

# 전방십자인대 재건술 환자에 대한 비손상측과 손상측 간의 하지 근수축 특성 비교

김한일, 서영준<sup>1)</sup>, 김영명<sup>2)</sup>

제주권역재활병원, 은혜병원<sup>1)</sup>, 진주우리병원<sup>2)</sup>

## Comparison of the Muscle Contractile Properties on Lower Extremity Between Non-injury and Injury in Subjects with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

Han-il Kim, Young-joon Seo<sup>1)</sup>, Young-myung Kim<sup>2)</sup>

Dept. of Physical Therapy, Jeju Regional Rehabilitation Hospital

Dept. of Physical Therapy, Eunhye Hospital<sup>1)</sup>

Dept. of Physical Therapy, Jinju Woori Hospital<sup>2)</sup>

### Key Words:

Anterior cruciate ligament reconstruction, Rectus femoris, Tesiomyography, Vastus lateralis, Vastus medialis

### ABSTRACT

Background: The purpose of this study was to identify the comparison of the muscle contractile properties on lower extremity between non-injury and injury in subjects with anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR). Methods: Twenty-four subjects on the post-operative ACLR participated in this study. Measurement method were using tensiomyography to analyze the displacement maximum(Dm) and contraction time(Tc) on the both quadriceps. Results: Compared difference of the Dm between non-injury and injury, the rectus femoris (RF) and vastus lateralis (VL) increased significantly ( $p<.01$ ). However, vastus medialis (VM) no significantly difference between non-injury and injury. Compared difference of the Tc between non-injury and injury, the RF increased significantly ( $p<.01$ ) but VL and VM no significantly difference between non-injury and injury. Conclusions: These findings suggest that occurred muscle atrophy of the RF and VL and change properties of muscle fibers on the RF from fast muscle fibers to slow muscle fibers on the injury side of post-operative ACLR. Therefore, when apply to rehabilitation of lower extremity for post-operative ACLR, we should consider the enhance of RF and VL on injury side.

## I. 서론

슬관절을 구성하는 해부학적 인자 중 십자인대는 넓은 윤활막 내면으로 덮여 있는 관절낭 내 구조물로서 부착 위치에 따라 전십자인대와 후십자인대로 분류하고 있다. 이 중 전십자인대(anterior cruciate ligament; ACL)는 경골 고평부의 앞쪽 과간영역에 있는 약 30 mm 정도의 함요부를 따라 부착되어 있으며 이 부착부위에

서 외측대퇴과의 내측면에 부착하기 위해 약간 후상방 및 외측 방향으로 주행한다(Kopf 등, 2009; Neumann, 2002). ACL은 경골의 과도한 전방 움직임이나 대퇴골의 과도한 후방 움직임을 조절하는 기능적인 역할을 하게 되고 슬관절의 신전 시 안정성을 제공하는 인자로 작용하게 된다.

ACL은 슬관절에서 손상 빈도가 가장 높은 부위로 주로 스포츠 활동에서 손상이 빈번하게 일어나고 있으며 손상기전은 발이 지면에 고정되어 있는 상태에서 대퇴골이 과도하게 외회전 또는 후방 밀림이 발생하는 경우와 과도한 슬관절의 과신전이 발생하는 경우 ACL의 파열 손상을 초래하게 된다(Zeng 등, 2014; Serpell 등, 2012; Neumann, 2002).

교신저자: 김한일(제주권역재활병원, han-il-112@hanmail.net)

논문접수일: 2018.03.27, 논문수정일: 2018.05.08,

게재확정일: 2018.05.09.

전방십자인대 재건술(anterior cruciate ligament reconstruction; ACLR)은 ACL 파열 손상 시 슬개골건(patellar tendon)이나 슬딕건(hamstring tendon) 등의 자가 이식건(autograft tendon) 또는 동종 이식건(allograft tendon)을 이용하여 파열된 인대를 재건하는 정형외과적 수술 방법으로 수술 후 슬관절 안정성과 퇴행성 변화 방지에 효과가 높은 것으로 알려져 있다(Ardern 등, 2011; Kaplan, 2011; Herrington과 Fowler, 2006).

ACL 파열 손상 환자는 손상측 하지 근육의 약화와 근수축 속도의 지연 그리고 보행 패턴의 불안정성 등의 2차적인 문제를 가지고 있으며 특히 대퇴사두근의 약화가 심한 것으로 보고되었다. 이에 따라 ACLR 수술 이후에도 대퇴사두근을 중심으로 손상측 하지 근력 강화와 안정성 회복을 위한 재활운동 프로그램들이 추가적으로 시행되어지고 있다(Darain 등, 2015; Paterno 등, 2010; Liu-Ambrose 등, 2003).

여러 연구자들에 의해 ACLR 수술 후 손상측 하지의 재활치료 프로그램들이 여러 형태로 제시되어졌으며 대부분의 프로토콜들은 시간적인 흐름에 따라 초기(1개월), 중기(3개월), 후기(6개월)로 분리하여 진행하도록 권고하고 있다. 초기단계는 관절 보호를 위해 슬관절 보조기 착용과 관절가동범위의 증가를 목적으로 CPM(continuous passive motion) 장비 적용을 제시하고 있고 중기단계는 손상측 하지의 체중 부하 운동을 통해 근력 강화와 균형조절 훈련을 시행하도록 권고하고 있다. 후기단계는 달리기나 자전거 등과 같은 가벼운 스포츠 활동을 유지하도록 제시하고 있다(Anderson 등, 2016; Wright 등, 2015; Saka, 2014).

특히 중기단계의 체중부하를 통해 이루어지는 닫힌 사슬(closed chain) 운동프로그램에서는 대퇴사두근(quadriceps), 대둔근(gluteus maximus), 슬딕근(hamstring muscle) 등의 특정 근육군을 활성화 하기 위한 선택적 프로토콜이 설정되어지고 실행되도록 권고하고 있다(Sekir 등, 2010; Gerber 등, 2009; Shaw 등, 2005).

하지만 이러한 하지 재활 프로그램들을 임상에서 정확하게 적용하기 위해서는 ACLR 수술 후 양측 하지의 근육 상태를 객관적으로 평가할 수 있는 기초적인 자료가 필요하다. 이에 따라 많은 연구자들이 표면근전도(surface electromyogram; sEMG)를 이용한 근활성도나 등속성(isokinetic) 운동 측정 장비를 이용한 근력 측정을 통해 기초자료를 제시하고 있고 최근에는 근장력계(tensiomyography; TMG) 측정 장비를 이용하여 근수축 특성을 평가하는 연구들도 이루어지고 있지만 아직은

임상에서 사용하기에는 기초자료가 미흡한 실정이다.

이에 본 연구에서는 ACLR 수술 후 양측 하지의 근육 상태를 평가하여 수술 후 효율적인 하지 재활프로그램을 설정하기 하기 위해 TMG 측정 장비를 이용하여 ACLR 환자의 비손상측과 손상측 간에 하지 근수축 특성을 알아보하고자 하였다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상자

본 연구는 D시에 소재하는 GT병원 내의 TMG 측정실에서 진행되었으며, 연구 대상자들은 GT병원에서 ACLR 수술을 시행한 환자를 대상으로 수술 후 4주 이상인 자, CPM 130도 이상인 자, 보조 기구 없이 한발 서기 5초 이상인 자를 선정조건으로 하여 총 24명(남 19, 여 5)을 최종적으로 선정하였다. 이 실험에 참여한 모든 연구대상자들에게 연구절차에 대한 정보와 참여에 대한 동의를 받고 진행하였다. 본 연구는 단일군으로 단면적 연구(cross-sectional study)를 기초하여 연구 설계하였다.

### 2. 측정도구

TMG(Trans-Tekw GK40, Ljubljana, Slovenia)는 근장력(muscle tension)과 근수축 시간(muscle contraction time)을 측정 할 수 있는 장비로 측정자내 신뢰도와( $r=.86$ ), 측정자간 신뢰도( $r=.83$ )가 높은 것으로 보고되었다(Ditroilo 등, 2013; Tous-Fajardo 등, 2010; Krizaj 등, 2008)(Figure 1).

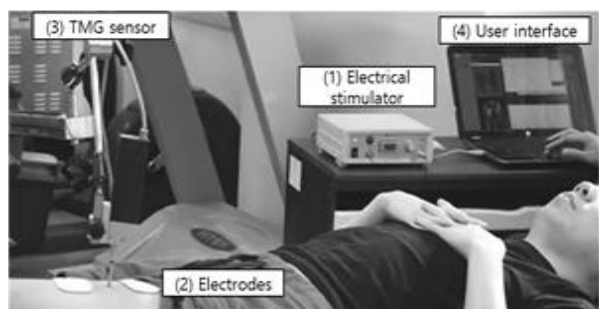


Figure 1. System components of the TMG

### 3. 측정방법

측정부위는 대퇴사두근으로 비손상측과 손상측 각각의 대퇴직근(rectus femoris; RF), 외측광근(vastus lateralis; VL), 내측광근(vastus medialis; VM) 순으로 측정하였으며, 측정자세는 바로 누운 자세로 측정하고자 하는 하지의 슬관절 아래부위에 120도 경사 받침대를

받쳐서 슬관절 주변 근육이 이완되는 자세로 진행하였다. 측정방법은 전극 패드(electrode)를 근육(muscle belly)을 중심으로 5 cm 간격으로 근위부에 빨간색, 원위부에 검정색 전극을 각각 부착한 후 근육(muscle belly) 중심에 TMG 센서를 5 mm 눌러서 고정시켰다. 그런 후 전기자극기(electrical stimulator)를 통해 1m/s의 전기 자극을 주어 Dm과 Tc 수치를 확인하였다. 전기 자극 강도는 최초 40 mA의 자극으로 부터 시작하여 10 mA씩 서서히 증가시켜 Dm값이 최대수치에 이를 때까지 반복 측정하였다(Figure 2).



Figure 2. Measurement of the muscle contractile properties on quadriceps muscles using TMG

#### 4. 분석방법

본 연구에서 수집된 자료들은 SPSS 20.0을 이용하여 통계처리 하였다. 연구 대상자의 일반적인 특성은 기술통계를 사용하였고 손상측과 비손상측 간의 근수축 특성 비교는 대응표본 t-검정(paired t-test)을 하였다. 통계학적 유의수준은  $\alpha=.01$ 로 설정하였다.

### III. 결과

#### 1. 연구대상자의 일반적 특성

연구 대상자는 ACLR 수술을 시행한 후 4주가 경과한 총 24명(남 19, 여 5)으로 좌측 손상이 16명, 우측 손상이 8명이었다. 평균 연령은  $27.42 \pm 10.20$ 세였고, 평균 신장은  $174.63 \pm 8.51$ cm이었으며, 평균 체중은  $76.31 \pm 15.69$ kg이었다(Table 1).

Table 1. General characteristics of subjects

Content	ACLR subjects (n=24)
Age (yrs)	$27.42 \pm 10.20^a$
Height (cm)	$174.63 \pm 8.51$
Weight (kg)	$76.31 \pm 15.69$

<sup>a</sup>Mean $\pm$ SD

#### 2. 비손상측과 손상측 간의 근수축 특성 비교

비손상측과 손상측 간의 Dm을 비교한 결과, RF는 손상측이 통계적으로 유의하게 증가하였으며( $p<.01$ ), VL도 손상측이 통계적으로 유의하게 증가하였다( $p<.01$ ). VM은 손상측이 경미하게 증가하였지만 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Table 2).

비손상측과 손상측 간의 Tc를 비교한 결과, RF는 손상측이 통계적으로 유의하게 길었다( $p<.01$ ). VL과 VM은 손상측이 경미하게 길었지만 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Table 2).

Table 2. Comparison of the muscle contractile properties between non-injury and injury

Muscle	Content	Non-injury	Injury	t
RF	Dm (mm)	$8.43 \pm 2.66^a$	$10.85 \pm 2.60$	$4.662^*$
	Tc (m/s)	$28.38 \pm 5.30$	$32.08 \pm 7.87$	$3.667^*$
VL	Dm (mm)	$5.77 \pm 2.43$	$7.20 \pm 2.12$	$3.862^*$
	Tc (m/s)	$22.56 \pm 4.13$	$23.80 \pm 4.57$	1.860
VM	Dm (mm)	$7.52 \pm 2.08$	$7.77 \pm 1.96$	.625
	Tc (m/s)	$23.37 \pm 3.67$	$24.51 \pm 3.63$	1.437

<sup>a</sup>Mean $\pm$ SD, \* $p<.01$ , RF: Rectus femoris, VL: Vastus lateralis, VM: Vastus medialis, Dm: Displacement maximum, Tc: Time contraction

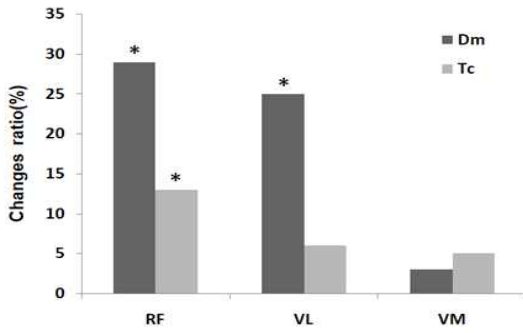
#### 3. 비손상측 기준 대비 손상측의 근수축 차이율

비손상측을 기준으로 손상측의 근수축 차이율을 확인 한 결과, 근장력 수치인 Dm은 RF 29%, VL 25%로 손상측이 비손상측에 비해 통계적으로 유의하게 높았다( $p<.01$ ). VM은 3%로 손상측이 비손상측에 비해 경미하게 높게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Figure 3).

### IV. 고찰

TMG는 한국어 번역에서 근장력계로 명칭하고 있으며, 1980년대 후반에 슬로베니아 Ljubljana 대학의 전자공학과와 재활연구소 그리고 Valdoltra 정형외과 병원이 공동 개발한 것으로 근육의 수축 특성을 측정하는 장비로 출시되었다.

TMG의 측정시스템은 전기 자극기에서 발생된 전기 자극이 근육(muscle belly)의 상하에 부착된 전극패드를 통해 근육의 순간적인 수축을 유도하게 되고 이 수축 반응을 측정 센서가 감지하여 모니터 상에 그래프와 함



**Figure 3.** Comparison of changes ratio of the muscle contractile in injury based on non-injury (\* $p < .01$ , RF: Rectus femoris, VL: Vastus lateralis, VM: Vastus medialis, Dm: Displacement maximum, Tc: Time contraction)

계 수치로 나타내게 된다. 특히 Dm과 Tc는 근수축 특성을 분석하는 중요한 지표로 인식되어 왔으며, Dm은 근육의 긴장도(tone)를 측정하는 수치로 근위축(muscle atrophy)을 평가 할 수 있고 Tc는 수축시간을 통해 지근섬유(slow muscle fiber)와 속근섬유(fast muscle fiber)의 수축 특성을 평가 할 수 있다(김찬 등, 2015; Rusu 등, 2013; Tous-Fajardo 등, 2010).

Hunter 등(2012)은 최대신장수축(maximal eccentric contraction)을 통해 근육 손상을 유발한 후 sEMG의 최대수의수축(maximal voluntary contraction; MVC)의 수치와 혈액검사의 크레아틴 키나제(creatine kinase) 수치 그리고 TMG의 Dm과 Tc 수치를 통해 근기능의 손상 및 회복 단계를 비교 분석하였으며 sEMG의 MVC와 함께 TMG의 Dm이 근육의 손상을 확인 할 수 있는 유용한 방법이라고 하였다. Dahmane 등(2001)은 근육의 조직화학적 검사와 TMG 검사를 비교 분석 한 결과, 지근섬유의 분포량과 TMG의 Tc 수치 간의 상관성이 매우 높은 것으로 보고하였다.

본 연구에서는 ACLR 수술 후 양측 하지의 근육 상태를 평가하여 수술 후 효율적인 하지 재활프로그램을 설정하기 하기 위해 TMG 측정 장비를 이용하여 ACLR 환자의 비손상측과 손상측 간에 하지 근수축 특성을 알아보고자 하였다. 이에 따라 비손상측과 손상측 간의 Dm을 비교한 결과, RF와 VL은 손상측의 Dm 수치가 비손상측 보다 증가하였고 통계적으로 유의한 차이가 있었으며, VM은 손상측의 Dm 수치가 비손상측 보다 경미하게 증가하였지만 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

Pisot 등(2008)은 35일간의 침상안정.bed rest) 후 상지와 하지의 근 위축 정도를 알아보는 TMG 연구에서

상지의 변화는 거의 없는 반면 위축의 변화가 있는 종아리(calf)와 VM은 Dm 수치가 유의하게 증가하였고 초음파 영상으로 측정된 근육 두께가 감소할수록 Dm 수치가 증가한다고 하였다. Alvarez-Diaz 등(2016)과 Alentorn-Geli 등(2015)은 ACL 손상을 당한 축구선수들을 대상으로 비손상측과 손상측의 근수축 특성을 비교한 연구에서 손상측 RF의 Dm, Ts, Tr 수치 증가와 VL의 Tr이 증가한다고 하였고 슬괵근(hamstring)보다 대퇴사두근(quadriceps)의 근육 약화가 더 심한 것으로 보고하였다.

이러한 연구 결과들을 보게 되면 근 위축이 심할수록 Dm 수치가 증가한다는 것을 알 수 있으며, 본 연구에서 ACLR 수술 후 손상측 하지의 RF와 VL의 Dm이 유의하게 증가하였다는 것은 비손상측에 비해 손상측 하지의 RF와 VL의 근위축이 있음을 의미하는 것이다.

본 연구에서 비손상측과 손상측 간의 Tc를 비교한 결과, RF는 손상측의 Tc 수치가 비손상측 보다 길었고 통계적으로 유의한 차이가 있었으며, VL과 VM은 손상측의 Tc 수치가 비손상측 보다 경미하게 길었지만 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

Valencic과 Knez(1997)의 정상인을 대상으로 한 TMG 연구에서 속근섬유(fast muscle fiber) 분포가 많은 대퇴사두근(quadriceps)의 Tc 수치가 짧고 지근섬유(slow muscle fiber) 분포가 많은 가자미근(soleus)은 Tc 수치가 길다고 하였고, Alentorn-Geli 등(2015)은 ACL 손상을 당한 축구선수들을 대상으로 한 TMG 연구에서 손상측 RF의 Tc 수치가 유의하게 길었다고 하였다.

이러한 연구 결과들을 보게 되면 정상적인 상태에서는 지근섬유(slow muscle fiber) 수축 형태가 많을수록 Tc 수치가 길어지고 속근섬유(fast muscle fiber) 수축 형태가 많을수록 Tc 수치가 짧아지는 것을 알 수 있으며, 본 연구에서 ACLR 수술 후 손상측 하지의 RF Tc가 유의하게 증가하였다는 것은 손상측 하지의 RF 근섬유 수축 형태가 속근섬유(fast muscle fiber) 우세에서 지근섬유(slow muscle fiber) 우세 형태로 변한다는 것으로 해석 할 수 있을 것이다.

본 연구에서 비손상측을 기준으로 손상측의 근수축 차이율을 확인 한 결과, 근장력 수치인 Dm은 RF 29%, VL 25%로 손상측이 비손상측에 비해 통계적으로 유의하게 높았으며, VM은 3%로 손상측이 비손상측에 비해 경미하게 높게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 근수축 시간인 Tc는 RF 13%로 손상측이 비손상측에 비해 통계적으로 유의하게 높았으며, VL과 VM은 각각 6%, 5%로 손상측이 비손상측에 비해 경미하게 높게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

de Jong 등(2007)과 Keays 등(2003)은 ACL 손상 후 비손상측과 손상측의 대퇴사두근 근력 차이를 비교한 연구에서 비손상측 대비 손상측이 17%이상의 근력 차이가 있음을 제시하였고, Knezevic 등(2014)은 ACLR 수술 후 비손상측과 손상측의 근력 차이를 비교한 연구에서 손상측의 대퇴사두근이 대략 30% 정도의 근약화가 일어난다고 보고하였다.

이러한 연구 결과들을 보게 되면 ACL 손상 후 손상측의 대퇴사두근이 대략 17~30% 수준의 근력 약화가 나타날 수 있음을 알 수 있다.

본 연구의 제한점으로는 ACLR 환자들을 대상으로 근장력과 근수축 시간을 측정하기 위해 사용되었던 TMG는 임상에서 보편적으로 널리 사용하지 않은 측정 장비로서 아직 많은 연구들이 이루어지지 않은 관계로 다른 근육 측정 장비의 결과와 비교 분석하기에는 어려운 점이 있다. 또한 본 연구는 ACLR 시행 후 비손상측과 손상측 간에 하지 근수축 특성을 알아보기 위해 단일군을 대상으로 한 단면적인 연구 결과로 장기적인 근수축 특성 변화를 확인하기에는 어려운 점이 있다.

따라서 향후 연구에서는 TMG 측정 결과와 다른 근육 측정 장비 결과의 상관성 연구와 ACLR 시행 후 장기적인 근수축 특성 변화 대한 연구가 후속적으로 필요하리라 사료된다.

## V. 결론

본 연구는 ACLR 수술을 시행한 환자군 24명(남 19, 여 5)을 대상으로 TMG 측정 장비를 이용하여 비손상측과 손상측 간에 하지 근수축 특성을 알아보고자 하였으며, 양측 대퇴사두근의 RF, VL, VM에 대해 근장력 수치인 Dm과 근수축 시간인 Tc를 비교 분석하였다.

본 연구의 결과로 ACLR 수술을 시행한 환자군에서 손상측 하지의 RF와 VL의 근위축과 RF 근섬유의 수축 형태가 속근섬유(fast muscle fiber) 우세에서 지근섬유(slow muscle fiber) 우세 형태로 변한다는 것을 확인하였으며, 비손상측 대비 손상측의 근육 약화가 대략 25~29% 정도 일어날 수 있음을 확인하였다. 따라서 임상에서 ACLR 수술을 시행한 환자군의 하지 재활치료를 적용할 때, 손상측의 RF와 VL의 근력 강화를 중점으로 시행하는 것이 임상적으로 유용할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

김찬, 채정훈, 김보경 등. Tensiomyography: 근육 손상의 새로운 평가 방법. 대한스포츠의학회지.

2015;33(2):59-66.

Alentorn-Geli E, Alvarez-Diaz P, Ramon S, et al. Assessment of neuromuscular risk factors for anterior cruciate ligament injury through tensiomyography in male soccer players. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015;23(9):2508-2513.

Alvarez-Diaz P, Alentorn-Geli E, Ramon S, et al. Effects of anterior cruciate ligament injury on neuromuscular tensiomyographic characteristics of the lower extremity in competitive male soccer players. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24(7):2264-2270.

Anderson MJ, Browning WM 3rd, Urband CE, et al. A Systematic Summary of Systematic Reviews on the Topic of the Anterior Cruciate Ligament. *Orthop J Sports Med.* 2016;4(3):2325967116634074.

Ardern CL, Webster KE, Taylor NF, et al. Return to the preinjury level of competitive sport after anterior cruciate ligament reconstruction surgery: two-thirds of patients have not returned by 12 months after surgery. *Am J Sports Med.* 2011;39(3):538-543.

Dahmane R, Valen iV, Knez N, et al. Evaluation of the ability to make non-invasive estimation of muscle contractile properties on the basis of the muscle belly response. *Med Biol Eng Comput.* 2001;39(1):51-55.

Darain H, Alkitani A, Yates C, et al. Antecedent anterior cruciate ligament reconstruction surgery and optimal duration of supervised physiotherapy. *J Back Musculoskeletal Rehabil.* 2015;28(4):877-882.

de Jong SN, van Caspel DR, van Haeff MJ, et al. Functional assessment and muscle strength before and after reconstruction of chronic anterior cruciate ligament lesions. *Arthroscopy.* 2007;23(1):21-28.

Ditroilo M, Smith IJ, Fairweather MM, et al. Long term stability of tensiomyography measured under different muscle conditions. *J*

- Electromyogr Kinesiol. 2013;23(3):558-563.
- Gerber JP, Marcus RL, Dibble LE, et al. Effects of early progressive eccentric exercise on muscle size and function after anterior cruciate ligament reconstruction: A 1-year follow-up study of a randomized clinical trial. *Phys Ther.* 2009;89(1):51-59.
- Herrington L, Fowler E. A systematic literature review to investigate if we identify those patients who can cope with anterior cruciate ligament deficiency. *Knee.* 2006;13(4):260-265.
- Hunter AM, Galloway SD, Smith IJ, et al. Assessment of eccentric exercise-induced muscle damage of the elbow flexors by tensiomyography. *J Electromyogr Kinesiol.* 2012;22(3):334-341.
- Kaplan Y. Identifying individuals with an anterior cruciate ligament-deficient knee as copers and noncopers: A narrative literature review. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2011;41(10):758-766.
- Keays SL, Bullock-Saxton JE, Newcombe P, et al. The relationship between knee strength and functional stability before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Res.* 2003;21(2):231-237.
- Knezevic OM, Mirkov DM, Kadija M, et al. Asymmetries in explosive strength following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee.* 2014;21(6):1039-1045.
- Kopf S, Musahl V, Tashman S, et al. A systematic review of the femoral origin and tibial insertion morphology of the ACL. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2009;17(3):213-219.
- Krizaj D, Simunic B, Zagar T. Short-term repeatability of parameters extracted from radial displacement of muscle belly. *J Electromyogr Kinesiol.* 2008;18(4):645-651.
- Liu-Ambrose T, Taunton JE, MacIntyre D, et al. The effects of proprioceptive or strength training on the neuromuscular function of the ACL reconstructed knee: A randomized clinical trial. *Scand J Med Sci Sports.* 2003;13(2):115-123.
- Neumann DA. *Kinesiology of the Musculoskeletal System.* Mosby. 2002.
- Paterno MV, Schmitt LC, Ford KR, et al. Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport. *Am J Sports Med.* 2010;38(10):1968-1978.
- Pisot R, Narici MV, Simunic B, et al. Whole muscle contractile parameters and thickness loss during 35-day bed rest. *Eur J Appl Physiol.* 2008;104(2):409-414.
- Rusu LD, Cosma GG, Cernaianu SM, et al. Tensiomyography method used for neuromuscular assessment of muscle training. *J Neuroeng Rehabil.* 2013;10:67.
- Saka T. Principles of postoperative anterior cruciate ligament rehabilitation. *World J Orthop.* 2014;18(5(4):450-459.
- Serpell BG, Scarvell JM, Ball NB, et al. Mechanisms and risk factors for noncontact ACL injury in age mature athletes who engage in field or court sports: a summary of the literature since 1980. *J Strength Cond Res.* 2012;26(11):3160-3176.
- Sekir U, Gur H, Akova B. Early versus late start of isokinetic hamstring-strengthening exercise after anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon graft. *Am J Sports Med.* 2010;38(3):492-500.
- 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.
- Tous-Fajardo J, Moras G, Rodriguez-Jimenez S, et al. Inter-rater reliability of muscle contractile property measurements using non-invasive tensiomyography. *J Electromyogr Kinesiol.* 2010;20(4):761-766.
- Valencic V, Knez N. Measuring of skeletal muscles dynamic properties. *Artif Organs.* 1997;21(3):240-242.
- Wright RW, Haas AK, Anderson J, et al. Anterior

Cruciate Ligament Reconstruction Rehabilitation:  
MOON Guidelines. Sports Health.  
2015;7(3):239-243.

Zeng C, Cheng L, Wei J, et al. The influence of the

tibial plateau slopes on injury of the anterior  
cruciate ligament: A meta-analysis. Knee Surg  
Sports Traumatol Arthrosc. 2014;22(1):53-65.