

안굽이 및 밖굽이 무릎을 가진 젊은 성인들에게서 등척성 운동 시 안쪽넓은근과가쪽넓은근의 근수축 개시시간 차이

박설¹, 이우진¹, 박지원²

¹대구가톨릭대학교 대학원 물리치료학과, ²대구가톨릭대학교 의료과학대학 물리치료학과

Differences of Onset Timing Between Vastus Medialis and Lateralis during Knee Isometric Contraction on Individuals with Genu Varum or Valgum

Seol Park¹, Woo-Jin Lee¹, Ji-Won Park²

¹Department of Physical Therapy, Collage of Medical Science, Catholic University of Daegu, ²Department of Physical Therapy, College of Medical Science, Catholic University of Daegu

Purpose: The purpose of this study was to investigate how different knee alignments (genu varum and genu valgum) affected activations of quadriceps muscles with measurements of onset-time differences between vastus medialis and vastus lateralis during isometric contractions at both 30 and 60 degree knee flexion.

Methods: Fifty-two adults (20 genu varum, 12 genu valgum, and 20 control) were enrolled in this study. Subjects with over 4cm distance between knee medial epicondyles were assigned to Genu varum, while subjects with over 4cm distance between ankles medial malleolus were considered as genu valgum group. Surface EMG was used to measure onset time of both vastus medialis and vastus lateralis during isometric contraction at 30 and 60 degree knee flexion.

Results: The onset time of vastus lateralis was delayed in genu varum group, and that of vastus medialis was delayed in genu valgum group at both 30 and 60 degree knee flexions. Moreover, onset time difference at 30° knee flexion between muscles was larger in genu valgum group than genu varum group.

Conclusion: Subjects with genu varum or valgum activated quadriceps muscles with different orders pending on flexion degrees. Therefore, when quadriceps training program were planned to prevent pain or deformities, the findings that quadriceps were activated with different orders affected by knee alignments and joint degree at which trainings were performed, must be considered. If the selective training programs of quadriceps femoris are planned to prevent pain or deformities due to poor knee alignments, these should consider the subject's knee alignment condition.

Key Words: Isometric Contraction, Quadriceps Muscle, Electromyography

I. 서론

평형을 방해하는 근골격계의 어느 변화는 하지 근력, 척추와 말초 관절의 ROM과 같은 하지 정렬 불량을 포함한다.¹⁻⁵

젖힌 무릎이나 넓다리뼈의 비틀림, 정강뼈의 돌림과 같은 엉덩관절이나 넓다리뼈 또는 무릎관절 등 하지의 구조적인 변형은 넓다리네갈래근에 영향을 미칠 수 있다.^{6,7} 안굽이 무릎과 밖굽이 무릎은 대표적인 이마면에서의 비정상적인 무릎 정렬 상태이며, 무릎관절 뿐만 아니라 하지의 전반적인 정렬에 문제를 일으키는데, 이는 나아가 척추 변형이나 요통까지도 야기시킨다.⁸ 안굽이 무릎의 경우 안쪽으로 편향된 체중 전달로 인해 안쪽 구획 관절염이나 퇴행성 관절 변형, 무지외반증 등을 유발하는 직접적인 원인이 될 수 있으며, 자세적 안정성을 감소시켜 낙상의 위험 요인이 된다.⁹

Received Jan 22, 2014 Revised Feb 3, 2014

Accepted Feb 4, 2014

Corresponding author Ji-Won Park, mylovept@hanmail.net

Copyright © 2014 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.

밖굽이 무릎의 경우 무릎뼈 탈구, 무릎넙다리관절 통증, 연골 연화증 등을 유발시킨다.¹⁰ 이러한 비정상적인 무릎 정렬 상태를 야기시키는 원인들로는 다양하나 주로 넙다리네갈래근의 부전과 같은 근육의 문제, 정강뼈나 넙다리뼈의 비틀림, 엉덩관절의 변형 등 뼈대계의 문제 등을 들 수 있다.¹⁰ 특히, Sogabe 등⁷의 연구를 통해 무릎 정렬 상태에 따른 넙다리네갈래근의 근육 단면적이 차이가 있음이 밝혀지면서 이러한 안굽이, 밖굽이 무릎에 대한 넙다리네갈래근의 근전도 분석에 대한 연구가 필요하다.

흔히 무릎넙다리 통증 증후군을 가진 사람들의 경우 밖굽이 무릎의 형태를 띠고 있으며, 넙다리네갈래근 중 안쪽넓은근의 약화와 늦은 발화 개시시간으로 인해 무릎뼈의 외측 이탈구를 동반한다.¹¹ 따라서 무릎넙다리 통증 증후군을 가진 사람들을 치료하기 위한 방법으로 안쪽넓은근을 선택적으로 강화시키고 우선적으로 수축시키도록 하는 운동 프로그램이 사용된다. Wong¹²은 무릎넙다리 통증 증후군과 안쪽넓은근의 개시 지연과 관련된 여러 문헌들을 비교 분석해 본 그의 연구에서 안쪽넓은근의 개시 지연이 나타났다는 연구와 그렇지 않다는 연구가 절반 정도라 하였으며, 따라서 근수축 개시 지연으로 무릎뼈 이동을 의미할 수 없다고 하였다. 이처럼 무릎넙다리 통증 증후군의 안쪽넓은근의 개시 지연에 대한 의견도 분분하지만 밖굽이 무릎에서의 안쪽넓은근의 개시 지연 유무에 대한 연구는 거의 없으므로 밖굽이 무릎에서의 안쪽넓은근의 근수축 개시시간에 대한 명확한 연구가 필요하며, 밖굽이 무릎뿐만 아니라 안굽이 무릎의 경우에서도 두 근육의 근수축 개시시간에 대한 분석이 필요하다.

한편, 넙다리네갈래근은 등척성 수축을 통해 무릎을 안정시키고 보호하는 역할을 한다.¹³ 넙다리네갈래근은 등척성 수축 시 무릎 관절의 굽힘 각도에 따라 근전도 신호가 다르게 나타나며,¹⁴ 이는 무릎 굽힘 각도에 따라 넙다리네갈래근의 무릎뼈를 안정화시키는 역할에 대한 두 근육의 비중이 다름을 의미한다. 이처럼 안쪽넓은근과 가쪽넓은근은 무릎뼈의 이동을 유발시키거나 안정화시킬 뿐만 아니라, 무릎의 정렬과도 관련이 있으므로 안굽이 무릎과 밖굽이 무릎을 가진 사람들에게서 안쪽넓은근과 가쪽넓은근의 근수축 개시시간을 알아볼 필요가 있다. 또한 무릎의 굽힘 각도에 따라 두 근육의 근수축 개시시간이 안굽이 무릎과 밖굽이 무릎 사이에 차이가 있는지를 알아봄으로써 무릎 굽힘 각도에 따른 두 근육의 역할이 무릎 정렬 상태에 따라 달라지는지를 알아볼 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 안굽이 무릎과

밖굽이 무릎을 가진 정상 성인들을 대상으로 두 개의 다른 각도에서 등척성 수축을 하는 동안 안쪽넓은근과 가쪽넓은근의 근수축 개시시간의 차이를 비교해 봄으로써 무릎 정렬 상태에 따라 넙다리네갈래근이 어떠한 영향을 받는지를 알아보려고 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구에서는 정형, 신경외과적인 병력이 없고 무릎관절에 통증이 없는 만 20세 이상의 건강한 젊은 성인 52명을 대상으로 하여 무릎 정렬 상태에 따라 세 그룹으로 분류하였다. 이를 위해 바로 선 자세에서 발목 간 거리와 무릎 간 거리를 측정하였으며, 발목 간 거리가 4 cm 이상인 자는 밖굽이 무릎군, 무릎 간 거리가 4 cm 이상인 자는 안굽이 무릎군, 그 이하는 대조군으로 분류하였다.⁷ 피험자의 일반적인 특성을 알아보기 위해 나이, 신장, 체중, Q-각을 추가로 측정하였다(Table 1). 피험자들은 연구 목적과 방법에 대해 충분히 설명한 후 자발적인 동의 하에 본 실험을 실시하였다.

2. 실험방법

1) 근수축 개시시간의 측정

안쪽넓은근과 가쪽넓은근의 근수축 개시시간을 측정하기 위해 8채널 무선 표면근전도(WEMG-8, LAXTHA, USA)를 사용하였다. 표면 전극(Ag/AgCl 2223, 3M, Korea)은 안쪽넓은근의 경우 넙다리 장축의 50°, 무릎뼈 상내측에서 5 cm 위인 지점에 부착하였으며, 가쪽넓은근의 경우 무릎 위 3~5 cm 위의 중앙선을 기준으로 외측 15° 대각선 방향에 부착하였다. 접지전극은 무릎뼈 하단에서 약 6~12 cm 지점의 정강뼈 표면 위에 부착하였다.¹⁵ 근전도 신호의 표본 추출율은 1,024 Hz로 설정하였으며, 13~430 Hz의 대역 필터와 60 Hz의 notch filter, 심전도 감소필터를 사용하였다. 수집된 근전도 신호는 RMS로 계산하여 정량화하였다. 근수축 개시시간은 등척성 수축을 하기 전 200 ms 동안 발생하는 평균 근전도 신호보다 3 표준편차를 초과하는 신호가 25 ms 이상 발생하는 시간을 연산하였다.

안쪽넓은근과 가쪽넓은근의 개시시간 차이를 구하기 위해 안쪽넓은근의 개시시간에서 가쪽넓은근의 개시시간을 뺀 값을 사용하였다.¹⁶

Table 1. Anthropometric data (M±SD)

	Control	Genu Varum	Genu Valgum
N (Male : Female)	20 (7:13)	20 (5:15)	12 (8:4)
Age (y)	21.40 ± 1.73	21.25 ± 1.45	23.67 ± 3.22
Height (cm)	165.35 ± 8.95	164.95 ± 7.45	171.67 ± 8.51
Weight (kg)	57.95 ± 13.10	55.40 ± 8.05	67.33 ± 14.05
Q-angle (°) †	13.15 ± 1.66	18.60 ± 1.27	7.33 ± 1.53
Distance ‡			
IC (cm) †	0.42 ± 1.54	5.06 ± 0.75	-
IM (cm) †	-	-	6.13 ± 1.03

M ± SD: Mean ± Standard Deviation

*p<0.05, † p<0.01

‡ distance: intercondylar distance of the knee in Genu varum group, intermalleolar distance of the ankle in Genu valgum

Table 2. The difference of onset timing (ms) between knee joint degree during isometric contraction. (M±SD)

	Control	Genu Varum	Genu Valgum	p
30°	2.98 ± 0.16	-4.35 ± 7.93	15.14 ± 7.58	0.00*
60°	1.22 ± 1.42	-6.53 ± 10.71	9.52 ± 7.21	0.00*
p	0.00*	0.00*	0.00*	

M ± SD: Mean ± Standard Deviation

*p<0.01

등척성 수축은 무릎 각도 30° 와 60° 에서 각각 측정되었으며, 등척성 수축 시 넙다리네갈래근에 정량적인 저항을 제공하기 위해 Biodex system IV (Biodex medical systems, Inc., N.Y., U.S.A)를 사용하였다. 피험자는 Biodex에 앉은 자세로 넙다리, 가슴, 발목이 고정된 채 발목관절과 묶인 레버 암(lever arm)을 밀도록 함으로써 무릎 펴 동작을 수행하였다. 각각의 각도에서 3회씩 측정하여 그 평균값을 분석하는 데에 사용하였다.

2) 자료 분석

안굽이 무릎군과 밖굽이 무릎군, 그리고 대조군 사이에서 두 근육의 근수축 개시시간의 차이를 분석하기 위해 Kruskal-Wallis test를 사용하여 유의수준을 확인하였으며, 사후 검증을 하기 위해 Rank cases로 변환한 후 일요인 분산분석(one-way ANOVA)을 사용하였다. 이때 사후검증은 Tukey와 Duncan을 사용하였다. 각도에 따른 차이를 알아보기 위해 Wilcoxon rank sum test를 사용하였다. 윈도우용 PASW version 18.0을 사용하였으며, 유의수준은 0.05로 하였다.

III. 결과

1. 세 그룹별 개시시간의 차이

넙다리네갈래근의 등척성 운동 시 세 그룹 사이에 안쪽넓은근과 가쪽넓은근의 근수축 개시시간의 차이를 분석해 본 결과 30° 와 60° 에서 모두 세 그룹 간에 유의한 차이가 있었다(p<0.01). 개시시간의 차이가 양의 값일 경우 안쪽넓은근이 늦게 수축했거나 가쪽넓은근이 먼저 수축했음을 의미한다. 그 값이 0에 가까울수록 두 근육의 동시수축이 일어났음을 의미한다. 두 각도에서 모두 안굽이 무릎군은 가쪽넓은근이, 밖굽이 무릎군은 안쪽넓은근이 더 지연된 것으로 나타났다(Table 2).

2. 각도별 개시시간의 차이

무릎 굽힘 각도에 따른 근수축 개시시간의 차이는 세 그룹 모두 유의한 차이가 있었으며, 세 그룹 모두 무릎 굽힘 각도가 60° 일 경우 30° 일 때보다 더 작았다. 또한 밖굽이 무릎군의 경우 무릎 굽힘 각도가 60° 에 비해 30° 일 경우 두 근육의 개시시간의 차이가 더 컸으나, 안굽이 무릎군의 경우 60도에서 더 차이가 큰 것으로 나타났다(Table 2).

IV. 고찰

안굽이 무릎군, 밖굽이 무릎군은 양쪽 무릎이나 발목 사이의 거리를 측정하거나 Q-각, tibiofemoral angle을 측정하기도 한다.^{7,17} 본 연구에서 세 그룹을 무릎이나 발목 사이의 거리 측정을 통해 분류하였으나 추가적으로 모든 대상자의 Q-각을 측정하였으며, 그 결과 무릎이나 발목 사이의 거리 뿐만 아니라 Q-각에서도 세 그룹 사이에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 안굽이 무릎군의 경우 $9 \pm 2.3^\circ$, 밖굽이 무릎군의 경우 $19 \pm 2.3^\circ$ 라고 한 문성기¹⁸의 연구와 비슷한 결과를 보였다. Q-각은 넙다리네갈래근 각이라고도 하며 넙다리네갈래근에 의해 발휘되는 외측 당김의 정도를 말한다.¹⁹ 넙다리네갈래근의 당김에 의한 외측 치우침은 무릎뼈에 대한 자연적인 활시위 힘을 만들어내며, 안쪽넓은근의 약화는 과도한 무릎뼈 가쪽 활주를 일으켜 후천적인 밖굽이 무릎을 나타내게 된다.²⁰ 이처럼 세 그룹 사이에서 나타난 Q-각의 차이는 넙다리네갈래근에 의한 외측 당김력의 차이를 나타내며, 이는 넙다리네갈래근과 무릎 정렬 상태 사이에 관련성이 있다는 것을 의미한다.

등척성 수축 시 안쪽넓은근과 가쪽넓은근의 근수축 개시 시간의 차이는 무릎 굽힘 각도가 30° 일 때와 60° 일 때 모두 세 그룹 간에 유의한 차이가 있었다. 안쪽넓은근과 가쪽넓은근의 근수축 개시시간은 안쪽넓은근의 개시시간에서 가쪽넓은근의 개시시간을 뺀 값으로, 그 값이 음의 값을 나타낼 경우 안쪽넓은근의 개시시간이, 양의 값을 나타낼 경우 가쪽넓은근의 개시시간이 더 짧았음을 의미한다. 또한 그 차이값이 0에 가까울수록 두 근육의 동시수축이 일어난 것임을 의미한다. 본 실험 결과 안굽이 무릎군의 경우 음의 값을 나타내어 안쪽넓은근의 근수축 개시시간이 가쪽넓은근보다 더 빨랐으며, 반대로 밖굽이 무릎군의 경우 가쪽넓은근이 더 빠르게 수축한 것으로 나타났다.

무릎넙다리 통증 증후군의 Q-각은 정상 무릎에서보다 더 큰 값을 나타내며, 이는 후천적으로 밖굽이 무릎을 나타낼 수 있다.²⁰ 증가된 Q-각은 무릎뼈를 외측으로 잡아당기는 힘이 더 크게 작용하여 무릎뼈의 가쪽 아탈구를 유발하게 된다.¹¹ 그 원인으로는 안쪽넓은근의 개시시간의 지연이나 근육의 약화로 무릎뼈를 안정화시키거나 보호하지 못해 발생한다.²¹ Q-각의 증가가 나타나는 무릎넙다리 통증 증후군의 원인이 안쪽넓은근의 근수축 개시 지연이라고 한 많은 선행연구들^{15,22}의 결과와 같이 본 연구에서도 밖굽이 무릎군에서 안쪽넓은근의 근수축 개시 지연 현상이 나타난 것으로 보인다. 이러한 결과는 무릎 굽힘 각도가 30° 나 60° 에서 모두 나타났으며, 무릎 각도와 상관없이 밖굽이

무릎에서는 안쪽넓은근의 개시 지연 현상이 나타난다고 할 수 있다. 이와는 반대로 안굽이 무릎군에서는 가쪽넓은근이 안쪽넓은근보다 늦게 수축하였다. Santos 등²²은 무릎넙다리 통증 증후군 환자들의 근수축 개시시간을 알아보았으며, 무릎넙다리 통증 증후군 환자들의 경우 가쪽넓은근에 비해 안쪽넓은근이 지연되었음을 보고하였다. 이는 무릎넙다리 통증 증후군이 후천적인 밖굽이 무릎을 나타낸다는 선행 연구와 미루어 볼 때 본 연구 결과와 일치한다고 볼 수 있다. 이처럼 많은 선행연구들이 무릎넙다리 통증 증후군 환자들에게서 안쪽넓은근의 근수축 지연을 보고하였던 반면,^{15,22} 근수축 지연이 나타나지 않았다고 보고한 연구도 많이 있었다.^{23,24} 본 연구는 무릎넙다리 통증 증후군 환자를 대상으로 하지는 않았으나, 이로 인해 후천적인 결과로 나타날 수 있는 밖굽이 무릎군을 대상으로 하여 안쪽넓은근의 개시시간이 지연되었음을 보고함으로써 Q-각이나 무릎 정렬 상태가 넙다리네갈래근의 수축 기전에 영향을 미쳤음을 알 수 있었다.

안쪽넓은근은 생리적으로 쉽게 약해지기 쉬운 근육으로, 이러한 안쪽넓은근의 약화로 유발될 수 있는 통증이나 손상을 예방, 치료하기 위해 안쪽넓은근을 선택적으로 강화시키기 위한 여러 중재들이 연구되고 있다.²⁵⁻²⁷ 본 연구 결과를 통해 안쪽넓은근의 선택적인 훈련 프로그램은 밖굽이 무릎을 가진 사람들에게 필요하지만, 우리나라 인구의 90% 이상은 안굽이 무릎을 가지고 있으므로, 이러한 훈련 프로그램이 안굽이 무릎을 가진 사람들에게 행해질 경우 역효과를 발생시킬 수 있을 것이라 생각된다. 따라서 안쪽넓은근을 강화시키기 위한 재활프로그램을 적용하기 이전에 무릎 정렬 상태와 넙다리네갈래근의 발화 현상을 간주할 필요가 있을 것이다. 즉, 무릎 정렬 상태를 고려하지 않은 맹목적인 안쪽넓은근의 강화 프로그램을 적용하는 것보다 안쪽넓은근과 가쪽넓은근의 근수축 개시시간이 균형을 이룰 수 있도록 해 주는 재활 프로그램이 필요할 것이라 사료된다.

무릎 굽힘 각도에 따른 근수축 개시시간의 차이는 세 그룹 모두 유의한 차이가 있었으며, 무릎 굽힘 각도가 60° 일 경우 30° 일 때보다 더 작았다. 이러한 결과는 밖굽이 무릎군의 경우 무릎 굽힘 각도가 30° 일 경우 두 근육의 개시시간의 차이가 더 컸으나, 안굽이 무릎군의 경우 60° 에서 더 차이가 컸음을 의미한다. Smillie²⁸는 안쪽넓은근이 무릎 펴 마지막 10° 에서 선택적으로 발화하며, 마지막 무릎 펴 10° 를 생산한다고 하였다. 본 연구에서 측정된 무릎 각도 30° 와 60° 중에서는 상대적으로 무릎 펴 상태에 더 가까운 30° 에서

안쪽넓은근이 좀 더 선택적으로 발화할 것으로 예상할 수 있는데, 안쪽넓은근이 더 늦게 발화되었던 밖굽이 무릎군의 경우 30° 에서 선택적으로 발화되어야 할 안쪽 넓은근이 더 늦게 발화되면서 두 근육 사이에 개시시간의 차이가 60° 에서보다 더 크게 나타난 것으로 보인다. 반면, 안굽이 무릎군의 경우 가쪽넓은근보다 빨리 발화되었던 안쪽넓은근이 60° 에서도 먼저 발화되었거나, 60° 에서 먼저 발화해야 할 가쪽넓은근의 개시 지연으로 인해 두 근육 사이의 개시시간의 차이가 더 크게 나타난 것으로 보인다. 즉, 무릎뼈를 안정화시키고 보호하기 위한 안쪽넓은근과 가쪽넓은근의 수축 기전은 무릎 정렬 상태가 불량일 경우 무릎 굽힘 각도에 따라서도 서로 다른 기전을 사용한다고 사료된다.

본 연구의 제한점은 통증이 없는 젊고 건강한 성인을 대상으로 하였으므로, 향후 임상적으로 통증을 호소하거나 불안정한 관절을 가지고 있는 환자들을 대상으로 한 연구가 필요할 것이라 사료된다. 또한 밖굽이 무릎군에 동원된 피험자의 수가 다른 두 그룹의 수와 달랐으며, 남자의 비율이 더 많아 평균 키와 몸무게 등의 일반적인 특성이 달랐다. 하지만 본 연구에서 측정된 두 근육의 개시시간의 차이는 피험자들 간의 개시시간의 비교가 아닌 피험자 개개인의 두 근육 간의 개시시간의 차이를 측정했으므로, 성별의 차이는 없을 것이라 사료된다. 향후 좀 더 통제된 피험자들을 대상으로 연구를 진행할 필요가 있을 것이라 사료된다. 뿐만 아니라, 무릎의 관절 각도가 30° 와 60° 에서만 측정되었으므로, 향후 좀 더 다양한 각도에서 측정될 필요가 있을 것이며, 등척성 운동에서뿐만 아니라 동적인 움직임에서의 근육의 활성 변화를 확인한다면 일상생활에서의 손상 위험을 예방하거나 치료에 적용하는 데에 도움이 될 것이라 사료된다.

이상의 연구 결과로 볼 때 안굽이 무릎과 밖굽이 무릎은 하지 뼈대계의 정렬 이상으로 인해 넙다리네갈래근의 발화 시간에도 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 무릎 굽힘 각도에 따라서도 안굽이 무릎과 밖굽이 무릎 사이에 서로 다른 수축 기전을 가지는 것으로 나타났다. 본 연구 결과를 통해 무릎 정렬 이상으로 인한 통증이나 변형을 예방하기 위해 넙다리네갈래근의 선택적인 훈련 프로그램을 계획할 경우 무릎 정렬 상태를 고려해야 할 것이라 사료된다.

참고문헌

1. Lord SR, Clark RD, Webster IW. Postural stability and

associated physiological factors in a population of aged persons. *J Gerontol*. 1991;46(3):M69-76.

1. Kim MH, Koh EK, Jung DY. Analysis of kinematic motions of first metatarsophalangeal joint during electrical stimulation of abductor hallucis muscle in subjects with hallux valgus. *J Korean Soc Phys Ther*. 2012;24(4):276-81.
2. Park JW, Park S. Structural assessment of spastic hemiplegic foot using the foot posture index. *J Korean Soc Phys Ther*. 2011;23(6):55-9.
3. Choi GH, Park KY, Byun SJ et al. A study on angular correlation between hallux valgus and 1st mpj dorsi-flexion according to work type and age of woman. *J Korean Soc Phys Ther*. 2011;23(5):57-63.
4. Seo JK, Kim SY. The relationship between hip abductor muscle strength and lumbar instability in patients with chronic low back pain. *J Korean Soc Phys Ther*. 2011;23(4):15-21.
5. Park YS. The effects of the difference of angle of the femoral anteversion on the electrical activity of the quadriceps femoris in isometric exercise. Dankook University. Dissertation of Master's Degree. 2006.
6. Sogabe A, Mukai N, Miyakawa S et al. Influence of knee alignment on quadriceps cross-sectional area. *J Biomech*. 2009;42(14):2313-7.
7. Kang SH, Lee WJ, Kim TY. Possible effects of applying rehabilitation program upon bowlegged undergraduates' COG(Center Of Gravity) oscillation and its correction. *Journal of Sport and Leisure Studies*. 2009;35(2):1061-72.
8. Chae YW, Park JW, Park S. The effect of postural stability on genu varum in young adults. *J Korean Soc Phys Ther*. 2012;24(6):419-22.
9. Livingston LA, Stevenson JM, Olney SJ. Stairclimbing kinematics on stairs of differing dimensions. *Arch Phys Med Rehabil*. 1991;72(6):398-402.
10. 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.
11. Wong YM. Recording the vastii muscle onset timing as a diagnostic parameter for patellofemoral pain syndrome: Fact or fad? *Phys Ther Sport*. 2009;10(2):71-4.
12. Cristanell 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.
13. Han SW. A SEMG analysis of knee joint angle during close kinetic chain exercise and open kinetic chain exercises in quadriceps muscle. *J Korean Soc Phys Ther*. 2004;16(3):401-11.

15. Cowan SM, Bennell KL, Hodges PW et al. Delayed onset of electromyographic activity of vastus medialis obliquus relative to vastus lateralis in subjects with patellofemoral pain syndrome. *Arch Phys Med Rehabil*. 2001;82(2):183–9.
16. Kim HH. The effect of Patellar Taping on the EMG Activity of the Vastus Medialis Oblique and Vastus Lateralis during Stair Stepping. *Journal of Muscle and Joint Health*. 2011;18(2):249–256.
17. Han SM, Lee KK, Ha S et al. The effects of correction exercise on hip joint angle, Q angle, and the distance between knees of genu varum patients. *KINESIOLOGY*. 2011;13(1):83–90.
18. Moon SG. The influence of the genu varum and the genu valgum on malalignment of the lower limb. 2000;6(2):31–8.
19. Fredericson M, Yoon K. Physical examination and patellofemoral pain syndrome. *Am J Phys Med Rehabil*. 2006;85(3):234–43.
20. Huberti HH, Hayes WC. Patellofemoral contact pressures. The influence of Q-angle and tendofemoral contact. *J Bone Joint Surg Am*. 1984;66(5):715–24.
21. Byun YH, Lee HH, Han SH. Surface EMG analysis of quadriceps muscle during isokinetic exercise in patients with patellofemoral pain. *Journal of Coaching Science*. 2006;8(3):261–8.
22. Santos EP, Bessa SNF, Lins CAA et al. Electromyographic activity of vastus medialis obliquus and vastus lateralis muscles during functional activities in subjects with patellofemoral pain syndrome. *Rev Bras Fisioter*. 2008;12(4):304–10.
23. Karst GM, Willett GM. Onset timing of electromyographic activity in the vastus medialis oblique and vastus lateralis muscles in subjects with and without patellofemoral pain syndrome. *Phys Ther*. 1995;75(9):813–23.
24. Hinman RS, Bennell KL, Metcalf BR et al. Temporal activity of vastus medialis obliquus and vastus lateralis in symptomatic knee osteoarthritis. *Am J Phys Med Rehabil*. 2002;81(9):684–90.
25. Park SK, Kim JH. Effects of EMG–biofeedback Training on Total Knee Replacement Patients’ Lower Extremity Muscle Activity and Balance. *J Korean Soc Phys Ther*. 2013;25(2):81–7.
26. 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.
27. Jang JH, Kim KH, Kim TH et al. The effects of foot and knee position on electromyographic activity of the vastus medialis and vastus lateralis for hemiplegic patients. *J Korean Soc Phys Ther*. 2010;22(4):21–8.
28. Smillie IS. *Injuries of the knee joint*. Baltimore, Williams and Wilkens, 1962.