동 자세를 위해 대상자에게 바로 누운 자세에서 등과 팔을 바닥에 붙이고 천장을 바라보도록 지시하였다. 그리고 양손을 바닥에 붙인 채 어깨관절을 30° 벌리고 슬링 스트랩에 무릎을 편 상태로 종아리의 가장 두꺼운 부위를 올리도록 하였다. 스트랩의 높이는 대상자의 무릎을 구부렸을 때의 높이로 설정하였고[26, 27] 종아리 부분의 스트랩을 누른 채 엉덩이를 들어올려 엉덩관절과 무릎관절이 0°를 만들도록 지시하였다. 슬링 교각운동 자세에서 발등 굽힘(ankle dorsiflexion), 발목 중립(neutral), 발바닥 굽힘(ankle plantarflexion)에서 각 10초간 유지 후 15초 휴식, 3회 반복을 진행하였다(Figure 1). 각 세 동작은 무작위 순서로 진행하였고 동작이 바뀔 때마다 2분 휴식을 취하였다.

측정방법 및 도구

근육의 근활성도를 측정하기 위해 표면 근전도(Mini Wave Infinity Waterproof, Cometa System, Italy, 2017)를 사용하였다. 전극을 부착하기 전 피부 저항을 최소화하기 위해 털을 면도기로 제거한 후 피부의 각질을 사포로 부드럽게 밀고 알코올 솜으로 문질러 피부를 청결하게 하였다. 표면 근전도 신호는 아날로그에서 디지털로 변환되었으며 소프트웨어(Myoresearch XP Master 1.07, Noraxon, U.S.A, 2011)를 사용하여 분석하였다. 표본 추출율은 1000 Hz로 하였으며 근전도 원 자료(raw data)는 디지털 밴드패스 필터(digital band-pass filter, Lancosh FIR)를 20~450 Hz 범위로 필터링하였다.

근전도 값의 정규화를 위해서 최대 수의적 등척성 수축을 실시하여 근 활성도를 측정하였다. 최대 수의적 등척성 수축 측정은 각 자세에서 5초간 3회 반복 실시하였고 VM, VL, RF, GM의 근전도 신호량을 100% MVIC로 정하여 사용하였으며 모든 결과의 값은 최대 수의적 등척성 수축으로 측정하였다.

자료 분석

본 연구의 모든 작업과 통계는 PASW version 18.0 (SPSS Inc., Chicago, U.S.A)을 이용하여 평균과 표준편차를 산출하였다. 모든 변수는 Kolmogorov-Smirnov 정규성 검증을 하였으며, 대상자의 일반적 특성은 기술통계를 사용하였고, 집단 간 3가지 운동의 차이를 알아보기 위해 일원배치 분산분석(one-way repeated measure)을 실시하였다. 사후검정에서 제 1종 오류가 커지는 것을 방지하기 위해 Bonferroni 조정하였고 유의 수준은 0.017로 하였다. 세 가지 조건에서 남성과 여성의 근 활성도를 비교하기 위해 이원배치 분산분석(two-way repeated measure)을 실시하였고 유의 수준은 0.05로 하였다. VM과 VL의 근 활성도 비를 비교하기 위해 윌콕슨 부호 순위 검정(wilcoxon signed rank test)을 실시하였다.

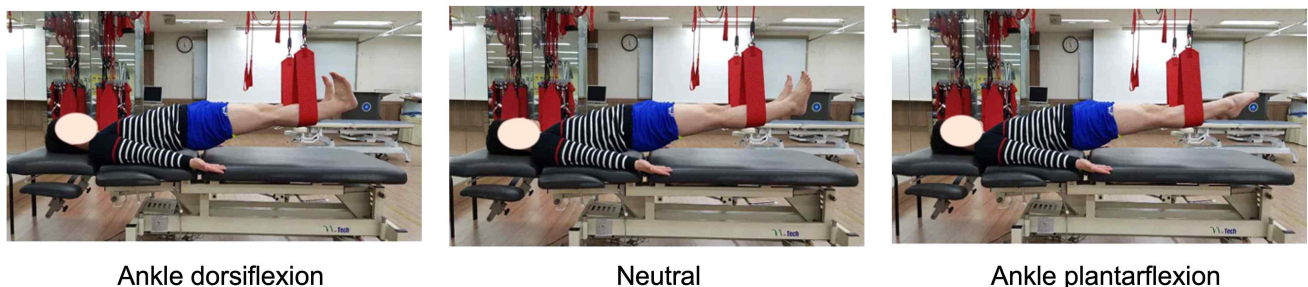


Figure 1. Bridge exercise with sling according to ankle posture.

연구 결과

대상자의 일반적 특성은 Table 1에 기술하였다. 슬링 교각운동 시 세가지 발목위치에 따른 하지 근육의 근활성을 비교했을 때 VM과 VL에는 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). VM은 발등 굽힘, 발바닥 굽힘, 중립 순으로 유의하게 높은 근활성도 차이가 있었으며($p < 0.05$), VL은 발등 굽힘 굴곡, 중립, 발바닥 굽힘 순으로 유의하게 높은 근활성도를 나타냈다($p < 0.05$)(Table 2).

VM과 VL의 근활성도 비는 발목 중립에서는 유의한 차이를 보였지만($p < 0.05$) 발목 발등 굽힘과 발바닥 굽힘에서 유의한 차이가 없었다(Table 3).

남자와 여자의 근활성도를 비교한 결과 VM, VL, RF, GM에서는 유의한 차이가 있었지만($p < 0.05$) 성별에 따른 남자와 여자 사이의 근활성도는 유의한 차이는 없었다(Table 4).

고찰

본 연구는 슬링 교각 운동(bridge exercise using sling)에서 발목의 위치 변화가 슬개 대퇴 통증 증후군(patellofemoral pain syndrome, PFPS) 환자의 하지 근육 근활성도에 미치는 영향에 대해 알아보려고 하였다.

본 연구 결과 세 가지 발목자세에 따라 VM과 VL의

Table 1. General Characteristics of Participants

(n=17)

Characteristics	male	female
Sex	9	8
Age (years)	32.2 (3.6)	30.4 (4.7)
Height (cm)	174.3 (3.4)	164.4 (5.4)
Weight (kg)	76.8 (7.4)	52.9 (5.7)
BMI (kg/m ²)	25.3 (2.2)	20.3 (1.1)

The values are presented mean (SD).

BMI: body mass index

Table 2. Muscle activity according to ankle position in bridge exercise with sling

	dorsiflexion	neutral	plantar flexion	F(p)
VM	50.42 (10.38) ^a	36.18 (13.60)	37.54 (14.20) ^a	6.324 (0.004)*
VL	54.68 (12.92)	42.73 (12.46)	42.24 (13.16)	5.114 (0.010)*
RF	25.36 (10.23)	18.90 (10.31)	19.11 (11.30)	2.031 (0.142)
GM	19.48 (8.57)	14.65 (6.46)	14.25 (5.97)	2.868 (0.067)

The values are presented mean(SD).

a: Adjustment by multiple comparisons: Bonferroni test

VM: vastus medialis, VL: vastus lateralis, RF: rectus femoris, GM: gluteus maximus

*presents the $p < 0.05$.

Table 3. Muscle activity ratio of VM and VL

	VM/VL ratio (%)	p
Ankle dorsiflexion	0.97 (0.37)	0.102
Ankle neutral	0.88 (0.44)	0.028
Ankle plantarflexion	0.92 (0.42)	0.076

The values are presented mean(SD).

VM: vastus medialis, VL: vastus lateralis

*presents the $p < 0.05$.

Table 4. The ratio of muscle activity of male and female

	VM		VL		RF		GM		F (muscle p *sex)	
	Male (n=9)	Female (n=8)	Male (n=9)	Female (n=8)	Male (n=9)	Female (n=8)	Male (n=9)	Female (n=8)		
Ankle dorsiflexion	48.21 (9.64)	52.92 (11.25)	57.63 (12.95)	51.38 (12.89)	24.25 (11.61)	26.62 (9.04)	19.89 (9.24)	19.02 (8.35)	0.923	0.35
Neutral	30.85 (11.14)	42.17 (14.26)	44.15 (14.79)	41.15 (9.98)	16.52 (10.87)	21.58 (9.62)	13.01 (7.04)	16.49 (5.61)	2.049	0.17
Ankle plantarflexion	34.29 (14.35)	41.20 (14.35)	43.26 (15.30)	41.09 (11.19)	14.43 (7.54)	24.37 (12.92)	12.13 (5.83)	16.63 (5.52)	1.512	0.236

The values are presented mean(SD).

VM: vastus medialis, VL: vastus lateralis, RF: rectus femoris, GM: gluteus maximus

*presents the $p < 0.05$.

근활성도는 유의한 차이를 보였으며($p < 0.05$) VM과 VL 모두 발등 굽힘에서 가장 큰 근활성도를 확인 할 수 있었다. GM과 RF는 발목 자세에 따른 유의한 차이는 없었지만 마찬가지로 발등 굽힘에서 근 활성도가 가장 높았다. 이러한 발목 움직임이 넙다리근 활성도에 영향을 주는 결과는 많은 선행연구에서도 확인 할 수 있다 [28, 29]. 정상 성인남성에게 발목 발등 굽힘 여부에 따른 다리 들어올리기(straight leg raise) 검사 시 발등 굽힘을 했을 때 넙다리내갈래근의 최대 등척성 힘이 나타나는 것을 확인할 수 있었으며[29] 이러한 결과는 근육의 동시수축과 신경생리학적으로 고유수용성 촉진 패턴으로 설명할 수 있다.

또한 슬링을 이용하여 PFPS 환자에게 넙다리내갈래근 운동을 했을 때 지면에 두고 하는 경우 보다 평균 %MVIC가 유의하게 증가함을 확인할 수 있었다[4]. 이처럼 슬링은 불안정한 지지면으로 발목과 무릎 사이의 상호 작용을 유도하여 효과적인 근육 활성을 가능하게 하며[30] 고유 수용성을 증가시키고 관절이 부담 없는 범위에서 여러 가지 근육을 운동시킬 수 있다는 장점이 있다[31].

본 연구에서 남자와 여자 모두 발목 자세에 따른 근활성도를 비교한 결과 VM, VL, RF, GM에서 유의한 차이가 있었지만($p < 0.05$) 성별간 남자와 여자 간의 유의한 차이는 없었다. 이러한 결과를 바탕으로 슬링 교각운동은 PFPS 환자의 성별에 관계없이 운동을 시행 할 수 있을 것이라고 생각된다. 그리고 VM과 VL의 근활성도 비율은 통계적으로 발목의 중립 자세에서만 유의한 차이를 확인할 수 있었다($p < 0.05$). VM과 VL의 근활성비는 1에 가까울 수록 근육 사용 비율이 비슷하며 본 연구에서는 발등 굽힘 자세가 평균 0.97로 가장 높게

나왔다. 이러한 결과는 발목의 중립자세에서 교각운동을 진행하는 것 보다 발목 발등 굽힘에서 운동을 진행하면 VM과 VL의 근 활성 비를 1:1에 가깝게 유지할 수 있을 것으로 생각할 수 있다. PFPS 환자의 넙다리내갈래근 중에서도 VM과 VL의 대칭적인 수축은 무릎뼈의 안정성을 증가시킬 수 있을 것이다[32]. 따라서 슬링 교각운동 적용 시 발목관절 자세에 따라 VM과 VL의 효율적인 근 활성비를 위해 PFPS 환자 치료에 발목의 위치를 고려해야 할 것으로 생각된다.

슬링의 스트랩을 발목과 무릎관절 두 곳에 위치하여 교각운동을 적용한 연구에서 넙다리두갈래근, 넙다리곧은근, 척추세움근의 근활성도에 유의한 차이를 확인하였다[33]. 하지만 본 연구는 슬링 스트랩을 종아리 쪽에만 위치시켰기 때문에 대상자에 따라 단일 스트랩으로 인한 지지면의 불안정성 증가로 인해 엉덩관절의 안정성이 떨어진 경우도 있었을 것이라 사료된다. 이러한 점으로 인해 큰볼기근 근활성도의 유의한 차이가 없었던 것이라 판단된다.

PFPS 환자가 의자에 앉아 무릎을 편 상태로 등척성 운동 시 발목관절의 변화를 통해 근 활성도를 확인한 연구에서 넙다리곧은근의 근 활성도는 유의한 차이가 없었다[21]. 마찬가지로 본 연구에서도 넙다리곧은근의 유의한 차이는 나타나지 않았으며 특히, 무릎을 펴고 엉덩관절을 편 상태에서 슬링 교각운동을 하였기 때문에 근 활성도의 큰 차이가 없었을 것이라고 생각된다. 따라서 추후 실험에 넙다리곧은근의 근 활성도를 높이기 위한 연구 방법이 필요할 것으로 보인다.

본 연구의 제한점으로는 대상자 수가 적어 일반화의 어려움이 있을 것이라 생각되며 슬링의 스트랩을 종아리에만 걸어서 운동의 난이도가 높았었다고 생각된다.

추후 추가적인 연구에서는 슬링의 여러 가지 악세사리를 이용하고 환자에게 도움을 줄 수 있는 다양한 스트랩을 추가로 연결해 진행한다면 환자가 몸에 부담을 느끼지 않으면서 슬링 교각운동에 임할 수 있을 것이라고 사료된다.

결론

본 연구에서는 슬개 대퇴 통증 증후군 환자에게 슬링 교각 자세에서 발목의 위치 변화를 통해 안쪽넓은근, 가쪽넓은근, 넙다리곧은근, 큰볼기근의 근 활성도를 비교하였다. 대상 근육의 근 활성화 차이를 비교하였을 때 슬링 교각운동에서 3가지 발목 자세 중 안쪽넓은근과 가쪽넓은근 모두 발등 굽힘에서 높은 근 활성도를 보였다. 또한 남녀 성별에 따른 세가지 동작은 모두 유의한 차이가 없었으며 안쪽넓은근과 가쪽넓은근의 근활성도를 비교했을 때 발목관절 발등굽힘 자세가 1에 가까운 근활성도 비를 확인했다. 따라서 차후 슬개 대퇴 통증 증후군 환자들에게 넙다리네갈래근의 강화를 목표로 할 때 임상적으로 중요한 방향을 제시 할 수 있을 것으로 보인다.

이해 충돌

본 연구의 저자들은 연구, 저작권, 및 출판과 관련하여 잠재적인 이해충돌이 없음을 선언합니다.

참고문헌

1. Freddolini M, Placella G, Gervasi GL, Morello S, Cerulli G. Quadriceps muscles activity during gait: comparison between PFPS subjects and healthy control. *Musculoskelet Surg.* 2017;101:181-7.
2. Fagan V, Delahunt E. Patellofemoral pain syndrome: a review on the associated neuromuscular deficits and current treatment options. *Br J Sports Med.* 2008;42:789-95.
3. Yildiz Y, Aydin T, Sekir U, Cetin C, Ors F, Alp Kalyon T. Relation between isokinetic muscle strength and functional capacity in recreational athletes with chondromalacia patellae. *Br J Sports Med.* 2003;37:475-9.
4. Chang WD, Huang WS, Lee CL, Lin HY, Lai PT. Effects of open and closed kinetic chains of sling exercise therapy on the muscle activity of the vastus medialis oblique and vastus lateralis. *J Phys Ther Sci.* 2014;26:1363-6.
5. Nascimento LR, Teixeira-Salmela LF, Souza RB, Resende RA. Hip and Knee Strengthening Is More Effective Than Knee Strengthening Alone for Reducing Pain and Improving Activity in Individuals With Patellofemoral Pain: A Systematic Review With Meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2018;48:19-31.
6. van der Heijden RA, Lankhorst NE, van Linschoten R, Bierma-Zeinstra SM, van Middelkoop M. Exercise for treating patellofemoral pain syndrome. *Cochrane Database Syst Rev.* 2015;1:Cd010387.
7. Martimbianco ALC, Torloni MR, Andriolo BN, Porfirio GJ, Riera R. Neuromuscular electrical stimulation (NMES) for patellofemoral pain syndrome. *Cochrane Database Syst Rev.* 2017;12:Cd011289.
8. Logan CA, Bhashyam AR, Tisosky AJ, Haber DB, Jorgensen A, Roy A, et al. Systematic Review of the Effect of Taping Techniques on Patellofemoral Pain Syndrome. *Sports Health.* 2017;9:456-61.
9. Hwang YT, Hwang KO. The Effect of Isometric Exercise and Active Stretching on Joint Function in Patient with Osteoarthritis. *J Kor Phys Ther.* 2006;18:35-45.
10. Zappala FG, Taffel CB, Scuderi GR. Rehabilitation of patellofemoral joint disorders. *Orthop Clin North Am.* 1992;23:555-66.
11. Park SR, Lee MG, Choi SM. Comparison of electromyographic activity of quadriceps during Lunge according to ankle positions in ssireum players with patellofemoral pain syndrome. *ES.* 2010;19:219-30.
12. O'Sullivan SB, Schmitz TJ, Fulk G. *Physical rehabilitation: FA Davis;* 2019.
13. Kim MC, Huh J, Kim HI. Muscle Elasticity Changes in the Presence or Absence of Elastic Band Resistance During Bridge Exercise Using Gymball. *KSIM.* 2021;9:145-53.
14. Jeong ED, Chae CW, Yun HK, Woo KS, Kim DH, Kim SM. The Effects of Sling Bridging Exercise to Pain Scale and Trunk Muscle Activity in Low Back Pain Patients. *JAPTR.* 2013;4:523-31.
15. Kim TY. *Effects of the bridge exercises on the responses of the obliques internal, external, and quadratus lumborum muscles: Yong-in University;* 2004.
16. Maeo S, Chou T, Yamamoto M, Kanehisa H.

- Muscular activities during sling- and ground-based push-up exercise. *BMC Res Notes*. 2014;7:192.
17. Lee DH, Park JS, Lee SY. Effects of bridge exercise on trunk core muscle activity with respect to sling height and hip joint abduction and adduction. *J Phys Ther Sci* 2015;27:1997-9.
 18. Kirkesola G. Neurac-a new treatment method for long-term musculoskeletal pain. *Fysioterapeuten*. 2009;76:16-25.
 19. Miyachi R. Comparison of muscle activity based on ankle position during hip abduction. *Journal of AOMPT*. 2020;1:10-7.
 20. Lee H. The effects of ankle joint position on hip extensor muscle activity when bridging exercise in sagittal plane. Seoul: Sahmyook University; 2018.
 21. Han SW, Yoo YD, Cho HJ. The effect of ankle position on the electromyographic activity during isometric quadriceps exercise for patellofemoral pain syndrome. *Journal of Coaching Development*. 2006;8:261-8.
 22. Nijs J, Van Geel C, Van der auwera C, Van de Velde B. Diagnostic value of five clinical tests in patellofemoral pain syndrome. *Man Ther*. 2006;11:69-77.
 23. Kang SY, Choung SD, Jeon HS. Modifying the hip abduction angle during bridging exercise can facilitate gluteus maximus activity. *Man Ther*. 2016;22:211-5.
 24. Kwon O, Shin W-S. Effects of closed and open kinetic chain exercises on knee extensor strength and balance in patients with early stroke. *Journal of the Korean Society of Physical Medicine*. 2014;9:223-31.
 25. Conroy VM, Murray Jr BN, Alexopoulos QT, McCreary J. *Kendall's Muscles: Testing and Function with Posture and Pain*: Lippincott Williams & Wilkins; 2022.
 26. Kim KS, Shin HK. The effects of the sling strap height on trunk and hip muscle activation during the bridging exercise with sling. *J Kor Phys Ther*. 2016;28:59-63.
 27. Lee DH, Lee SY, Park JS, Han SK. The Effect of Height of Hip Joint Abduction-Adduction and Sling on Transverse Abdominis, Rectus Abdominis, and Erector Spinae Muscles Activities during Bridging Exercise with Sling. *J Kor Soi Neurotherapy*. 2016;20:23-6.
 28. Choi SA, Cynn HS, Yoon TL, Choi WJ, Lee JH. Effects of ankle dorsiflexion on vastus medialis oblique and vastus lateralis muscle activity during straight leg raise exercise with hip external rotation in patellofemoral pain syndrome. *J Musculoskelet Pain*. 2014;22:260-7.
 29. Mikaili S, Khademi-Kalantari K, Rezasoltani A, Arzani P, Baghban AA. Quadriceps force production during straight leg raising at different hip positions with and without concomitant ankle dorsiflexion. *J Bodyw Mov Ther*. 2018;22:904-8.
 30. Park J, Lee S, Hwangbo G. The effects of a bridge exercise with vibration training and an unstable base of support on lumbar stabilization. *J Phys Ther Sci* 2015;27:63-5.
 31. Kim SY, Kwon JH. Lumbar stabilization exercises using the sling system. *Kor Acad Ortho Man Phys Ther*. 2001;7:23-39.
 32. Neumann DA. *Kinesiology of the musculoskeletal system-e-book: foundations for rehabilitation*: Elsevier Health Sciences; 2016.
 33. Kim SB, Park Q. Effects of various bridge exercises using the sling on the core muscle activation. *A J Kinesiol*. 2016;18:63-9.