KJAB
Korean Journal of Applied Biomechanics 2023; 33(2): 45-51
http://dx.doi.org/10.5103/KJAB.2023.33.2.45
http://e-kjab.org eISSN 2093-9752

ORIGINAL

The Effect of Strength Training Targeting Medial Quadriceps and Hamstrings on Dynamic Balance

내측 사두거근 및 햄스트링근 강화 훈련이 동적 균형 능력에 미치는 영향

Jiyoung Jeong, Choongsoo S. Shin

Department of Mechanical Engineering, Sogang University, Seoul, South Korea

Received : 14 March 2023
Revised : 10 April 2023
Accepted : 10 April 2023

Corresponding Author
Choongsoo S. Shin
Department of Mechanical Engineering, Sogang University, 35 Baekbeom-ro, Mapo-gu, Seoul 04107, South Korea
Email : cshin@sogang.ac.kr

Objective: The aim of this study was to examine the effect of strength training targeting medial quadriceps/hamstrings and non-targeting strength training on dynamic balance.

Method: A total of 51 healthy subjects were randomly assigned to control, targeting strength training, or non-targeting training groups. To measure the dynamic balance, the star excursion balance test (SEBT) was performed before and after training. The SEBT parameters were compared using repeated measures ANOVA, and post-hoc paired *t* test at a significance level of 0.05.

Results: Greater anterior (p= .011), anteromedial (p= .001), medial (p< .001), lateral (p< .001), and anterolateral (p= .001) reach distances were found between pre- and post-training in the strength training targeting medial thigh muscles group. Only greater lateral reach distance was found after non-targeting strength training (p= .029). In addition, no differences were found for any SEBT scores in the control group.

Conclusion: Strength training targeting medial quadriceps and hamstrings can improve the dynamic balance, thereby it positively affected in lower extremity injury risk, whereas non-targeting strength training rarely changes the dynamic balance.

Keywords: Star excursion balance test (SEBT), Anterior cruciate ligament (ACL) injury, Muscle strength

INTRODUCTION

전방십자인대 부상은 스포츠 활동 중 가장 빈번하게 발생하는 부상 중 하나로, 대부분 비접촉 상황에서 발생한다(Boden, Dean, Feagin & Garrett, 2000). 비접촉 전방십자인대 부상의 생체역학적 위험요인을 조사한 선행연구들에 의하면, 전방십자인대 부상 기전이 무릎관절의 외반(valgus)을 포함한다고 보고하고 있다(Bates, Schilaty, Nagelli, Krych & Hewett, 2019; Hewett et al., 2005; Olsen, Myklebust, Engebretsen & Bahr, 2004; Shin, Chaudhari & Andriacchi, 2009). 비디오 분석 연구에서 전방십자인대 부상이 발생한 시점에서 무릎관절의 외반 및 경골 회전이 관찰되었으며(Krosshaug et al., 2007), 특히 Hewett 등 (2005)은 높은 무릎 외반각 및 외반모멘트가 전방십자인대 부상을 예측할 수 있는 인자라고 보고한 바 있다. 따라서, 전방십자인대 부상을 줄이기 위해 무릎관절의 외반 부하를 줄이기 위한 중재 연구가 필요하다.

Copyright © 2023 Korean Journal of Applied Biomechanics
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Table 1. Anthropometric data for subjects in each intervention group

	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI (kg/m^2)
Control (n=16)	23.1±1.1	174.0±4.0	67.7±6.6	22.3±1.7
Targeted training (n=17)	22.1±1.8	167.0±8.2	59.5±12.0	21.2±2.8
Non-targeted training (n=18)	21.9±1.9	169.6±7.5	64.8±9.2	22.5±2.3

하지의 외측 근육(즉, 외측광근 및 대퇴이두근)이 무릎 외반각 및 모멘트와 관련 있는 반면, 내측 근육들(즉, 내측광근 및 반건양근)은 내반각 및 내반모멘트와 관련 있다는 선행연구가 보고되었다(Besier, Lloyd & Ackland, 2003; Zhang, Xu, Wang & Hendrix, 2001). 또한, 최근 성별에 관계없이 외발착지 동작 시 무릎 외반모멘트와 경골 외회전 모멘트가 외측 대비 내측 대퇴근 근 두께 비율과 음의 상관관계를 보인다고 보고된 바 있다(Jeong, Choi & Shin, 2023). 하지 운동 중 근활성도를 분석한 이전 연구에서는 내측 대퇴 근육들을 선택적으로 활성화하여 내측광근 및 내측 햄스트링근을 독립적으로 훈련할 수 있다고 보고했으며(LeVeau & Rogers, 1980; Lynn & Costigan, 2009), 이를 근거로 무릎 외반각 및 외반모멘트를 줄이기 위해 내측 대퇴근들을 대상으로 한 근력 트레이닝 프로그램이 새로 제안되었다(Jeong, Choi, Kim & Shin, 2020).

일상생활 및 스포츠 활동 중 안정된 자세를 유지하는 능력으로 정의되는 동적 균형 능력은 하지 부상률과 관련이 있다고 보고되고 있다(McGuine, Greene, Best & Leverson, 2000). 동적 균형을 측정하는 방법 중 하나인 스타 익스커션 밸런스 테스트(star excursion balance test, SEBT)는 하지 부상을 예측하거나, 대퇴사두근 결손 및 슬개대퇴 통증 증후군과 같은 근골격계 질환을 선별할 수 있는 측정법으로 보고되고 있다(Earl & Hertel, 2001; Plisky, Rauh, Kaminski & Underwood, 2006). 특히, 트레이닝에 대해 즉각적으로 반응하기 때문에(Gribble, Hertel & Plisky, 2012), 새로 개발된 운동 프로그램의 효과를 쉽고 빠르며, 신뢰성 있게 평가할 수 있다. 따라서 본 연구의 목적은 새로 제안된 내측부 강화 트레이닝 프로그램과 내외측 동시 강화 트레이닝 프로그램이 동적 균형 능력에 미치는 영향을 스타 익스커션 밸런스 테스트를 통해 평가하는 것이다. 본 연구 목적을 달성하기 위해 다음과 같이 가설을 설정한 후 검정하였다. 내측부 강화 트레이닝 그룹에서 내외측 동시 강화 트레이닝 그룹보다 더 높은 동적 균형 능력을 보일 것이다.

METHOD

1. 피실험자

건강한 성인남녀 51명을 대상으로 피실험자를 선정하였으며(Table 1), 수술을 필요로 하는 근골격계 질환의 병력이나 질환의 징후가 있는 피실험자와 최근 6개월 내에 2주 이상 신체 활동을 제한하는 부상 경험이 있는 피실험자는 본 연구에서 제외되었다. 본 실험에 앞서 실험의 내용을 서강대학교 윤리위원회를 통해 검증 받았으며, 피실험자 모두의 참여 의사와 동의서를 받았다.

2. 실험 절차

피실험자들은 무작위로 내측부 강화 트레이닝 그룹, 내외측 동시 강화 트레이닝 그룹, 그리고 대조군에 배정되었다. 내측부 강화 트레이닝 프로그램은 내측광근과 내측 햄스트링근을 선택적으로 강화시키기 위해, 내외측 동시 강화 트레이닝 프로그램은 내외측 대퇴 근육들을 동시에 강화시키기 위해 제안된 운동 프로그램으로, 선행연구 분석 및 해당 분야 전문가와의 협의를 통해 개발되었다(Bottaro, Machado, Nogueira, Scales & Veloso, 2007; Jeong et al., 2020; Lynn & Costigan, 2009; Newton et al., 2002). 피실험자들은 8주 동안 주 3회 운동 프로그램을 수행하였으며, 대조군은 현재의 운동상태를 유지하도록 했다. 내측부 강화 운동 프로그램은 내측 사두거근과 내측 햄스트링근 강화를 목적으로, 와이드 레그 프레스, 바벨 와이드 스쿼트, 레그 익스텐션, 레그 컬(발목 내회전), 볼 스쿼트, 플랭크 레그레이즈(발목 내회전), 볼 브릿지 동작으로 구성되어 있으며, 내외측 동시 강화 운동 프로그램은 레그 프레스, 바벨 스쿼트, 레그 익스텐션, 레그 컬(발목 중립), 스쿼트, 플랭크 레그레이즈(발목 중립), 브릿지 동작으로 구성되어 있다. 운동 시 피험자 간의 근 수축 속도를 제어하기 위해 1~4주에는 1최대반복횟수(RM: Repetition maximum)의 60% 강도로 5초간 1회 동작하도록 제어했으며(1초 근 수축, 2초 수축 위치 유지, 2초 원위치), 5~8주에는 40% 강도로 1초간 1회 동작하도록 진행했다. 브릿지 동작의 경우 60초간 자세

를 유지하는 것을 1세트로, 5~8주에는 30초씩 한 다리로 유지하는 것을 1세트로 설정하여 3세트를 수행하였다.

트레이닝의 효과를 평가하기 위해 10-MHz 선형 프로브를 장착한 B모드 초음파 장치(MicrUs EXT-1H, TELEMED Ultrasound Medical System, Milano, Italy)를 이용해 개별 대퇴근육들의 두께를 측정하였다(Figure 1). 발을 고정시키고 위를 보고 누운 자세에서 대전자(greater trochanter)와 슬개골(patella) 중심 사이 거리의 20% 지점에서 내측광근의 근 두께를 측정하였고, 50% 지점에서 외측광근의 근 두께를 측정하였다(Giles, Webster, McClelland & Cook, 2015). 내외측 햄스트링근은 발이 중립을 이루고 엎드린 자세에서 대전자와 오금 사이 거리의 50% 지점에서 측정을 진행하였다(Palmer, Akehi, Thiele, Smith & Thompson, 2015). 피실험자들은 영상 측정 전에 10분간 누운 자세로 휴식을 취했으며, 측정 전 24시간 동안에는 격렬한 신체 활동을 삼가도록 했다. 영상 깊이(depth)는 70 mm, 게인(gain)은 60 dB, 주파수(frequency)는 10 MHz로 장비를 설정했으며, 측정 위치에 프로브를 종단면(longitudinal) 방향으로 배향하고 수용성 젤을 충분히 사용하여 피부에 압력을 최소한이 되도록 하여 측정하였다. 초음파 영상은 1명의 숙련된 검사자에 의해 측정되었으며, 본 실험에 앞서 동일한 검사자가 다른 날짜에 후속 측정한 결과를 바탕으로 측정일 간 신뢰도를 확보하였다(Jeong et al., 2020).

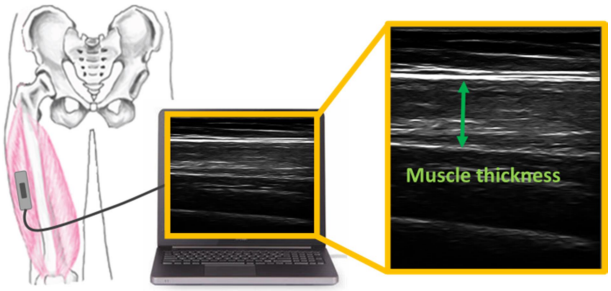

Figure 1. Measuring muscle thickness using ultrasound system

동적 균형 능력을 측정하기 위해 스타 익스커션 밸런스 테스트를 수행하였다. 피실험자들은 한발로 중앙에 지지한 상태에서 바닥에 선으로 표시된 전방, 전내측, 내측, 후내측, 후방, 후외측, 외측, 그리고 전외측 8개의 방향으로 반대쪽 발을 최대한 내딛도록 했다(Figure 2). 피실험자가 (1) 8개 방향으로 반대 발을 내딛는 동안 자세를 유지하지 못하거나, (2) 지지하는 발이 이동하거나, (3) 내딛는 발로 자세를 유지하거나, (4) 내딛은 다리를 되돌리지 못한 경우, 해당 경우는 폐기하고 다시 실험을 반복했다.

3. 데이터 분석

근육의 초음파 영상은 ImageJ 소프트웨어(Version 1.52s, National Institutes of Health, Bethesda, Maryland)를 사용하여 분석하였다. 근육의 두께는 표면 건막(aponeurosis)과 깊은 건막의 수직 거리를 통해 측정했으며, 두 번 측정한 결과값을 평균했다.

스타 익스커션 밸런스 테스트는 전방, 전내측, 내측, 후내측, 후방, 후외측, 외측, 그리고 전외측 각 8개 방향에서의 도달거리를 측정했으며, 상전장골극(anterior superior iliac spines)과 내측 복사뼈(medial malleolus) 사이 거리로 정의되는 다리 길이로 정규화하였다.

4. 통계적 분석

초음파 영상을 통해 획득한 근 두께의 측정일 간 신뢰도를 평가하기 위해 평가자를 고정 효과로 가정하는 이원배치 혼합 효과 모형(two-way mixed effects model)을 사용하였다.

Figure 2. Examples of star excursion balance test

그 결과, 0.961~0.983 사이의 높은 급내상관계수(intraclass correlation coefficient)를 보임을 확인했다(Jeong et al., 2020).

그룹과 시간에 따른 근육의 두께 및 동적 균형 능력 차이를 결정하기 위해 이원배치 분산분석(2-way repeated ANOVA)을 수행하였으며, 트레이닝 전후 차이를 결정하기 위해 통계적으로 유의한 상호작용을 보이는 파라미터에 대해 사후 대응 표본 *t* 검정(유의수준 = 0.05)을 이용해 비교하였다.

RESULTS

1. 근 두께

이원배치 분산분석 결과, 내측광근과 외측광근, 그리고 내측 햄스트링근의 근 두께에서 통계적으로 유의한 상호작용을 보였다(각각 p= .008, p= .029, p= .046). 내측부 강화 트레이닝 후 내측광근은 약 8% (p< .001), 내측 햄스트링근은 약 9% (p< .001) 증가한 반면, 내외측 동시 강화 트레이닝 후에는 외측광근만 약 5% (p= .001) 증가했다(Table 2). 이에 따라 내측부 강화 트레이닝 후 내측:외측 대퇴근 두께 비율이 통계적으로 유의하게 증가했으나(p< .001), 내외측 동시 강화 트레이닝 후에는 그 비율에서 유의한 차이가 없었다(p= .161) (Table 2).

2. 동적 균형 능력

스타 익스커션 밸런스 테스트 결과, 전방, 전내측, 내측, 외측, 전외측 방향 도달거리에서 그룹과 시간에 대해 통계적으로 유의한 상호작용을 보였다(각각 p= .029, p= .004, p= .015, p= .026, p= .004) (Figure 3). 사후 검정 결과, 내측부 강화 트레이닝 후 도달거리는 전방 6% (p= .011), 전내측 8% (p = .001), 내측 11% (p< .001), 외측 14% (p< .001), 전외측 10% (p= .001) 증가했다. 반면 내외측 동시 강화 트레이닝 후에는 외측 도달거리만 약 8% (p= .029) 증가했다. 대조군에서는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Figure 3). 또한 트레

Table 2. Muscle thickness of medial/lateral quadriceps and hamstrings before and after strength training

	Targeted strength training		Non-targeted strength training	
	Pre	Post	Pre	Post
Vastus lateralis (mm)	24.4±3.8	24.6±3.7	23.0±2.9	24.2±2.9*
Vastus medialis (mm)	30.3±4.9	32.7±4.8*	30.2±5.7	30.5±4.7
Biceps femoris (mm)	21.3±3.2	21.8±3.4	21.5±2.6	22.0±2.6
Semitendinosus (mm)	20.6±2.7	22.5±2.8*	21.0±2.4	21.8±2.2
M:L thickness ratio	1.12±0.07	1.19±0.07*	1.15±0.09	1.13±0.07

Note. significant at *p<.05

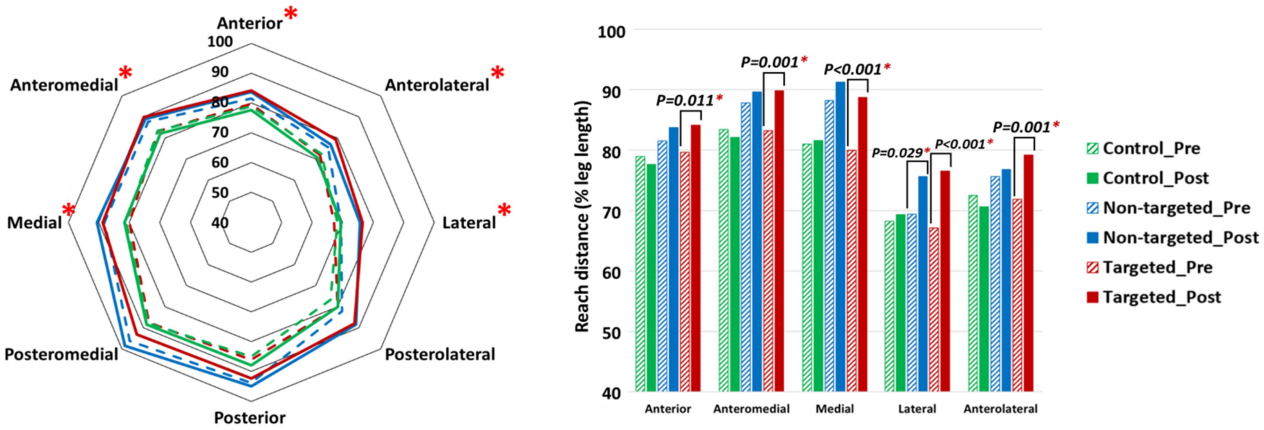

Figure 3. Normalized reach distance during star excursion balance test before and after strength training

이닝 전 그룹 간 도달거리에는 통계적인 차이를 보이지 않았다.

DISCUSSION

본 연구의 목적은 무릎 외반 부하를 감소시키기 위한 목적으로 개발된 내측부 강화 트레이닝 프로그램의 동적 균형 능력을 내외측 동시 강화 트레이닝 프로그램과 비교하여 평가하는 것이다. 그 결과, 내측부 강화 트레이닝 후 전방, 전내측, 내측, 외측, 전외측 스타 익스커션 밸런스 테스트 도달거리가 증가한 반면, 내외측 동시 강화 트레이닝 후에는 외측 도달거리만 증가한 결과를 보였다.

8주간 수행한 내측부 강화 트레이닝을 통해 효과적으로 외측 대퇴근(즉, 외측광근 및 대퇴이두근) 대비 내측 대퇴근(즉, 내측광근 및 반건양근)의 근력이 증가되었다. 본 연구에서는 트레이닝 후 근력의 변화를 초음파 영상을 이용해 측정한 근 두께로 판단하였다. 근육의 두께는 최대 근력과 강한 양의 상관관계를 가지며(Strasser, Draskovits, Praschak, Quittan & Graf, 2013), 선행연구에서 근 두께의 증가는 근력의 증가를 반영한다고 보고하고 있다(Watanabe et al., 2013). 등속성 근력 측정기(isokinetic dynamometer)는 대퇴사두근 및 햄스트링근 그룹의 근력을 측정할 수 있으나 개별 근육의 근력은 측정이 불가능하기 때문에, 초음파 영상을 통해 측정한 근육의 두께를 통해 간접적으로 개별 근력을 예측할 수 있다. 내측부 강화 트레이닝 후 내측광근 및 내측 햄스트링근의 근 두께가 증가함에 따라 외측 대비 내측 대퇴 근 두께 비율도 통계적으로 유의하게 증가한 반면, 내외측 동시 강화 트레이닝 후에는 그 비율이 변하지 않았다. 따라서, 본 연구에서 수행한 내측부 강화 트레이닝이 선택적으로 내측 대퇴 근육들을 증가시켰음을 확인했다.

본 연구에서 내외측 동시 강화 근력 트레이닝 후에는 외측광근의 근 두께만이 증가되었다. 이전 선행연구에서 외측 대퇴근 근력 대비 큰 내측 대퇴근 근력의 비율이 외발착지 동작 중 최대 경골 전방력이 작용할 때 무릎관절의 외반모멘트와 음의 상관관계를 보였다고 보고했다(Jeong et al., 2023). 특정 근육(즉, 내측 대퇴근) 강화를 목표로 하지 않는 근력 트레이닝 수행 시 외측광근 근력의 증가로 인해 무릎 외반모멘트가 증가할 수 있으며, 이는 스포츠 활동 중 전방십자인대 부상 위험을 높일 수 있을 것으로 보여진다(Hewett et al., 2005; Krosshaug et al., 2007). 즉, 전방십자인대 부상 예방 트레이닝 프로그램에는 내측부 강화 트레이닝을 포함시키는 것이 내외측 동시 강화 트레이닝보다 효과적일 것으로 생각된다.

본 연구 결과, 내측부 강화 트레이닝 후 스타 익스커션 밸런스 테스트에서 전방, 전내측, 내측, 외측, 전외측 방향의 도달거리가 증가했고, 내외측 동시 강화 트레이닝 후에는 외측 방향의 도달거리만 증가했다. 이전에 하지 부상률을 감소시키기 위한 목적으로 하지 근력 강화와 코어 강화 트레이닝 프로그램을 결합한 운동 프로그램을 수행한 후 스타 익스커션 밸런스 테스트 도달거리가 증가했다는 선행연구가 보고된 바 있다(Filipa, Byrnes, Paterno, Myer & Hewett, 2010). 스타 익스커션 밸런스 테스트에서 더 먼 도달거리는 더 높은 균형 능력을 필요로 하며, 도달거리의 감소는 높은 하지 부상률과 관계가 있다고 보고되고 있다(Plisky et al., 2006). 따라서, 내측부 강화 트레이닝이 내외측 동시 강화 트레이닝에 비해 동적 균형 능력 향상과 더불어 전방십자인대를 포함한 하지 부상 예방에 있어서 더 효과적일 것으로 보여진다.

이전 선행 연구에서 근력만으로는 스타 익스커션 밸런스 테스트 결과에 영향을 미치지 않았을 수 있다고 보고하고 있다. Thorpe과 Ebersole (2008)은 하지 근력과 스타 익스커션 밸런스 테스트 도달거리 사이에 낮은 상관관계가 있음을 보고하였다. 이는 근력 이외에도 근활성도 및 고유 감각(proprioception)과 같은 다른 요인들 또한 영향을 주기 때문인 것으로 보여진다. 스타 익스커션 밸런스 테스트 동안 균형을 잡기 위해 각 방향에 있어서 서로 다른 근육이 다른 크기의 근활성도를 보이고, 특히 내측 대퇴근의 근활성도가 크게 나타난다(Earl & Hertel, 2001; Norris & Trudelle-Jackson, 2011). 즉, 내측부 강화 트레이닝을 통해 변화된 신경근 운동 제어가 도달거리 증가에 관여했을 것으로 생각된다.

본 연구에서 후방 도달거리에 대해서는 두 트레이닝 모두 차이를 보이지 않았다. 이전 연구에 의하면 스타 익스커션 밸런스 테스트에서 후방 및 후외측 도달 시 외측 햄스트링이 가장 크게 활성화 된다고 보고하고 있다(Earl & Hertel, 2001). 다리를 뒤쪽으로 내딛을 때 균형을 잡기 위해 상체가 앞으로 굽혀지면서 고관절 굽힘 모멘트가 발생하게 되는데(Hesari, Maoud, Ortakand, Nodehi & Nikolaïdis, 2013), 이 굽힘 모멘트에 저항하기 위해 햄스트링에서는 편심성 수축이 증가하게 된다. 따라서 트레이닝 후 변하지 않은 외측 햄스트링 근력으로 인해 후방 도달거리에 차이가 보이지 않았을 것으로 사료된다. 이를 확인하기 위해, 스타 익스커션 밸런스 테스트 시 몸통(trunk) 및 하지관절의 운동학과 운동역학, 그리고 근활성도에 대한 추후 연구가 필요하다.

CONCLUSION

본 연구에서는 전방십자인대 부상 위험 인자 중 하나인 무릎 외반모멘트를 감소시키기 위한 목적으로 새로 제안된 내측부 강화 트레이닝 프로그램과 내외측 동시 강화 트레이닝 프로그램 수행 시 동적 균형 능력을 스타 익스커션 밸런스 테스트를 통해 평가하고자 하였다. 그 결과, 내측부 강화 트레이닝 후 전방, 전내측, 내측, 외측, 전외측 방향의 도달거리

가 증가한 반면, 내외측 동시 강화 트레이닝 후에는 외측 도달거리만 증가한 결과를 보였다. 따라서, 내측부 강화 트레이닝이 내외측 동시 강화 트레이닝보다 동적 균형 능력 향상에 있어서 더 효과적이며, 추후 전방십자인대를 포함한 하지 부상 예방 프로그램에 응용이 가능할 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the Ministry of Education of Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea (NRF-2018S1A5A2A01035058).

REFERENCES

Bates, N. A., Schilaty, N. D., Nagelli, C. V., Krych, A. J. & Hewett, T. E. (2019). Multiplanar Loading of the Knee and Its Influence on Anterior Cruciate Ligament and Medial Collateral Ligament Strain During Simulated Landings and Noncontact Tears. *American Journal of Sports Medicine*, *47*(8), 1844-1853.

Besier, T. F., Lloyd, D. G. & Ackland, T. R. (2003). Muscle activation strategies at the knee during running and cutting maneuvers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *35*(1), 119-127.

Boden, B. P., Dean, C. S., Feagin, J. A. & Garrett, W. E. (2000). Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics*, *23*(6), 573-578.

Bottaro, M., Machado, S. N., Nogueira, W., Scales, R. & Veloso, J. (2007). Effect of high versus low-velocity resistance training on muscular fitness and functional performance in older men. *European Journal of Applied Physiology*, *99*(3), 257-264.

Earl, J. E. & Hertel, J. (2001). Lower-extremity muscle activation during the star excursion balance tests. *Journal of Sport Rehabilitation*, *10*(2), 93-104.

Filipa, A., Byrnes, R., Paterno, M. V., Myer, G. D. & Hewett, T. E. (2010). Neuromuscular training improves performance on the star excursion balance test in young female athletes. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, *40*(9), 551-558.

Giles, L. S., Webster, K. E., McClelland, J. A. & Cook, J. (2015). Can ultrasound measurements of muscle thickness be used to measure the size of individual quadriceps muscles in people with patellofemoral pain? *Physical Therapy in Sport*, *16*(1), 45-52.

Gribble, P. A., Hertel, J. & Plisky, P. (2012). Using the Star Excursion Balance Test to assess dynamic postural-control deficits and outcomes in lower extremity injury: a literature and systematic review. *Journal of Athletic Training*, *47*(3), 339-357.

Hesari, A. F., Maoud, G., Ortakand, S. M., Nodehi, M. A. & Nikolaïdis, P. (2013). The Relationship Between Star Excursion Balance Test and Lower Extremity Strength, Range of Motion and Anthropometric Characteristics. *Medicina Sportiva*, *17*(1), 24-28.

Hewett, T. E., Myer, G. D., Ford, K. R., Heidt, R. S., Colosimo, A. J., McLean, S. G., Van Den Bogert, A. J., Paterno, M. V. & Succop, P. (2005). Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: A prospective study. *American Journal of Sports Medicine*, *33*(4), 492-501.

Jeong, J., Choi, D. H. & Shin, C. S. (2023). Association Between the Medial-Lateral Quadriceps and Hamstring Muscle Thickness and the Knee Kinematics and Kinetics During Single-leg Landing. *Sports Health*, 19417381231152476.

Jeong, J., Choi, D. H., Kim, P. & Shin, C. S. (2020). The effect of strength training of medial quadricep and hamstring on muscle thickness and quality. *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers*, *B*, *44*(9), 575-582.

Krosshaug, T., Nakamae, A., Boden, B. P., Engebretsen, L., Smith, G., Slauterbeck, J. R., Hewett, T. E. & Bahr, R. (2007). Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball: Video analysis of 39 cases. *American Journal of Sports Medicine*, *35*(3), 359-367.

LeVeau, B. F. & Rogers, C. (1980). Selective training of the vastus medialis muscle using EMG biofeedback. *Physical Therapy*, *60*(11), 1410-1415.

Lynn, S. K. & Costigan, P. A. (2009). Changes in the medial-lateral hamstring activation ratio with foot rotation during lower limb exercise. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *19*(3), e197-205.

McGuine, T. A., Greene, J. J., Best, T. & Leverson, G. (2000). Balance as a predictor of ankle injuries in high school basketball players. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, *10*(4), 239-244.

Newton, R. U., Häkkinen, K., Häkkinen, A., McCormick, M., Volek, J. & Kraemer, W. J. (2002). Mixed-methods resistance training increases power and strength of young and older

men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *34*(8), 1367-1375.

Norris, B. & Trudelle-Jackson, E. (2011). Hip- and thigh-muscle activation during the star excursion balance test. *Journal of Sport Rehabilitation*, *20*(4), 428-441.

Olsen, O. E., Myklebust, G., Engebretsen, L. & Bahr, R. (2004). Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: A systematic video analysis. *American Journal of Sports Medicine*, *32*(4), 1002-1012.

Palmer, T. B., Akehi, K., Thiele, R. M., Smith, D. B. & Thompson, B. J. (2015). Reliability of panoramic ultrasound imaging in simultaneously examining muscle size and quality of the hamstring muscles in young, healthy males and females. *Ultrasound in Medicine and Biology*, *41*(3), 675-684.

Plisky, P. J., Rauh, M. J., Kaminski, T. W. & Underwood, F. B. (2006). Star Excursion Balance Test as a predictor of lower extremity injury in high school basketball players. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, *36*(12), 911-919.

Shin, C. S., Chaudhari, A. M. & Andriacchi, T. P. (2009). The effect of isolated valgus moments on ACL strain during single-leg landing: A simulation study. *Journal of Biomechanics*, *42*(3), 280-285.

Strasser, E. M., Draskovits, T., Praschak, M., Quittan, M. & Graf, A. (2013). Association between ultrasound measurements of muscle thickness, pennation angle, echogenicity and skeletal muscle strength in the elderly. *Age*, *35*(6), 2377-2388.

Thorpe, J. L. & Ebersole, K. T. (2008). Unilateral balance performance in female collegiate soccer athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *22*(5), 1429-1433.

Watanabe, Y., Yamada, Y., Fukumoto, Y., Ishihara, T., Yokoyama, K., Yoshida, T., Miyake, M., Yamagata, E. & Kimura, M. (2013). Echo intensity obtained from ultrasonography images reflecting muscle strength in elderly men. *Clinical Interventions in Aging*, *8*, 993-998.

Zhang, L. Q., Xu, D., Wang, G. & Hendrix, R. W. (2001). Muscle strength in knee varus and valgus. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *33*(7), 1194-1199.