

Effects of EMG-Biofeedback Using Closed Kinetic Chain Exercise on Q-angle and Quadriceps Muscle Activation in Patellofemoral Pain Syndrome

Je-Ho Kim

Department of Physical Therapy, Graduate School, Sehan University

Purpose: The aim of this study was to determine the effects of electromyographic (EMG)-Biofeedback using closed kinetic chain exercise (EB-CKCE) on quadriceps angle (Q-angle) and quadriceps muscle activation and muscle activation ratio in subjects with patellofemoral pain syndrome and to provide fundamental information on rehabilitation exercise in patellofemoral pain syndrome.

Methods: Thirty participants who met the criteria were included. The subjects were randomly divided into three groups: control group (Group I, n = 10), semi-squat exercise group (Group II, n = 10), and EMG-Biofeedback using closed kinetic chain exercise group (Group III, n = 10). Intervention was provided to each group for eight weeks (three times per week; 30 minutes per day). Subjects were measured on Q-angle and quadriceps muscle activation.

Results: Significant difference in Q-angle and quadriceps muscle activation was observed in groups II and III compared with control group I ($p < 0.01$). Results of post-hoc analysis showed a significant difference in Q-angle and quadriceps muscle activation in on group III compared with groups I and II.

Conclusion: Findings of this study suggest that closed kinetic chain exercise using EMG-Biofeedback that provides real-time biofeedback information on muscle contraction may have a beneficial effect on improvement of Q-angle and quadriceps muscle activation in patellofemoral pain syndrome.

Keywords: Patellofemoral pain syndrome, Q-angle, Quadriceps muscle activation, EMG-Biofeedback

서론

무릎뺨다리통증증후군(patellofemoral pain syndrome, PFPS)은 무릎 통증의 가장 빈번한 형태로, 무릎뺨의 앞쪽 또는 뒤쪽에서 통증이 나타나고 지속적인 앉기, 계단 오르내리기, 무릎꿇기 등의 활동에서 통증이 악화되며 활동성이 많은 젊은 여성에게 유병률이 높다고 하였다.^{1,2} PFPS의 병태생리학적 원인은 명확하지는 않지만, 다리근육의 짧아짐과 다리근력의 불균형, 증가된 넙다리네갈래근 각(quadriceps angle, Q-각) 등에 의한 무릎관절의 과도한 스트레스는 무릎뺨의 비정상적인 움직임과 부정렬(Malalignment)을 유발한다.³ 그 중 안쪽뺨뺨근(vastus medialis oblique, VMO)의 약화는 무릎뺨의 가쪽당김을 야기하고 Q-각을 증가시켜 넙다리네갈래근과 무릎힘줄 사이에 벡터 합성에서 더 큰 가쪽활시위(lateral bowstringing) 힘을 생산하기

때문에 관절면에 대한 스트레스를 증가시킨다.^{4,5} Freedman 등⁶은 PFPS를 보이는 43명을 대상으로 Q-각과 무릎관절의 운동형상학적 변인의 상관관계연구에서 Q-각과 무릎뺨의 가쪽탈구는 양의 상관관계를 보였으며, 넙다리네갈래근 근력과는 음의 상관관계를 보였다. Miao 등⁷은 PFPS를 보이는 30명을 대상으로 가쪽뺨뺨근과 안쪽뺨뺨근의 근활성도의 비율(ratio)을 비교한 결과 건강한 성인은 약 1:1이지만 PFPS를 보이는 대상자는 가쪽뺨뺨근이 안쪽뺨뺨근과 비교하여 높게 활성화 되었다. PFPS는 가쪽뺨뺨근과 안쪽뺨뺨근 사이의 근활성도에 불균형에 의해 유발되기 때문에 무릎뺨의 정상적인 움직임과 올바른 정렬을 위해서는 안쪽뺨뺨근의 강화가 필요하다고 하였다.^{8,9}

PFPS의 치료를 위한 중재방법으로 넙다리네갈래근의 근력강화운동이 보편적으로 중재되고 있으며 운동수행의 행태는 열린 운동학

Received Mar 22, 2016 Revised Apr 8, 2016

Accepted Apr 14, 2016

Corresponding author Je-Ho Kim

E-mail albam20@naver.com

Copyright ©2016 The Korea Society of Physical Therapy

This is an Open Access article distribute 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.

적사슬 운동(open kinetic chain exercise, OKCE)과 닫힌 운동학적사슬 운동(close kinetic chain exercise, CKCE)으로 나누어진다.¹⁰ CKCE는 근육의 동원(recruitment) 시 동시-활성(co-activation)을 통하여 관절에 안정성을 제공하고 고유수용성 감각의 입력을 증가시키며, OKCE는 견인력과 회전력을 증가시키고 외적 부하를 통해 안정성을 제공하여 균형능력 및 보행능력을 향상시킨다.^{11,12} Irish 등¹³은 OKCE와 CKCE를 비교한 연구에서 CKCE에서는 가쪽넓은근에 대한 안쪽빗넓은근의 근활성 비율이 증가하였지만, OKCE에서는 안쪽빗넓은근의 근활성 비율의 증가를 보이지 않아 안쪽빗넓은근의 근력강화가 필요한 PFPS는 반응크리기(semi-squat) 운동과 같은 CKCE가 OKCE와 비교하여 더 효과적인 증재방법이라고 하였다.

근전도-생체피드백(EMG-Biofeedback, EB) 훈련은 움직임을 수행하는 동안 운동단위의 활동전위에 관한 정보를 제공함으로써 근육 뼈대계 질환 및 신경계 질환 등 다양한 질환의 재활훈련 과정에 이용되며, 통증감소와 근력 및 기능수행력을 향상시키는 데 효과적인 방법이다.¹⁴⁻¹⁶ Oravitan과 Avram¹⁷은 만월관 재건술 환자를 대상으로 근전도-생체피드백 훈련을 통한 가쪽넓은근과 안쪽넓은근의 선택적 근력강화로 근력과 기능수행력 평가에서 유의한 향상을 보였고, Kim 등¹⁸은 무릎뼈 부정렬 환자를 대상으로 근전도-생체피드백 훈련을 통한 안쪽빗넓은근의 선택적 근력강화로 근력의 향상과 통증의 감소를 보고하였다.

닫힌 운동학적사슬 운동을 이용한 다리 근력강화가 PFPS를 보이는 대상자의 통증 및 근력향상에 관한 연구는 현재 활발하게 이루어지고 있으며, 근전도-생체피드백을 이용한 증재 또한 다양한 질환에서 연구가 이루어지고 있다. 하지만 PFPS와 같이 선택적인 안쪽빗넓은근의 근력강화가 필요한 환자에게 근전도-생체피드백을 이용한 닫힌 운동학적사슬 운동을 증재한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에 목적은 PFPS를 보이는 대상자에게 근전도-생체피드백을 이용한 닫힌 운동학적사슬 운동이 Q-각과 넓다리네갈래근의 근활성도에 미치는 영향을 알아보고 PFPS의 재활운동에 기초자료를 제공하고자 한다.

연구방법

1. 연구대상

본 연구는 전남 소재의 대학교에 재학중인 여자대학생 중 본 연구의 목적과 실험방법에 대하여 충분한 설명을 듣고 자발적으로 참여하기로 동의한 대상자에서 사전 설문을 통해 Kujala Patellofemoral Score에서 70점 이상 80점 미만의 무릎넓다리관절에 기능부전을 가지고 있는 대상자 30명을 선정하였다. 본 연구의 세부적인 선정기준은 무릎관절을 포함한 그 외 다리관절에 정형외과적 수술을 받지 않은 자, 최근 1개월 안에 다리근력강화 운동을 하지 않은 자, 기타 다른 내·외과적 의학적 질환을 가지고 있지 않은 자로 선정하였다(Table 1).

2. 실험방법

본 연구는 총 30명의 연구대상자를 무작위 임의 선정하여 각각 10명씩 대조군(Group I), 반응크리기 운동군(Group II), 근전도-생체피드백을 이용한 닫힌 운동학적사슬 운동군(Group III)으로 나누어 증재하였다.

1) 반응크리기 운동

반응크리기 운동의 자세는 양 발은 어깨넓이만큼 벌린 후 중립위치를 유지하였고 몸통은 곧게 편 자세(upright position)를 취하였으며 어깨는 90° 굽힘하였다.¹⁹ 옹크리기 운동 중 40-60° 범위에서 무릎관절을 굽힘하는 반응크리기 운동을 시행하였으며, 본 연구에서는 45° 굽힘 후 6초간 반응크리기 자세를 유지한 후 다시 초기 자세로 되돌아왔으며 이완은 10초 동안 하였다. 운동의 수행은 2분 동안 수축(squeeze)-수축(squeeze)-이완(relax)의 3가지 절차로 수행하였고 운동과 운동 사이에는 4분의 휴식시간이 제공되었다. 운동은 8주 동안 주 3회, 1일 30분씩 증재하였다.

2) 근전도-생체피드백을 이용한 닫힌 운동학적사슬 운동

증재자세와 시간은 반응크리기 운동과 동일하며 안쪽빗넓은근의 선택적인 근력강화를 위해 근수축에 대한 정보를 실시간으로 제공하

Table 1. General characteristics of subjects

	Group I (n = 10)	Group II (n = 10)	Group III (n = 10)
Age (year)	21.55±1.32	21.60±1.46	22.02±1.31
Height (cm)	160.11±5.45	159.94±5.81	161.01±5.74
Weight (kg)	52.61±2.64	51.91±2.82	52.11±3.04
KPS (score)	75.28±4.31	76.12±3.52	75.90±4.08

Values are present as mean±standard deviation.

Group I : control group.

Group II : semi-squat exercise group.

Group III : EMG-Biofeedback using closed kinetic chain exercise group.

KPS: Kujala patellofemoral score.

는 E-LINK system (Biometric Inc, United Kingdom)의 Myo-Ex를 이용하였다.²⁰ E-LINK system의 Myo-Ex는 피부에 부착된 전극을 통해 근활성의 정도를 모니터를 통해 제공하고 바나나 따는 원숭이(monkeys activity modules), 스키활강 게임(Downhill activity modules) 등의 과제 지향적 훈련프로그램을 통해 운동학습과 운동조절에 효과적이다 (Figure 1).

3. 측정방법

1) Q-각 측정

반응크리기 운동을 하는 동안 Q-각의 측정은 LUKOtronic (Lutz-Kovacs Electronic, Austria) 동작분석시스템을 이용하였다. 구성요소는 동작분석을 위한 카메라, 적외선 마커, 분석용 소프트웨어가 내장된 개인용 컴퓨터로 구성되어 있으며, 수집된 데이터는 AS202를 이용하여 분석하였다(Figure 2A). Q-각은 무릎관절 굽힘 45°의 반응크리기 자세에서 측정하였으며 위앞엉덩뼈가시와 무릎뼈의 중심을 잇는 선과 무릎뼈의 중심과 정강뼈거친면을 잇는 선 사이의 각도를 계산하였고 마커는 위앞엉덩뼈가시, 무릎뼈, 정강뼈거친면에 부착하였다(Figure 2C).²¹

2) 표면근전도시스템

다리 근활성도를 측정하기 위해 MP100 표면근전도 시스템(Biopac System Inc, USA)을 이용하였고, 디지털 신호로 변환된 자료는 개인용 컴퓨터에서 Acqknowledge 3.91 소프트웨어를 이용하여 자료 처리하였다. 표면근전도 신호에 대한 피부저항을 최소화하기 위해 부착부위의 털을 제거하고 가는 사포로 3-4회 문질러 피부각질층을 제거한 후, 소독용 알코올 솜으로 피부를 깨끗이 하였다. 부착 근육은 가쪽넓은근, 안쪽빗넓은근에 부착하였고 이극전극은 각 근육의 근힘살(muscle belly)에 근섬유의 방향과 평행하게 부착하였다. 안쪽빗넓은근의 전극은 무릎뼈의 위안쪽 가장자리(supremeidal patellar border)에서 위쪽 4 cm, 안쪽 4 cm, 무릎뼈 긴축(long axis)에서 55° 위치에 부착하였고, 가쪽넓은근의 전극은 무릎뼈의 위안쪽 가장자리에서 위쪽 10 cm, 가쪽 6-8 cm, 무릎뼈 긴축에서 15° 위치에 부착하였다(Figure 2C). 표본추출률(sampling rate)은 1,024 Hz로 설정하였고, 잡음을 최소화하기 위해 대역 여과 필터(notch filter)는 60 Hz, 대역 통과 필터(band pass filter) 30-450 Hz로 설정하였으며 수집된 신호는 RMS 처리하였다(Figure 2B).

3) 근활성도의 표준화

근활성도의 표준화(normalization)를 위해 %최대 수의적 수축(%maximal voluntary contraction, %MVC)을 이용하였다. 무릎관절 45° 굽힘 시 5초 동안 최대 수의적 등척성 수축(maximal voluntary isometric contraction)의 근활성도를 산출한 후 반응크리기 운동을 하는



Figure 1. E-LINK system: Myo-Ex.

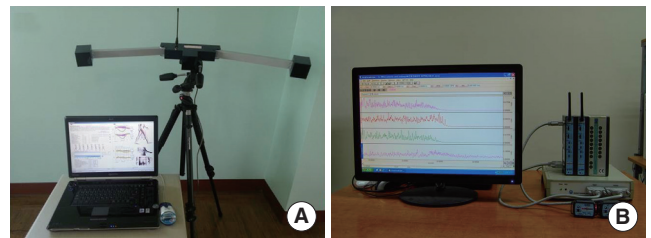


Figure 2. (A). Motion capture system, (B). sEMG.

동안 산출된 가쪽넓은근과 안쪽빗넓은근의 근활성도의 값과 비교하여 %MVC값을 산출하였다. 모든 근활성도는 5초의 신호 중 처음과 마지막 1초씩을 제외한 3초의 신호를 이용하였으며, 3회 측정된 평균값을 이용하였다.¹³

4) 안쪽빗넓은근/가쪽넓은근의 근활성비(muscle activation ratio)

반응크리기 운동 시 측정된 안쪽빗넓은근과 가쪽넓은근의 RMS 값을 서로 나누어 비율을 산출하였다.¹³

4. 분석방법

본 연구에서 측정된 자료는 SPSS ver. 19.0 for Window (IBM Co., Armonk, NY, USA)을 이용하여 통계처리 하였다. 그룹 간 정규성 검정을 위해 Shaphiro-wilk 검정을 실시하였고, 그룹 간 중재 전·후 Q-각과 넓다리네갈래근의 근활성도의 차이를 검증하기 위해 공분산분석(ANCOVA)을 이용하여 분석하였으며 사후검정은 Bonferroni 검정을 실시하였다. 통계학적 유의수준은 $\alpha=0.05$ 로 하였다.

결 과

1. 그룹 간 Q-각 비교

그룹 간 중재 전·후 Q-각의 비교 결과, 그룹 II와 그룹 III은 그룹 I과 비교하여 Q-각에 유의한 차이를 보였다($p<0.05$). 사후검정 결과 그룹 III은 그룹 I, II와 비교하여 Q-각의 감소에 효과적이었다(Table 2).

Table 2. Comparison of Q-angle and quadriceps muscle activation between groups

	Group I (n = 10)		Group II (n = 10)		Group III (n = 10)		F	t	post-hoc
	pre	post	pre	post	pre	post			
Q-angle (unit: °)	23.35±3.27	23.31±3.31	23.42±3.41	22.73±2.94	23.37±3.39	22.40±3.08	3.245	0.047*	I < II
VMO %MVC (unit: %)	26.15±4.27	26.35±4.54	25.94±4.54	29.37±5.14	26.21±3.69	32.34±4.62	9.394	0.008*	I < III
VMO/VL (unit: ratio)	0.73±0.12: 1	0.74±0.14: 1	0.74±0.09: 1	0.83±0.10: 1	0.73±0.11: 1	0.92±0.09: 1	3.657	0.042*	II < III

Values are present as mean± standard deviation.

Q-angle: quadriceps angle, VMO %MVC: vastus medialis oblique %maximal voluntary contraction, VMO/VL: vastus medialis oblique/vastus lateralis.

*p<0.05; †p<0.01

2. 그룹 간 안쪽빗넓은근의 근활성도 비교

그룹 간 중재 전·후 안쪽빗넓은근의 근활성도 비교 결과, 그룹 II와 그룹 III은 그룹 I과 비교하여 %최대수의적수축에 유의한 차이를 보였다(p<0.01). 사후검정 결과 그룹 III은 그룹 I, 그룹 II와 비교하여 %최대수의적수축의 향상에 효과적이었다(Table 2).

3. 그룹 간 안쪽빗넓은근/가쪽넓은근의 근활성비 비교

그룹 간 중재 전·후 안쪽빗넓은근/가쪽넓은근의 근활성비 비교 결과, 그룹 II와 그룹 III은 그룹 I과 비교하여 안쪽빗넓은근/가쪽넓은근의 근활성비에 유의한 차이를 보였다(p<0.05). 사후검정 결과 그룹 III은 그룹 I, II와 비교하여 %안쪽빗넓은근/가쪽넓은근의 근활성비 향상에 효과적이었다(Table 2).

고 찰

PFPS는 Q-각의 증가와 정강뼈의 과도한 가쪽돌림(external rotation)과 결합된 증가된 바깥굽이(genu valgus) 스트레스, 목말밑관절의 과도한 옆침과 무릎관절을 안정화 시켜주는 근육 등의 불균형에 의해 발생되고 무릎뼈의 비정상적인 주행(tracking)이 주된 원인이다.²² 그 중 넙다리네갈래근의 가쪽당김에 대한 균형을 유지하는 VMO의 약화는 PFPS의 대표적인 원인이며 기능회복을 위해서는 VMO의 선택적 강화와 동원이 강조되고 있으며,²³ 근력강화를 위한 많은 중재방법 중 근전도-생체피막임을 이용한 운동방법은 신경계 및 근육뼈대계 질환의 환자에게 효과적이라고 하였다.^{24,25} 이에 본 연구에서는 PFPS를 보이는 대상자에게 근전도-생체피막임을 이용한 단힌 운동학적사슬 운동을 8주간 중재한 후 Q-각과 넙다리네갈래근의 근활성도에 미치는 영향을 알아보려고 하였고, 연구결과 운동방법에 따른 그룹 간 중재 전·후 Q-각과 넙다리네갈래근의 근활성도에서 유의한 차이를 보였으며, 사후검정 결과 근전도-생체피막임을 이용한 단힌사슬 운동을 중재한 그룹 III가 Q-각의 감소와 넙다리네갈래근의 근활성도의 증가에 효과적이었다.

Yip과 Ng²⁶는 PFPS 진단을 받은 26명을 대상으로 근전도-생체피막임을 결합한 운동군과 일반운동군으로 나누어 8주 동안 중재한 후

넙다리네갈래근의 등속성 근력, 무릎뼈의 미끄러짐과 기울어짐을 비교한 결과 근전도-생체피막임을 결합한 운동군이 일반운동군과 비교하여 유의한 차이를 보였다. Syme 등²⁷은 PFPS를 보이는 69명을 대상으로 근전도-생체피막임을 통한 선택적인 VMO 근력강화 운동군, 일반적인 넙다리네갈래근 근력강화 운동군, 대조군의 세 그룹으로 나누어 6주 동안 중재한 후 삶의 질과 통증을 비교한 결과 근전도-생체피막임을 통한 선택적인 VMO 근력강화 운동군이 다른 두 그룹과 비교하여 통증과 삶의 질에 유의한 차이를 보였다. 본 연구에서도 근전도-생체피막임을 이용한 단힌 운동학적 사슬 운동을 중재한 그룹 III이 그룹 I, II와 비교하여 Q-각과 넙다리네갈래근의 근활성도에 유의한 차이를 보여 선행연구들을 지지해 주고 있으며, 이와 같은 결과는 PFPS와 같이 안쪽빗넓은근의 약화를 보이는 환자들에게 근전도-생체피막임을 이용한 단힌 운동학적사슬 운동이 필요하다는 것을 뒷받침해 줄 수 있다.

Q-각은 무릎손상과 골반, 넙다리, 정강뼈를 포함하는 다리 손상을 평가하는 데 빈번하게 사용되는 유용한 평가도구이며 비정상적인 Q-각의 증가(남성 15°, 여성 20° 이상)는 무릎뼈의 과운동성과 비정상적인 정렬 등과 같이 무릎관절의 손상 요인으로 여겨지며 증가된 Q-각의 감소는 무릎관절의 기능회복을 의미한다.²⁸ Lee 등²⁹은 PFPS를 보이는 엘리트 운동선수 34명을 대상으로 탄력밴드를 이용한 체중지지운동군, 슬링을 이용한 체중지지운동군, 대조군으로 나누어 8주 동안 중재한 후 Q-각을 비교한 결과 탄력밴드를 이용한 체중지지운동군과 슬링을 이용한 체중지지운동군에서 그룹 내 중재 전·후 Q-각의 유의한 감소를 보였으나 그룹 간 유의한 차이는 없었다. 본 연구에서는 운동방법에 따른 그룹 간 중재 전·후 Q-각의 비교에서 유의한 차이를 보였으며, 사후검정 결과 근전도-생체피막임을 이용한 단힌 운동학적사슬 운동을 중재한 그룹 III이 Q-각의 감소에 효과적인 결과를 보여 선행연구와 부분 일치하였다. 반응크리기 운동과 같은 단힌 운동학적사슬 운동은 안쪽빗넓은근의 활성을 통해 무릎관절의 안정성을 제공하여 Q-각이 감소되는 동일한 결과를 보였고, 선행연구와 다르게 그룹 간 차이를 보인 이유는 근전도-생체피막임을 통해 근수축에 대한 실시간 정보의 제공으로 행동수정 및 동기부여를 이끌어 운동단위 동원을 증가시켰으며 단힌 운동학적사슬 운동과

의 결합으로 공간적 가중(spatial summation)을 일으켜 더 많은 안쪽 빗넓은근의 활성으로 Q-각의 감소에 차이를 보인 것으로 사료된다.

Kim 등¹⁸은 무릎뼈 부정렬 환자 39명을 대상으로 4주 동안 근전도-생체피막임을 이용한 근력강화 운동군과 테이핑을 적용한 군의 비교에서 근전도-생체피막임을 이용한 근력강화 운동군이 안쪽빗넓은근의 근활성도가 유의하게 증가하였다. Ng 등³⁰은 PFPS 진단을 받은 26명을 대상으로 근전도-생체피막임을 결합한 운동군과 일반운동군으로 나누어 8주 동안 증재한 후 안쪽빗넓은근과 가쪽넓은근의 근활성비를 비교한 결과 근전도-생체피막임을 결합한 운동군이 일반운동군과 비교하여 유의한 차이를 보였다. 본 연구에서도 근전도-생체피막임을 이용한 닫힌 운동학적사슬 운동은 증재한 그룹 III이 다른 그룹과 비교하여 VMO의 근활성도와 VMO/VL 근활성비 향상에 효과적인 결과를 보여 선형연구와 동일한 결과를 보였다. 근전도-생체피막임을 이용한 닫힌 운동학적사슬 운동은 근수축에 대한 시·청각적 피막임의 제공으로 운동학습과 운동조절의 향상으로 선택적인 VMO의 근력강화에 효과적일 것으로 생각된다. 또한 증가된 Q-각은 약화된 VMO 근력과 상관관계를 보여 선택적인 VMO 근력강화 운동은 VMO/VL의 근활성비를 향상시켜 넙다리네갈래근과 무릎힘줄 사이에서 발생하는 가쪽활시위 힘의 감소를 이끌어 Q-각의 감소를 보인 것으로 사료된다.

본 연구는 PFPS를 가진 대상자들에게 운동방법에 따른 Q-각과 넙다리네갈래근 활성도를 비교하여 근전도-생체피막임을 이용한 닫힌 운동학적사슬 운동이 Q-각의 감소와 VMO의 근활성도 및 VMO/VL 근활성비 향상에 효과적임을 증명하였다. 본 연구의 제한점은 특정 지역에서 대상자를 선발하였고 대상자의 수가 적기 때문에 모든 PFPS를 보이는 대상자에게 일반화하기에는 어려움이 있으며, 향후 본 연구를 바탕으로 PFPS를 보이는 대상자에게 근전도-생체피막임을 이용한 근력강화 운동이 보행과 삶의 질에 미치는 영향에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Acknowledgements

The research was has been conducted by the research grant of Sehan university in 2016.

REFERENCES

- Nijs J, Van Geel C, Van der auwera C et al. Diagnostic value of five clinical tests in patellofemoral pain syndrome. *Man Ther.* 2006;11(1):69-77.
- Welsh C, Hanney WJ, Podschun L et al. Rehabilitation of female dancer with patellofemoral pain syndrome: Applying concepts of regional interdependence in practice. *N Am J Sports Phys Ther.* 2010;5(2):85-97.
- Nha KW, Papannagari R, Gill TJ et al. In vivo patellar tracking: clinical motions and patellofemoral indices. *J Orthop Res.* 2008;26(8):1067-74.
- Ramappa AJ, Apreleva M, Harrold FR et al. The effects of medialization and anteromedialization of the tibial tubercle on patellofemoral mechanics and kinematics. *Am J Sports Med.* 2006;34(5):749-56.
- Kan JH, Heemskerk AM, Ding Z et al. DTI-based muscle fiber tracking of the quadriceps mechanism in lateral patellar dislocation. *J Magn Reson Imaging.* 2009;29(3):663-70.
- Freedman BR, Brindle TJ, Sheehan FT. Re-evaluating the functional implications of the Q-angle and its relationships to in-vivo patellofemoral kinematics. *Clin Biomech.* 2014;29(10):1139-45.
- Miao P, Xu Y, Pan C et al. Vastus medialis oblique and vastus lateralis activity during a double-leg semi squat with or without hip adduction in patients with patellofemoral pain syndrome. *BMC Musculoskelet Disord.* 2015;12:289
- Park S, Lee WJ, Park JW. Differences of onset timing between vastus medialis and lateralis during knee isometric contraction on individuals with genu varum or valgum. *J Kor Phys Ther.* 2014;26(1):9-14.
- Park SK, Kang JY. Effects of EMG-Biofeedback training on functional ability and Q-angle in Patellofemoral pain syndrome. *J Kor Phys Ther.* 2014;26(2):68-73.
- Dutton RA, Khadavi MJ, Fredericson M. Update on rehabilitation of patellofemoral pain. *Curr Sports Med Rep.* 2014;13(3):172-8.
- Fagan V, Delahunt E. Patellofemoral pain syndrome: A review on the associated neuromuscular deficits and current treatment options. *Br J Sports Med.* 2008;42(10):789-95.
- Kwon YJ, Park SJ, Jefferson J et al. The effect of open and closed kinetic chain exercises on dynamic balance ability of normal healthy adults. *J Phys Ther Sci.* 2013;25(6):671-4.
- Irish SE, Millward AJ, Wride J et al. The effect of closed-kinetic chain exercises and open-kinetic chain exercise on the muscle activity of vastus medialis oblique and vastus lateralis. *J Strength Cond Res.* 2010; 24(5):1256-62.
- Yilmaz OO, Senocak O, Sahin E et al. Efficacy of EMG-biofeedback in knee osteoarthritis. *Rheumatol Int.* 2010;30(7):887-92.
- Dogan-Aslan M, Nakipoglu-Yuzer GE, Dogan A et al. The effect of electromyographic biofeedback treatment in improving upper extremity functioning of patients with hemiplegic stroke. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2012;21(3):187-92.
- Park SK, Kim JH. Effects of EMG-biofeedback training on total knee replacement patient's lower extremity muscle activity and balance. *J Kor Phys Ther.* 2013;25(2):81-7.
- Oravitan M, Avram C. The effectiveness of electromyographic biofeedback as part of a meniscal repair rehabilitation programme. *J Sports Sci Med.* 2013;12(3):526-32.
- 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.
- Coqueiro KR, Bevilacqua-Grossi D, Berzin F et al. Analysis on the activation of the VMO and VL muscles during semisquat exercise with and without hip adduction in individuals with patellofemoral pain syndrome. *J Electromyogr Kinesiol.* 2005;15(6):596-603.
- Yang DJ, Uhm YH, Kim JH. The biofeedback scapular stabilization exercise in stroke patients effect of muscle activity and function of the upper

- extremity. *J Kor Phys Ther.* 2015;27(5):325-31.
21. Park SK, Yang DJ, Park JM et al. Analysis of patellar tracking and Q-angle during semi-squat exercises. *Kor J Sport Biomechanics.* 2011;21(1):107-14.
 22. Petersen W, Ellermann A, Gosele-Koppenburg A et al. Patellofemoral pain syndrome. *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc.* 2014;22(10):2264-74.
 23. Pattyn E, Verdonk P, Steyaert A et al. Vastus medialis obliques atrophy: Does it exist in patellofemoral pain syndrome?. *Am J Sports Med.* 2011;39(7):1450-5.
 24. Kim YK, Song JC, Choi JW et al. Functional electric stimulation-assisted biofeedback therapy system for chronic hemiplegic upper extremity function. *J Kor Phys Ther.* 2012;24(6):409-13.
 25. Koh EK, Weon JH, Jung DY. Effects of activation of gluteus maximus and abdominal muscle using EMG Biofeedback on lumbosacral and tibioacneal angles in standing position. *J Kor Phys Ther.* 2013; 25(6):411-6.
 26. 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):1050-7
 27. Syme G, Rowe P, Martin D et al. Disability in patients with chronic patellofemoral pain syndrome: a randomised controlled trial of VMO selective training versus general quadriceps strengthening. *Man Ther.* 2009;14(3):252-63.
 28. Freedman BR, Yoon K. Physical examination and patellofemoral pain syndrome. *Am J Phys Med Rehabil.* 2006;85(3):234-43.
 29. Lee J, Lee H, Lee W. Effect of weight-bearing therapeutic exercise on the Q-angle and muscle activity onset times of elite athletes with patellofemoral pain syndrome: A randomized controlled trial. *J Phys Ther Sci.* 2014;26(7):961-4.
 30. Ng GY, Zhang AQ, Li CK. Biofeedback exercise improved the EMG activity ratio of the medial and lateral vast muscles in subjects with patellofemoral pain syndrome. *J Electromyogr Kinesiol.* 2008;18(1):128-33.