PNF and Movement, 2021; 19(1): 79-86
https://doi.org/10.21598/JKPNFA.2021.19.1.79

Print ISSN: 2508-6227
Online ISSN: 2508-6472

Original Article

Open Access

무릎관절 각도에 따른 한 다리 데드리프트 운동시 뒤넙다리근과 넙다리네갈래근의 근활성도 비교

문상재 · 김정욱[1] · 박민철[2†]

경상대학교병원 재활치료실, [1]부산가톨릭대학교 대학원 물리치료학과, [2]부산가톨릭대학교 물리치료학과

Electromyographic Analysis of Hamstrings and Quadriceps Coactivation During Single-limb-deadlift Exercises according to the Angle of the Knee Joint

Sang-Jae Moon, P.T., B.S. · Jeong-Wook Kim, P.T., M.S.[1] · Min-Chull Park, P.T., Ph.D. [2†]

Department of Physical Therapy, Jinju Gyeongsang National University Hospital

[1]Department of Physical Therapy, College of Health Science, Graduated school, Catholic University of Pusan

[2]Department of Physical Therapy, College of Health Sciences, Catholic University of Pusan

Received: December 18, 2020 / Revised: January 20, 2021 / Accepted: January 25, 2021

ⓒ 2021 Journal of Korea Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Association

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 non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

| Abstract |

Purpose: The purpose of this study was to investigate muscle activity according to knee flexion angle during single-limb-deadlift exercises.

Methods: In total, 26 healthy volunteers participated. The single-limb-deadlift consisted of 0°, 15°, and 30° knee joint bending. The electromyography data were collected from the semitendinosus (SM), the biceps femoris (BF), the rectus femoris (RF), the vastus lateralis (VL), and the vastus medialis (VM). In addition, hamstrings and quadriceps (HQ) ratio was measured during the single-limb-deadlift using electromyography.

Results: During the single-limb-deadlift, RF, VL, and VM were significantly higher at 30° bending angles compared to muscle activity of 0° and 15° knee-joint bending. The HQ ratio had significant differences in all three knee joint bending angles. In particular, the single-limb-deadlift carried out to a 30° knee-joint bend showed the closest value to 1.

Conclusion: The most balanced coactivation ratios were observed during a single-limb-deadlift to a 30° knee-joint bend angle. A single-limb-deadlift at a knee-bend angle of less than 30° could be used as an exercise to prevent ACL injury. It could also be used for post-injury rehabilitation programs by increasing knee-joint stability.

Key Words: Coactivation, HQ ratio, Single-limb-deadlift

†Corresponding Author : Min-Chull Park (mcpark@cup.ac.kr)

Ⅰ. 서 론

동시 활성화(coactivation)은 수의적인 근 수축 동안 주동근과 대항근의 동시 수축이다(Wright et al., 2009). 일상생활 동안 동시 활성화는 관절의 안정성과 효율적인 움직임을 제공한다(Wu et al., 2017). 또한 팔에서는 정확한 움직임과 타이밍을, 다리에서는 관절의 안정성을 만들어 준다(Frey-Law & Avin, 2013). 그리고 다리에서 뒤넙다리근과 넙다리네갈래근의 동시 활성화는 무릎관절의 다양한 면에서 안정성을 제공한다(Begalle et al., 2012). 선행연구에서는 무릎관절 근육의 불균형을 평가하기 위한 방법으로 뒤넙다리근-넙다리네갈래근 비율(hamstring to quadriceps ratio, HQ ratio)에 주목하였다(Ruas et al.,. 2019).

60%의 HQ 비율은 ACL 재활 프로그램에 기준으로 사용되며, 앞 십자인대(anterior cruciate ligament, ACL)의 기능과 연관되어 연구가 진행 중이다(Begalle et al., 2012; Myer et al., 2015; Ruas et al., 2019). HQ 비율은 뒤넙다리근 값에 넙다리네갈래근 값을 나눈 값으로, 넙다리네갈래근의 과도한 활동으로 인해 감소된 HQ 비율은 ACL에 스트레스를 증가시켜 부정적인 효과를 가져온다. 또한 ACL은 무릎관절의 안정성을 제공하는 6개의 인대중 하나이고, 정강뼈의 앞 미끄러짐을 일차적으로 제한하여 무릎관절의 과도한 폄을 예방한다(Marieswaran et al., 2018). 그리고 무릎관절이 거의 펴진 상태에서 뒤넙다리근의 불충분한 힘은 ACL 손상 위험을 높인다(Shimokochi & Shultz, 2008). ACL 손상이 가장 많이 발생하는 각도는 15도에서 30도이며, 뒤넙다리근은 무릎관절을 굽힘 시켜 ACL을 보호하는 기능을 한다(Hohmann et al., 2019).

ACL 손상 예방 운동에는 한 다리 스쾃(single-limb squat), 한 다리 데드리프트(single-limb deadlift), 런지(lunge), 노르딕(Nordic) 운동 등이 있으며, 한 다리 데드리프트는 뒤넙다리근과 넙다리네갈래근을 균형 있게 훈련할 수 있는 대표적인 ACL 재활운동이라 하였다(Begalle et al., 2012). 한 다리 데드리프트 운동방법은 한발로 서서 무릎관절을 완전히 폄 또는 살짝 굽힘 상태를 유지하고, 이후에 허리만곡을 중립을 유지하면서 엉덩관절을 천천히 굽혀준다(Begalle et al., 2012; Brumitt et al., 2010). 또한 스포츠 선수의 재활운동에서 몸통 근육과 후면 사슬 근육을 강화시키는 목적으로 한 다리 데드리프트가 추천되고 있다(Weaver & Kerksick, 2017).

ACL 재활 운동의 HQ 비율에 대한 선행연구를 살펴보면, Yudas 등(2007)은 무릎관절 45도 굽힘 상태에서 실시된 한 다리 스쾃의 HQ 비율이 0.62라고 하였다. 또한 Graham 등(1993)은 무릎관절 56도 굽힘 상태애서 실시된 한 다리 스쾃의 HQ 비율이 0.61이라 하였다. Begalle 등(2012)은 무릎관절 90도 굽힘 상태에서 실시된 런지에서 HQ 비율이 0.1이라 하였다. 그리고 Ebben (2009)에 의하면 무릎관절을 15도 굽힘상태에서 실시된 한 다리 데드리프트 시 HQ 비율은 2.91을 보였다.

그러나 30도 이하의 무릎관절 굽힘 각도에서 ACL 손상 위험이 가장 높음에도 불구하고, 대부분의 선행연구에서는 30도 이상의 무릎관절 굽힘 각도에서 실시된 운동의 HQ 비율을 연구한 문헌이 대부분이다. 또한 30도 이하의 굽힘 각도에서 실시된 운동에서도 각도 별 HQ 비율을 비교 분석한 연구는 부족한 현실이다. 따라서 본 연구에서는 30도 이하의 무릎관절 굽힘 각도에서 실시할 수 있는 한 다리 데드리프트 운동을 실시하고, 뒤넙다리근과 넙다리네갈래근의 근활성도를 비교하여 가장 효과적인 운동 방법을 제시하고자 한다.

Ⅱ. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 26명의 건강한 대상자를 모집하여 연구를 진행하였다. 모든 대상자는 연구과정과 목적에 대한 설명을 들었으며, 연구에 자발적으로 동의한 자에 한하여 선정하였다. 그리고 선천적 또는 후천적인 근골격계 질환을 갖고 있는 자, 운동수행이 불가능하거

나 통증이 있는 자, 90-90 뻗은 다리 올림 검사에서 무릎관절의 폄 각도가 -20도 이상인 사람은 뒤넙다리근의 단축이 있는 자로 판단하여 연구 대상자에서 제외하였다.

2. 측정방법 및 도구

1) 근활성도 측정

본 연구에서는 뒤넙다리근과 넙다리네갈래근의 근활성도를 측정하기 위한 도구로 표면 근전도(Telemyo DTS 12CH, Noraxon, USA)를 이용하였다. 표면 전극은 피부에 발생하는 저항을 감소시키기 위해 알코올 솜으로 이물질을 닦아낸 뒤 Ag/AgCI 전극을 부착하였다. 모든 데이터는 우세 측 다리를 이용하여 측정하였으며, 우세 측 다리는 공을 가장 멀리 찰 수 있는 쪽을 우세 측 다리로 선정하였다. 우세 측 다리의 전극은 다음과 같은 근육 부위에 부착하였다.

넙다리두갈래근(biceps femoris)은 정강뼈의 가쪽 위관절융기(lateral epicondyle)와 궁둥뼈 결절(ischial tuberosity)을 연결한 선의 중간 위치, 반힘줄근(semitendinosus)은 정강뼈의 안쪽 위관절 융기와 궁둥뼈 결절을 잇는 선의 중간 위치, 넙다리곧은근(rectus femoris)은 무릎과 위앞엉덩뼈가시(anterior superior iliac spine, ASIA) 사이 중앙 지점, 안쪽넓은근(vastus medialis)은 ASIS에서 무릎 가 쪽 부위를 잇는 선의 2/3지점에 부착하였다(hermens et al., 2000). 근전도 신호의 주파수 대역폭과 표본추출률은 각각 1,000Hz와 20~450Hz로 설정하였다. 수집된 근활성도 신호는 프로그램을 통해 실효치 진폭(root mean square, RMS)으로 기록하였다.

측정된 각 근육의 활동전위를 표준화하기 위해서 최대 수의적 등척성 수축(maximum voluntary isometric contraction, MVIC)을 측정하였다. 각 근육의 MVIC 값은 5초간 3회 실시 후 처음과 끝의 각 1초가 제외된 3초 동안의 평균 신호량을 %MVIC로 환산하여 표준화하였다.

2) 뒤넙다리근-넙다리네갈래근 동시활성화 비율 (hamstring to quadriceps coactivation ratio)

뒤넙다리근과 넙다리네갈래근의 동시 수축을 분석하기 위해 Hamstring/Quadriceps 비율을 사용하였으며, 반힘줄근과 넙다리두갈래근의 %MVIC의 평균값을 합한 값에, 안쪽넓은근과 가쪽넓은근의 %MVIC의 평균값을 합한 값으로 나누어 계산하였다(Ervilha et al., 2012; Ruas et al., 2019).

3. 실험 절차

본 연구의 대상자는 가벼운 반바지와 반팔 티 차림에 신발은 신지 않고 실험에 참여하였다. 측정 전 한 다리 데드리프트 운동을 정확하고 안전하게 수행할 수 있을 때까지 10분 이상의 충분한 교육을 받았다. 한 다리 데드리프트 운동은 0도, 15도, 30도의 무릎관절 굽힘 상태에서 각각 10초간 3회 실시하였다. 무릎 각도별 운동을 수행할 때 10초간 측정 후 처음과 마지막 3초를 각각 제외한 4초간 평균값을 자료분석에 사용하였다. 3개의 운동 순서는 무작위 추첨을 통해 순서를 정하였고, 근 피로를 최소화하기 위해 무릎 관절 각도별 운동에 따라 3분간의 휴식시간을 2회, 동일한 운동 수행 시에는 1분간의 휴식 시간을 2회 제공하였다.

한 다리 데드리프트 운동방법은 대상자는 우세 측 다리 쪽 팔을 90도 어깨관절 굽힘을 유지하고 두발로 선다. 측정 자는 각도기를 이용하여 대상자의 무릎관절을 측정 각도로 설정하고 굽힘 상태를 유지하게 하였다. 신호음이 울리면 대상자는 반대 측 다리는 지면에서 발을 떼어 측정 다리로 만 한발 서기를 실시한다. 이후에 무릎관절의 굽힘 상태를 유지하고, 허리 만곡을 중립을 유지하면서 몸을 앞으로 숙여 천천히 엉덩관절을 굽힌다. 우세 측 다리쪽의 팔이 지면과 수직이 될 때까지 엉덩관절의 굽혀 자세를 유지한다. 끝을 알리는 신호음이 들리면 천천히 바로 선 자세로 되돌아온다. 모든 측정은 우세 측 다리를 이용하여 측정하였다(Fig. 1).

Fig. 1. Single-limb-deadlift. A) 0° Knee flexion, B) 15° Knee flexion, C) 30° Knee flexion.

4. 자료 분석

본 연구에서는 무릎관절 각도에 따른 한 다리 데드리프트 운동 시 뒤넙다리근과 넙다리네갈래근의 근활성도를 비교하기 위하여 일원 배치 분산분석(one-way ANOVA)를 사용하였다. 무릎 각도에 따른 HQ 비율의 차이를 알아보기 위한 사후분석방법으로는 Dunnett T3의 다중비교 분석을 실시하였다. 수집된 자료는 SPSS 18.0 for Windows 프로그램을 이용하였고, 통계적 유의수준은 0.05로 하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 연구 대상자의 일반적인 특성

본 연구에 참가한 26명의 대상자는 건강한 성인으로 연령은 24.69±3.21세, 키는 167.08±8.72cm, 몸무게는 63.62±13.64kg이었다. 그리고 참여 대상자는 남성 11명과 여성 15명으로 구성되었다.

2. 무릎 각도에 따른 근활성도 비교

무릎관절 각도에 따른 한 다리 데드리프트 운동 시 뒤넙다리근과 넙다리네갈래근의 근활성도는 다음과 같다(Table 1). 넙다리두갈래근의 근활성도는 모든 각도에서 유의한 차이가 없었다($p>0.05$)(Fig. 2). 반힘줄근의 근활성도는 모든 각도에서 유의한 차이가 없었다($p>0.05$) (Fig. 2). 넙다리곧은근의 근활성도는 30도 무릎 굽힘 각도가 0도 무릎 굽힘 각도와 15도 무릎 굽힘 각도에 비해 유의하게 높았다($p<0.05$)(Fig. 3). 가쪽넓은근의 근활성도는 30도 무릎 굽힘 각도가 0도 무릎 굽힘 각도와 15도 무릎 굽힘 각도에 비해 유의하게 높았다($p<0.05$)(Fig. 3). 안쪽넓은근의 근활성도는 30도 무릎 굽힘 각도가 0도 무릎 굽힘 각도와 15도 무릎 굽힘 각도에 비해 유의하게 높았다($p<0.05$)(Fig. 4). HQ 비율은 모든 각도에서 유의한 차이가 있었다($p<0.05$)(Fig. 4).

Table 1. Comparison of activation of quadriceps and hamstring muscles among single-limb-deadlift exercises (n=26)

	0°	15°	30°	F	p
BF (%MVIC)	25.82±9.22	24.36±10.48	22.85±11.29	0.53	0.59
ST (%MVIC)	24.30±9.31	23.15±9.63	23.22±8.92	0.36	0.70
RF (%MVIC)	5.26±2.79[a]	6.33±3.22[a]	9.69±4.09[b]	11.94	0.00 *
VL (%MVIC)	12.74±8.24[a]	15.56±6.78[a]	23.60±9.88[b]	11.70	0.00*
VM (%MVIC)	9.10±6.38[a]	11.18±7.26[a]	17.71±9.67[b]	8.42	0.00*
HQ ratio	2.99±1.67[c]	1.99±0.89[b]	1.24±0.62[a]	15.02	0.00*

BF: biceps femoris, ST: semitendinosus, RF: rectus femoris, VL: vastus lateralis, VM: vastus medialis,
HQ: hamstring/quadriceps
The values with different superscripts [a, b, c] in the same column are significantly different ($p<0.05$).

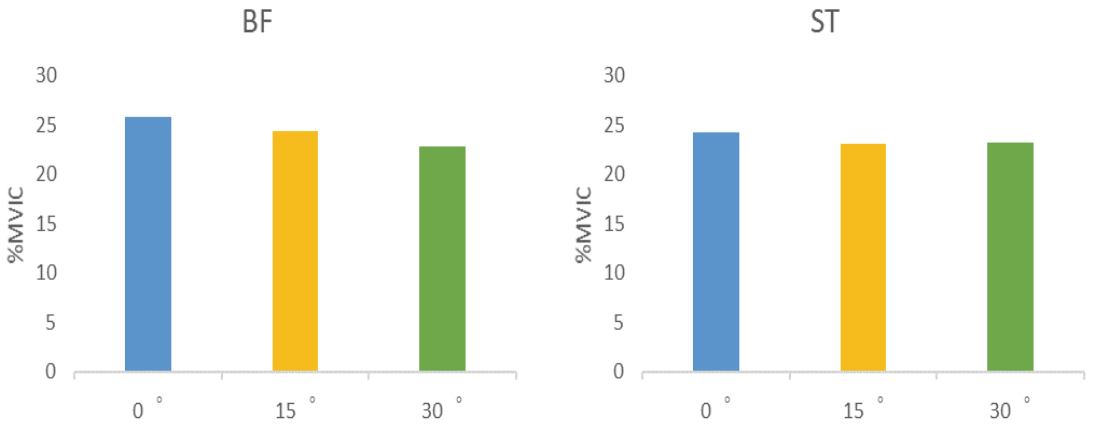

Fig. 2. Activation of biceps femoris and semitendinosus among single-limb-deadlift.

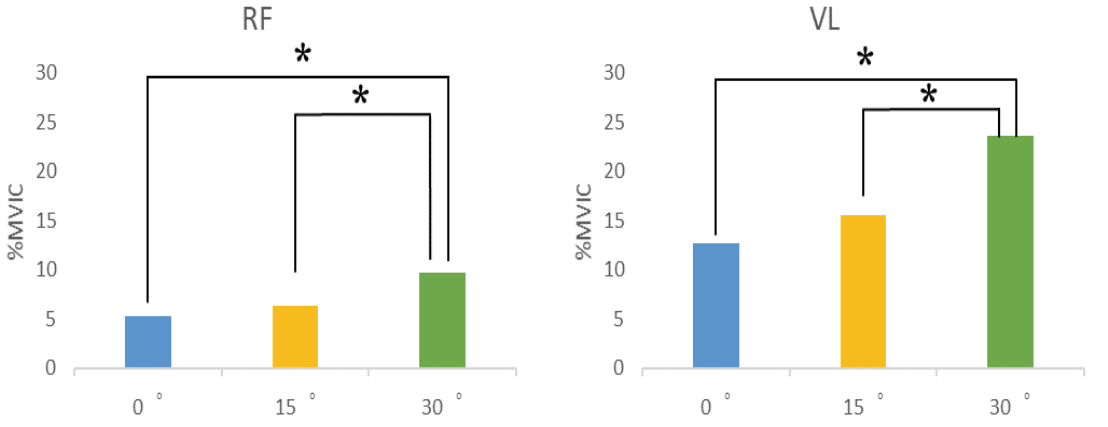

Fig. 3. Activation of rectus femoris and vastus lateralis among single-limb-deadlift.

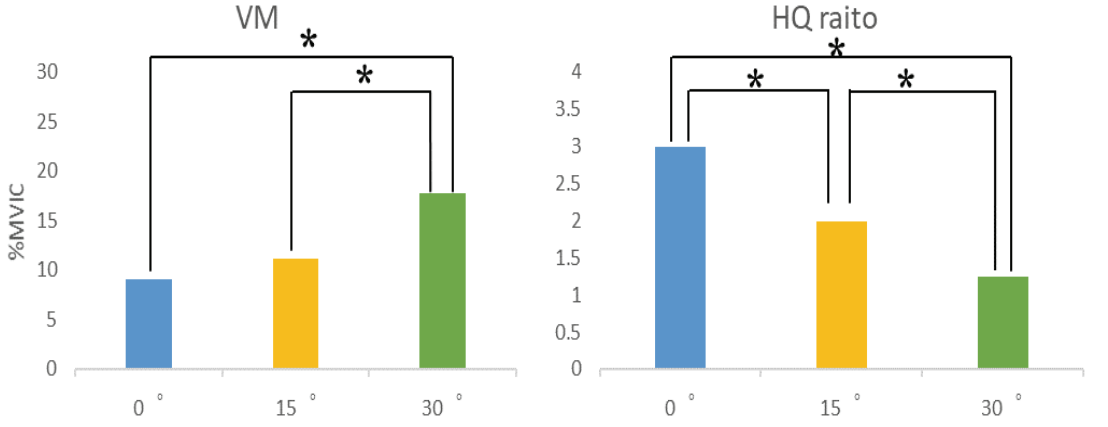

Fig. 4. Activation of vastus medialis and HQ ratio among single-limb-deadlift.

Ⅳ. 고 찰

본 연구의 목적은 무릎관절 굽힘 각도에 따른 한 다리 데드리프트 운동 시 뒤넙다리근과 넙다리네갈래근의 근활성도와 HQ 비율을 비교하는 것이었다. 넙다리네갈래근의 근활성도는 30도 무릎관절 굽힘 상태에서 실시된 한 다리 데드리프트 운동만이 다른 각도에서 실시된 운동에 비교하여 증가된 근활성도를 보였다. Ritzmann 등(2013)은 선 자세에서 무릎관절의 굽힘 각도에 따른 근활성도를 비교 분석하였는데, 굽힘 각도가 10도에서 30도로 증가함에 따라 넙다리곧은근과 안쪽넓은근의 근활성도가 증가함을 보였다. 또한 Pinivero 등(2004)은 무릎관절이 0도에서 70도로 굽힘 시 넙다리네갈래근의 힘이 증가하였는데, 이는 무릎관절의 굽힘 각도의 변화로 토크 값 증가 대한 보상작용이라 보고하였다. 넙다리네갈래근은 무릎관절의 안정성을 형성하는 일차적인 역할을 하며, 근육 약화 시에는 신경근 조절에 대한 능력 감소로 병리학적인 관절 움직임이 나타난다(Segal & Glass, 2011). 그리고 계단 내려오기와 같이 무릎관절이 굽혀질 때 넙다리네갈래근의 수축은 넙다리뼈의 앞쪽으로의 이동을 막아주고, 무릎관절의 앞쪽에 안정성을 만들어준다(Borque et al., 2015).

뒤넙다리근의 근활성도는 모든 무릎관절 굽힘 각도에서 유의한 차이가 없었다. 무릎관절 0도에서 뒤넙다리근의 굽힘력은 무릎관절 90도의 굽힘력에 비교하여 49%밖에 낼 수 없다 (Noyes & Barber-Westin, 2012). 이에 한 다리 데드리프트 운동 시 0도에서 30도의 무릎관절 굽힘 각도는 뒤넙다리근이 기능을 하기에는 적아서, 뒤넙다리근의 근활성도는 무릎관절 굽힘 각도에 따른 변화에 영향을 미치지 못한 것으로 여겨진다. 그러나 뒤넙다리근의 근활성도는 모든 무릎관절 각도에서 넙다리네갈래근보다 높게 나타났다. 한 다리 데드리프트는 엉덩관절 굽힘과 폄을 통해 뒤넙다리근을 강화시키는 운동이다. 특히 본 연구에서 실시한 한 다리 데드리프트 자세는 엉덩관절이 굽혀진 상태이기 때문에, 뒤넙다리근이 엉덩관절 굽힘 자세를 유지하기 위한 등척성 수축의 발생으로 근활성도가 넙다리네갈래근에 비해 높게 나타났다고 생각된다. 뒤넙다리근과 넙다리네갈래근은 무릎관절과 엉덩관절에 작용하는 두 관절 근육으로, 엉덩관절 굽힘의 증가는 뒤넙다리근 길이의 증가, 넙다리곧은근의 단축 그리고 후 전단력을 형성한다(Kulas et al., 2012). 또한 한발서기에서는 엉덩관절의 폄과 비교하여, 엉덩관절의 굽힘시 전방전단력이 감소한다고 하였다(Kulas et al., 2010). 그래서 한 다리 데드리프트 운동으로 뒤넙다리근의 증가된 근활성도는 전방 전단력을 감소시킴에 따라 ACL 손상을 예방하는 데 도움이 될 수 있을 것이다(More et al., 1993).

HQ 비율은 모든 무릎관절 각도에서 유의한 차이가 있었다. 본 연구 결과에서 무릎관절이 0도에서 30도로 굽혀지면서 HQ 비율이 유의하게 감소하여 1에 가까워졌다. 이러한 이유는 뒤넙다리근의 근활성도는 차이가 없었지만, 넙다리네갈래근의 근활성도가 증가하였기 때문이다. 또한 HQ 비율은 모든 각도에서 1 이상의 비율을 보였다. 본 연구에서 실시한 한 다리 데드리프트는 몸통을 90도까지 숙였다. 몸통을 숙임으로 인하여 엉덩관절의 굽힘이 발생하였고, 이러한 이유로 몸통을 지면에서 수직으로 세운 자세에서의 무릎관절을 굽힌 연구보다 뒤넙다리근의 활성이 높게 나타났다고 여겨진다. Begalle 등(2012)에 의하면 엉덩관절 굽힘 각도가 적은 한 다리 스쾃이 한 다리가 데드리프트 보다 HQ 비율이 낮았다고 보고하였다. 그리고 HQ 비율은 0도에서 가장 높은 2.99를 15도에서는 1.99의 비율을 보였다. HQ 비율이 높으면 뒤넙다리근의 근활성도가 높아 뒤넙다리근 강화 운동에 이익이 있을 수 있으나, 본 연구에서는 HQ 동시 활성화 비율의 균형 증진이 목적이기 때문에, 2.99의 HQ 비율인 0도보다 1에 가까운 30도에서의 운동을 추천할 수 있을 것이라 생각된다. 또한 30도와 15도 그리고 0도 모두 뒤넙다리근의 근활성도는 차이가 없었고, 무릎관절 굽힘 각도가 증가함과 더불어 넙다리네갈래근의 근활성도가 함께 증가하였기 때문에, 이러한 이유로 HQ 비율이 1에 가까워졌다. 그래서 HQ 비율이 높다고 뒤넙다리근의

강화 목적으로 0도를 추천하기는 어렵다고 여겨진다. HQ 비율은 무릎관절 30도에서 1에 가장 가까운 값을 보였다. 선행연구에서 Hcon/Qcon 토크 값 비율이 0.6 미만일 때, Hecc/Qcon 토크 값 비율은 1미만일 때 ACL 손상 위험이 높다고 하였다(Aagaard et al., 1998). 그리고 HQ 동시 활성화 비율은 EMG를 활용하여 뒤넙다리근 값에 넙다리네갈래근의 값을 나누어 계산할 수 있으며, 동등하거나 1에 가까울수록 균형 있는 근활성도를 의미한다고 하였다(Begalle et al., 2012). Coombs 등(2002)은 1의 HQ 비율은 넙다리네갈래근의 구심성 수축에 대한 뒤넙다리근의 완전한 제동 능력을 나타낸다고 하였다. 그리고 무릎관절 각도별 토크 값의 Hecc/Qcon 비율에서도 1의 비율을 추천하며, 무릎관절 굽힘 각도가 30도에서 1에 가장 가까운 값을 보였다 (Garbutt & Road, 2002). 또한 ACL에 가해지는 스트레스는 무릎관절 30도가 다른 각도와 비교하여 가장 적었다 (Marieswaran et al., 2018).

무릎관절의 안정성은 다양한 면에서 형성된다. 무릎관절은 시상면에서 굽힘-폄, 수평면에서 안쪽 돌림-바깥 돌림 그리고 이마면에서는 내반-외반을 조절한다(Shimokochi & Shultz, 2008). 하지만 본 연구에서는 시상면에서의 근활성도만을 비교하였다. 그리고 HQ 비율은 무릎관절뿐만 아니라 엉덩관절의 굽힘 각도와도 연관이 있으나, 본 연구에서는 무릎관절의 30도 이하의 굽힘에서만 HQ 비율을 측정하였다. 또한 본 연구에서 뒤넙다리근의 근활성도가 넙다리네갈래근에 비해 높게 나타났는데, 한 다리 데드리프트 시 엉덩관절이 굽혀지면서 체중심이 무릎관절 앞쪽으로 이동하게 되고, 이에 뒤넙다리근의 근활성도가 크게 증가함을 보였다. 그래서 한 다리 데드리프트시 무릎관절보다 엉덩관절에서의 각도가 HQ 비율에 크게 영향이 있을 것으로 여겨진다. 그리고 본 연구에서 대상자에게 무릎관절 각도 유지에 대한 피드백 장치가 없어 운동 수행 불가로 제외되는 대상자가 많았다. 후속 연구에서는 무릎 관절 각도에 대한 피드백 할 수 있는 장치를 적용하여, 무릎관절의 다양한 면과 함께 엉덩관절의 굽힘 각도에 따른 HQ ratio에 대한 연구도 이루어졌으면 한다.

Ⅴ. 결 론

무릎관절 30도 이하 굽힘에서의 한 다리 데드리프트는 넙다리네갈래근보다 뒤넙다리근의높은 근활성도를 보여 ACL 손상 예방 운동에 추천할 수 있을 것이다. 그리고 30도 굽힘 상태에서 실시된 한 다리 데드리프트는 가장 적절한 HQ 비율을 보여 무릎관절의 안정성을 위한 운동으로 추천한다.

Acknowledgements

이 논문은 2020학년도 부산가톨릭대학교 교내 연구비로부터 연구 되었음.

References

Aagaard P, Simonsen E, Magnusson S, et al. A new concept for isokinetic hamstring: quadriceps muscle strength ratio. *The American journal of sports medicine.* 1998;26(2):231-237.

Begalle R, DiStefano L, Blackburn T, et al. Quadriceps and hamstrings coactivation during common therapeutic exercises. *Journal of athletic training.* 2012;47(4): 396-405.

Borque K, Gold J, Incavo S, et al. Anteroposterior knee stability during stair descent. *The Journal of arthroplasty.* 2015;30(6):1068-1072.

Brumitt J, Gilpin H, Brunette M, et al. Incorporating kettlebells into a lower extremity sports rehabilitation program. *North American Journal of Sports Physical Therapy: NAJSPT.* 2010;5(4):257.

Coombs R, Garbutt G. Developments in the use of the hamstring/quadriceps ratio for the assessment of

muscle balance. *Journal of sports science & medicine*. 2002;1(3):56.

Ebben W. Hamstring activation during lower body resistance training exercises. *International journal of sports physiology and performance.* 2009;4(1):84-96.

Ervilha U, Graven-Nielsen T, Duarte M. A simple test of muscle coactivation estimation using electromyography. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research.* 2012;45(10):977-981.

Frey-Law L, Avin K. Muscle coactivation: a generalized or localized motor control strategy? *Muscle & nerve.* 2013;48(4):578-585.

Graham L, Gehlsen M, Edwards A. Electromyographic evaluation of closed and open kinetic chain knee rehabilitation exercises. *Journal of athletic training*. 1993;28(1):23.

Graham-Smith P, Jones P, Comfort P, et al. Assessment of knee flexor and extensor muscle balance. *International Journal of Athletic Therapy and Training*. 2013;18 (5):1-5.

Hermens H, Freriks B, Disselhorst-Klug C, et al. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of electromyography and Kinesiology*. 2000;10(5):361-374.

Hohmann E, Tetsworth K, Glatt V. The hamstring/quadriceps ratio is an indicator of function in ACL-deficient, but not in ACL-reconstructed knees. *Archives of orthopaedic and trauma surgery.* 2019;139(1):91-98.

Kulas A, Hortobágyi T, DeVita P. Trunk position modulates anterior cruciate ligament forces and strains during a single-leg squat. *Clinical biomechanics.* 2012;27 (1):16-21.

Kulas A, Hortobágyi T, DeVita P. The interaction of trunk-load and trunk-position adaptations on knee anterior shear and hamstrings muscle forces during landing. *Journal of athletic training*. 2010;45(1): 5-15.

Marieswaran M, Jain I, Garg B, et al. A review on biomechanics of anterior cruciate ligament and materials for reconstruction. *Applied bionics and biomechanics.* 2018:1-14.

More R, Karras B, Neiman R, et al. Hamstrings—an anterior cruciate ligament protagonist: an in vitro study. *The American journal of sports medicine*. 1993;21(2): 231-237.

Myer G, Ford K, Di Stasi S, et al. High knee abduction moments are common risk factors for patellofemoral pain (PFP) and anterior cruciate ligament (ACL) injury in girls: is PFP itself a predictor for subsequent ACL injury? *British journal of sports medicine*.2015;49(2): 118-122.

Noyes F, Barber-Westin S. ACL injuries in the female athlete: causes, impacts, and conditioning programs. Berlin. Springer. 2018.

Ruas C, Pinto R, Haff G, et al. Alternative methods of determining hamstrings-to-quadriceps ratios: a comprehensive review. *Sports medicine-open*. 2019;5 (1):11.

Segal N, Glass N. Is quadriceps muscle weakness a risk factor for incident or progressive knee osteoarthritis? *The Physician and sportsmedicine*. 2011;39(4):44-50.

Shimokochi Y, Shultz S. Mechanisms of noncontact anterior cruciate ligament injury. *Journal of athletic training.* 2008;43(4):396-408.

Weaver A, Kerksick C. Implementing landmine single-leg romanian deadlift into an athlete's training program. *Strength & Conditioning Journal*. 2017;39(1):85-90.

Wright J, Ball N, Wood L. Fatigue, H/Q ratios and muscle coactivation in recreational football players. *Isokinetics and exercise science*. 2009;17(3):161-167.

Wu R, Delahunt E, Ditroilo M, et al. Effect of knee joint angle and contraction intensity on hamstrings coactivation. *Medicine & Science in Sports & Exercise.* 2017;49(8):1668-1676.

Youdas W, Hollman H, Hitchcock R, et al. Comparison of hamstring and quadriceps femoris electromyographic activity between men and women during a single-limb squat on both a stable and labile surface. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2007;21 (1):105.