

뼈대근육량과 근피로가 무릎관절 고유수용성 위치감각에 미치는 영향

박수경¹ · 박강희^{2*}

¹우송대학교 물리치료학과 교수, ^{2*}동주대학교 물리치료과 교수

The Effects of Skeletal Muscle Mass and Muscle Fatigue on the Proprioceptive Position Sense of the Knee Joint

Park Sookyong, PT, Ph.D¹ · Park Kanghui, PT, Ph.D^{2*}

¹Dept. of Physical Therapy, Woosong University, Professor

^{2*}Dept. of Physical Therapy, Dong-ju College, Professor

Abstract

Purpose : Proprioceptive position sense plays a key role in providing joint stability, and multiple factors are related to proprioceptive position sense. Thus, this study aimed to determine the effects of body composition, particularly skeletal muscle mass on proprioceptive position sense following muscle fatigue.

Methods : Healthy female subjects agreed to have their body composition analyzed. Only subjects who had 18.5-22.9 kg/m² of BMI (body mass index) were included in this study, and the participants were divided into two groups by skeletal muscle mass level. The experimental group had a level of skeletal muscle lower than the standard level (n=9), while the control group showed a standard or high level of skeletal muscle mass (n=11). To determine the change in proprioceptive position sense of the knee joint, the absolute angle error (AAE) was evaluated following muscle fatigue on low extremity. The muscle fatigue was induced by isokinetic resistance exercise program of Biodex system. AAE was measured by the Biodex system and compared the result before and after muscle fatigue.

Results : The experimental group showed a significant AAE difference between before (3.16±2.48 °) and after (5.40±2.61 °) muscle fatigue. In addition, there was a AAE difference between the experimental (5.40±2.61 °) and control groups (3.53±1.67 °) after fatigue; however, there was no significance. Those results indicated that low level of skeletal muscle mass might influence the proprioceptive position sense of the knee joint after muscle fatigue.

Conclusion : Thus, maintaining the proper level of skeletal muscle mass is pivotal to reduce the risk of injury following muscle fatigue in ADL or sport activities.

Key Words : joint stability, muscle fatigue, proprioceptive position sense, skeletal muscle mass

*교신저자: 박강희, jspt95@hanmail.net

논문접수일 : 2020년 4월 1일 | 수정일 : 2020년 4월 24일 | 게재승인일 : 2020년 5월 8일

※ 본 연구는 한국연구재단의 지원을 받아 수행됨(NRF-2014R1A1A3051724 to Sookyong Park).

I. 서론

고유수용성감각(proprioception)은 신체의 위치, 자세 및 평형 등에 대한 감각으로, 특히 움직임의 방향, 크기 및 속도를 포함하는 관절의 운동을 구별할 수 있다(Park 등, 2012; Proske & Gandevia, 2012). 이러한 고유수용성감각은 자세와 운동을 조절할 뿐만 아니라, 동적 안정성 유지에 관여하는데(Jeong과 Kim, 2017), 고유수용성감각에 기여하는 기계수용체를 고유수용감각체(proprioceptor)라고 하며, 이는 주로 근육, 근막, 힘줄, 관절 및 피부 등에 존재하면서 균형 조절과 기능적 안정성을 유지하는데 중요한 피드백을 제공한다(Cho & Yoon, 2019). 고유수용성감각은 신체의 관절위치를 지각하는 위치감각(position sense)과 동적 움직임을 감지하는 운동감각(motor sense)으로 구분되는데(Kang 등, 2013), 위치감각은 일반적으로 시각정보 없이 팔과 다리의 위치를 평가하는 능력이며, 대부분의 상황에서 사람은 눈으로 보지 않고도 다른 신체 부위에 대하여 특정 신체 부위가 어떻게 움직이는지 의식적으로 자각할 수 있다(Bouët & Gahéry, 2000). 고유수용성감각의 수준을 평가하기 위해 관절의 위치감각 및 운동감각을 측정하는 방법이 주로 사용되는데(Armstrong 등, 2008), 관절을 미리 정해 놓은 지점(pre-determined position)으로 정확하게 재위치(re-positioning) 하거나(de Vries 등, 2015), 혹은 사전에 설정된 해당 각도를 감각적으로 기억한 후 이를 가능한 만큼 정확하게 재연하는 표적위치(target position) 찾기 등의 방법이 대표적으로 사용된다(Reddy 등, 2019). 고유수용성감각은 여러 다양한 원인에 의해 영향을 받는데, 근육의 미세손상(Kwon 등, 2013), 인대손상(Arockiaraj 등, 2013; Relph 등, 2014), 관절염(Koralewicz와 Engh, 2000) 혹은 노화(Ribeiro와 Oliveira, 2010)에 의해서 저하되기도 한다. 특히 무릎관절은 고유수용성감각의 손상이 빈번하게 발생하는 관절로서, 앞십자인대 재건술(Reider 등, 2003) 및 인공관절 삽입술(Bragonzoni 등, 2019) 이후에 민감도가 떨어지기도 하므로, 수술 후 재활 과정에서 고유수용성감각 증진훈련은 필수적이다.

그 중에서 일상생활, 스포츠 활동 혹은 치료 중에 발생하는 근피로는(muscle fatigue) 고유수용성감각에 부정

적인 영향을 끼치는 대표적인 요인 중 하나로 보고되고 있다(Hart 등, 2014; Kwon 등, 2013). 근피로는 과도한 활동에 의해 에너지를 흡수하고 최대 근력을 생성시키는 근섬유의 자발적인 활동능력이 감소되는 현상으로서(Enoka와 Duchateau, 2008), 들신경 및 날신경 섬유의 손상, 근섬유 내 근방추의 정보를 변경시키는 대사산물의 누적, 근단백질을 이용하여 힘(force)을 생산하는 생리학적 처리과정의 손상과 같은 다양한 기전에 의해 나타나는 것으로 알려져 있다(Allen 등, 2011; Kim & Youm, 2013). 근피로는 근육과 관절의 위치 혹은 운동에 대한 정보를 받아들이는 고유수용성감각의 민감도를 저하시킬 뿐만 아니라(Allen 등, 2010; Park 등, 2012; Yoon, 2018), 자극에 대한 신체의 반응능력, 자세제어능력 및 운동조절능력 등을 감소시킴으로써 낙상 혹은 외상성 상해 발생률을 증가시키기도 한다(Christina 등, 2001; Kellis & Kouvelioti, 2009). 또한 신경계 및 뼈대계의 질환이 있거나, 나이가 많을수록 고유수용성감각에 더 많은 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Kwon 등, 2013).

한편, 체질량지수(body mass index; BMI)와 같은 체성분(body composition) 요인 역시 고유수용성감각을 비롯한 근육기능(Paschalis 등, 2013), 운동의 속도와 정확성(Berrigan 등, 2006), 자세조절(King 등, 2012) 및 근피로(Maffiuletti 등, 2007) 등에 영향을 미치는 요인으로 보고되고 있다. BMI란 체지방량을 간접적으로 평가하는 도구로 체중(kg)을 키(m)의 제곱으로 나눈 값(kg/m²)이며, 세계보건기구(World Health Organization)에서는 BMI가 18.5 kg/m² 미만이면 저체중, 18.5-24.99 kg/m²을 정상 체중, 25-29.9 kg/m²을 과체중, 30 kg/m² 이상을 비만으로 정의하고 있다(World Health Organization, 2000). 하지만, 인종, 지역, 성별 등에 따라 체지방량이나 BMI는 큰 차이를 보이므로 세계보건기구 아시아태평양지역 본부는 아시아인에 대한 적합한 BMI 기준치를 설정할 것을 권고하고 있으며, 이에 따라 질병관리본부 등 국내에서도 한국 성인 기준에 맞추어 BMI 진단기준을 제시하고 있다(Kim & Kim, 2014). 체중과 관련된 근육구성을 살펴보면 과체중인 사람의 뼈대근육 근섬유 구성 비율은 저체중인 사람과 다소 차이를 보이는데(Kriketos 등, 1997), 과체중일수록 근섬유 크기가 작고 운동단위의 활성도가

낮은 것으로 보고되고 있다(Helge 등, 1999). 하지만, 과체중 혹은 저체중에서 근력 차이에 대한 연구결과는 일정하지 않다.

이와 같이 BMI, 체지방률 등은 인체의 근육량과 밀접하게 관련되어 있으므로 체성분 요인은 고유수용성감각이나 근피로에 중요하게 관여할 것으로 예상되지만, 이에 대한 연구가 부족한 실정이다. 특히 BMI, 체지방률과 같은 비만 지표나 과체중에 의한 영향을 분석한 연구에 비해, 뼈대근육량(skeletal muscle mass)의 영향에 관한 연구는 매우 부족한 편이다. 따라서 본 연구에서는 체성분 요인 중, 뼈대근육량이 근피로 유발로 인한 무릎관절 고유수용성 위치감각 변화와 어떤 관계가 있는지 알아보고, 이를 통해 무릎관절 질환의 예방과 재활을 위한 세부적이고 정량화된 기초자료를 제시하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구 대상

본 연구는 C시에 거주하는 건강한 20대 여성 36명을 대상으로 하였고, 연구 대상자들은 연구의 목적과 방법에 대해 충분한 설명을 들은 후, 본 연구에 자발적으로 참여하기를 동의하였다. 대상자 선정 과정에서 성인 여

성을 선택한 이유는 체성분 분석 결과값에 대한 편향을 최소화하기 위해서이다. 대상자는 정형외과적 병력 및 신경학적 질환이 없으며, 과거 무릎질환으로 인한 치료 경험이 없고, 현재 무릎관절의 통증 및 가동범위의 제한이 없는 자로 선정하였다. 본 실험에 앞서 체성분 분석을 먼저 실시하였고, BMI가 국내 성인 기준 정상범위(18.5~22.9 kg/m²)에 해당하는 대상자를 선정하였다(Kim & Kim, 2014). BMI를 정상범위에 제한한 이유는 체지방률을 포함한 기타 다른 체성분 요인에 의한 영향을 최소화하기 위함이다. 이와 같은 기준에 따라 선정한 대상자들 중 뼈대근육량이 표준범위 미만에 해당하면 실험군(9명), 뼈대근육량이 표준범위 이상이면 대조군(11명)으로 분류하였고, 최종적으로 총 20명의 대상자가 연구에 참여하였다.

2. 측정 도구

본 연구에서는 체성분 측정기(Inbody330, Inbody, Inc., Korea)를 사용하여 BMI, 뼈대근육량, 체지방량, 체지방률, 복부지방률(Waist-Hip Ratio)등의 체성분 특성을 측정하였다. 또한 Biodex(Biodex S4, Biodex Medical System, Inc., USA)의 등속성 운동시스템을 이용하여 무릎관절 펴근 및 굽힘근의 근피로를 유발하였고, 전자각도계 시스템을 이용하여 무릎관절의 고유수용성 위치감각을 측정하였다(Fig 1).

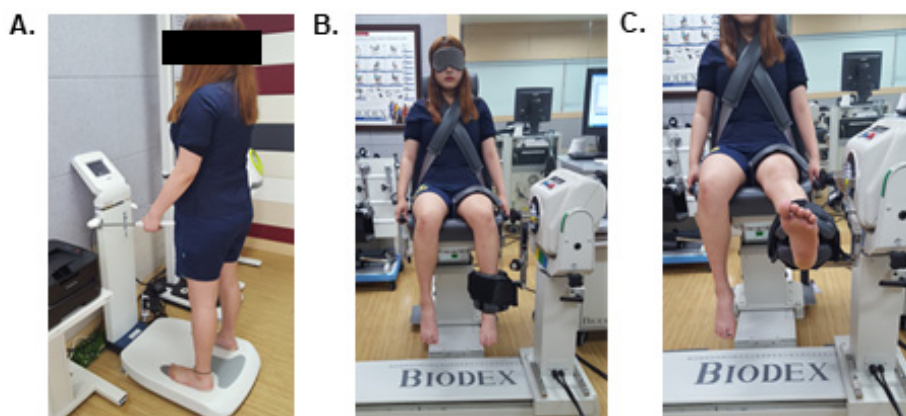


Fig 1. Procedures of present experiment (A) Inbody system to analyze body composition of subjects, (B) Biodex system to measure position sense of knee joint, (C) Inducing protocol of muscle fatigue on lower extremity

3. 측정 방법

본 연구에서는 근피로 유발 시 나타나는 무릎관절의 위치감각 변화를 뼈대근육량에 따라 비교하기 위해, 본 실험에 들어가기 전 연구 대상자의 체성분을 분석하였다. 무릎관절의 위치감각은 다리의 근피로 유발 전과 후에 Biodex Medical System의 전자각도계 시스템을 이용하여 각각 측정하였다. 측정 전 대상자에게 충분한 사전 교육을 실시한 다음, 안대를 착용하여 시각을 차단하고 편안한 자세로 앉게 하였다. 측정 시 불필요한 움직임을 최소화하기 위해 몸통과 다리를 벨트로 고정한 뒤, 대상자는 최초 자세인 무릎관절 90° 굽힘에서 목표 각도인 40° 굽힘까지 능동적으로 펴기를 실시하였다. 목표 각도에서 Biodex는 자동적으로 10초간 멈추었으며, 이 시간 동안 대상자는 그 위치를 기억하도록 하였다. 대상자가 위치를 기억한 후 다시 최초 자세로 무릎관절을 90° 굽힘 한 다음, 대상자에게 자신이 기억했던 지점까지 무릎을 펴도록 지시하였다. 대상자가 기억하고 있던 지점까지 무릎을 펴 하면, 검사자는 그 각도를 측정하여 목표지점에서 벗어난 오차각도(absolute angular error; AAE)를 측정하였고, 이를 통해 위치감각을 평가하였다. 위치감각 측정은 총 3회 실시하였으며, 오차각도의 평균값을 사용하였다(Choi 등, 2009; Ribeiro 등, 2011). 무릎관절 펴기 및 굽힘근의 근피로는 Choi 등(2009)의 연구를 토대로 Biodex Medical System의 등속성 운동시스템을 이용하여 유발하였다. 운동의 각속도를 180°/sec로 설정한 후, 대상자에게 최대의 근력으로 무릎관절 굽힘과 펴기 운동을 지속적으로 반복하게 하였다. 연구 대상자의 초기

최대 우력(peak torque)을 측정한 후, 초기 최대 우력의 30% 수준으로 낮아질 때까지 반복 운동하였다. 운동방법은 세트 당 20회로 실시하였으며, 세트 간 휴식시간은 10초로 설정하였다. 초기 최대 우력의 30% 수준으로 낮아지면 등속성 운동을 중지하고 바로 오차각도를 측정하였으며, 피로 유발 전의 오차각도 측정과 동일하게 3회 측정하여 평균값을 비교분석하였다(Choi 등, 2009). 운동 중지 기준은 최대 우력이 초기 최대우력의 30% 수준으로 3회 이상 연속 낮아지는 시점으로 정하였다(Kim & Youm, 2013).

4. 자료처리 및 분석

본 연구를 통해 수집한 자료는 SPSS Ver. 25.0 for window를 이용하여 비모수 검정으로 분석하였다. 실험군과 대조군의 일반적 특성, 체성분 특성 및 근피로 유발 전·후의 오차각도를 비교하기 위해 맨휘트니 검정(Mann-Whitney U test)을 사용하였다. 또한 집단 내 근피로 유발 전·후의 오차각도 변화를 검정하기 위해 윌콕슨 부호 순위 검정(Wilcoxon Signed Rank Test)을 사용하였다. 모든 통계 분석의 유의수준 $\alpha = 0.05$ 로 설정하였다.

III. 결 과

1. 연구 대상자의 일반적 특성과 체성분 특성 비교

연구 대상자의 일반적 특성과 체성분 특성은 Table 1

Table 1. General characteristics and body composition factors between groups

	Variables	Experimental	Control	z	p
General characteristics	Age (years)	20.56±0.53	20.55±0.52	-0.044	1.000
	Height (cm)	159.24±3.45	162.61±2.70	-1.904	0.058
	Body weight (kg)	51.37±2.32	55.83±3.77	-2.432	0.013
	BMI (kg/m ²)	20.53±0.92	21.11±1.21	-1.336	0.193
Body composition factors	Skeletal muscle mass (kg)	19.59±1.00	22.53±1.87	-3.764	0.000
	Body Fat Mass (kg)	14.86±2.24	14.49±5.54	-0.304	0.780
	Percent Body Fat (%)	28.88±3.53	27.82±4.45	-0.304	0.780
	Waist-Hip ratio	0.83±0.02	0.82±0.02	-1.002	0.331

BMI; body mass index, Data is shown as Mean±SD

과 같다. 뼈대근육량에 따라 분류한 실험군과 대조군 사이에서 평균 신장은 유의한 차이가 없었으나, 평균 체중은 두 집단 간에 유의한 차이($p < .01$)를 나타냈다(Table 1). 또한, 실험군과 대조군의 체성분 특성을 비교한 결과, 두 집단 간의 BMI, 체지방량, 체지방률 및 복부지방률은 유의한 차이를 보이지 않았다($p > .01$). 반면, 실험군의 뼈대근육량은 19.59 ± 1.00 kg, 대조군은 22.53 ± 1.87 kg으로 두 집단에서 통계학적으로 유의한 차이를 나타냈다($p < .05$)(Table 1).

2. 근피로 유발로 인한 오차각도의 비교

두 집단 사이에서 근피로 유발로 인한 위치감각의 변화를 확인하기 위해, 오차각도를 비교하였다. 근피로 유발 이전에는 실험군 3.16 ± 2.48 °, 대조군 3.40 ± 1.52 °로 유사한 수준을 보였고, 유발 후에는 실험군 5.40 ± 2.61 °, 대조군 3.53 ± 1.67 °로 나타났으나, 유의한 차이를 보이지 않았다. 집단 내에서는 대조군의 경우 근피로 유발 전의 오차각도가 3.40 ± 1.52 °에서 3.53 ± 1.67 °로 거의 변화가 없었던 반면, 실험군은 근피로 유발 전에 3.16 ± 2.48 °에서 근피로 유발 후 5.40 ± 2.61 °로 유의하게 증가하였다($p < .05$)(Table 2). 즉, 뼈대근육량이 표준범위 미만인 실험군에서는 근피로 유발 이후 오차각도가 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다(Fig 2).

Table 2. Altered absolute angular error of knee joint by muscle fatigue

AAE (°)	Before-fatigue	After-fatigue	z	p
Experimental	3.16 ± 2.48	5.40 ± 2.61	-2.666	0.004 ^a
Control	3.40 ± 1.52	3.53 ± 1.67	-0.311	0.782
z	-1.259	-1.444		
p	0.220	0.157		

AAE; absolute angular error, ^awas taken by Wilcoxon Signed Rank Test

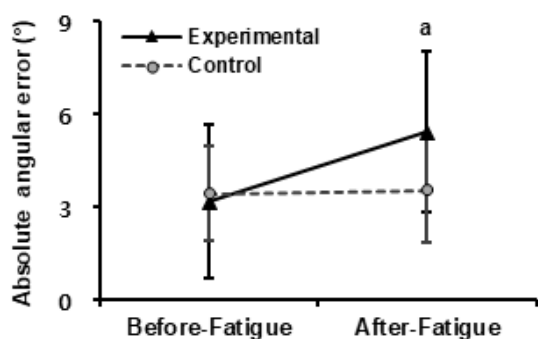


Fig 2. Changes of absolute angular error of knee joint $p < .05$; between before and after fatigue

IV. 고찰

스포츠 활동 및 일상생활동작에 필요한 균형능력은

근력, 근육 사이의 협응작용, 시각 그리고 고유수용기의 기능이 통합되어 완성되는데(Arockiaraj 등, 2013; Bragonzoni 등, 2019; Reddy 등, 2019), 특히 고유수용성 감각은 자세유지와 운동조절에 관여하는 주요 인자이며, 관절의 기능적 불안정과 손상의 재발을 줄이는 역할을 담당한다(Hjortskov 등, 2005; Park 등, 2012; Voight 등, 1996). 이와 반대로 근육 및 인대의 손상, 혹은 고강도 활동으로 인한 근피로는 고유수용성감각의 민감도를 현저하게 감소시키고(Allen 등, 2010; Christina 등, 2001), 운동수행능력을 저하시킨다(Kim & Youm, 2013; Kwon 등, 2013). 특히, 과도한 근수축으로 감마운동섬유의 활동이 저하되면 위치감각과 관련된 제 Ia형 근방추 들신경 섬유(type Ia muscle spindle afferent fiber)의 민감도가 감소하는데(Allen 등, 2011; Enoka와 Duchateau, 2008), 결과적으로 고유수용성감각 피드백이 차단되어 신경근육 운동조절능력에 장애가 발생한다(Hart 등, 2014). 근피로

로 인한 고유수용성감각의 손상은 무릎관절에서 흔하게 발생하며, 따라서 무릎관절 재활에서 고유수용성감각 재훈련은 완전한 회복을 위해 필수적인 임상적 과제이다. 특히 다리의 근력은 안정된 자세를 유지하고, 고유수용성감각 지속에 관여하는 주요한 인자이다(Gribble & Hertel, 2004; Hart 등, 2014; Kang 등, 2013).

따라서 본 연구에서는 무릎관절의 고유수용성 위치감각에 영향을 미치는 요인들을 알아보기 위해 다리의 근력과 관련된 무릎관절 펌근과 굽힘근에 피로를 유발한 후, 근피로가 고유수용성 위치감각에 미치는 영향을 확인하였다. 또한, 체성분 요인 중 뼈대근육량의 차이에 따라 근피로 유발 후 고유수용성 위치감각이 어떻게 변화하는지 비교하였는데, 체성분 역시 고유수용성감각의 민감도에 영향을 미치는 요인 중 하나이다. 특히, BMI, 체지방률과 같은 비만지표가 고유수용성감각과 어떠한 관련이 있는지에 대한 연구는 보고되고 있으나(Berrigan 등, 2006; Maffiuletti 등, 2007; Paschalis 등, 2013), 뼈대근육량과 관련된 연구는 상대적으로 부족한 편이다. 이에 본 연구에서는 뼈대근육량과 고유수용성 위치감각의 관계를 알아보려고 하였고, 이를 위해 건강한 성인 여성의 체성분을 분석한 뒤, BMI가 국내성인 기준 정상범위(18.5-22.9 kg/m²)에 포함되는 대상자만을 선정하였다(Kim & Kim, 2014). Hulens 등(2001)은 체지방률에 따라 대상자 간 근력 발생에 차이가 있을 수 있다고 보고하였는데, 이에 따라 뼈대근육량을 제외한 기타 체성분 요인들이 근피로 저항성과 무릎관절 위치감각에 미치는 영향을 최소화하기 위해 BMI를 국내 성인 기준 정상범위로 제한하였고, 이들 연구 대상자의 뼈대근육량이 표준범위 미만이면 실험군, 표준범위 이상이면 대조군으로 분류하였다. 근피로 유발 전·후의 무릎관절 위치감각은 Biodex의 전자각도계시스템을 이용하여 무릎관절 재위치 오차각도 측정을 통해 평가하였고(Choi 등, 2009; Ribeiro 등, 2011), 다리의 근피로는 Biodex의 등속성 운동시스템을 이용하여 유발하였다(Choi 등, 2009; Kim & Youm, 2013). 연구 대상자의 일반적 특성과 체성분 특성을 비교한 결과, 체중과 뼈대근육량은 집단 간 유의한 차이를 보였으나, BMI, 체지방률, 체지방량, 복부지방률 등은 두 집단에서 유의한 차이를 보이지 않았다. 두 집단에서 근피로 유발 전·후의 무릎관절 오차각도를 비교

한 결과 대조군은 유의한 변화를 보이지 않은 반면, 실험군은 근피로 유발 전(3.16±2.48 °)보다, 이후에(5.40±2.61 °) 유의하게 증가하였다(p<.05). 또한 근피로 유발 직후 측정된 무릎관절 오차각도를 두 집단 사이에서 비교한 결과, 실험군(5.40±2.61 °)과 대조군(3.53±1.67 °)의 오차각도는 차이를 보였으나, 통계학적으로 유의하지 않았다. 즉, 근피로는 무릎관절 위치감각의 정확성을 감소시켰는데, 이는 뼈대근육량이 표준범위 미만인 실험군에서 더욱 두드러지게 나타났다. 이러한 결과는 근피로 유발 후 무릎관절에서 오차각도의 증가를 보고한 Choi 등(2009)의 결과와 일치하였다. Kwon 등(2013) 역시 근피로 유발로 인한 무릎관절의 고유수용성감각 저하를 보고하였는데, 근피로 유발 후 무릎관절의 오차각도는 뇌졸중 환자, 노인 그리고 젊은 성인의 순서로 증가하였다. 이와 같이 고유수용성감각에 영향을 미치는 요인에는 성별, 노화, 신경근육 계통의 질환 등 다양한 요인이 존재하며, 체성분 역시 그 중 하나이다. 체성분과 관련된 선행연구에서 Paschalis 등(2013)은 정상 체질량을 벗어난 과체중 대상자에서 편심성 운동(eccentric exercise) 이후 다리의 고유수용성감각에 유의한 손상이 나타난다고 하였다. Berrigan 등(2006)은 BMI 30.5-48.6 kg/m² 사이의 비만 대상자에서 균형조절의 어려움 때문에 목표-지향운동(goal-directed movements)에 제약을 가지며, 이로 인해 일상생활에서 부상의 위험이 커진다고 보고하였고, 또한 Maffiuletti 등(2007)은 비만 대상자(BMI 41 kg/m²)가 대조군(BMI 23 kg/m²)보다 근피로에 대한 낮은 저항성을 가지고 있다고 보고하였다. 이와 같이 비만은 운동조절 및 자세유지에 부정적인 영향을 끼친다(King 등, 2012). 반면, Hulens 등(2001)은 과체중인 사람에게 있어 여분의 체중이 근육의 양과 기능을 증가시키는데 유리한 자극으로 작용할 수 있으므로, 비만인의 근력이 더욱 강할 것이라고 보고하였다. 반면, Maffiuletti 등(2007)은 남성의 등속성 무릎관절 근력측정에서 과체중인 사람의 근력이 저체중인 사람에 비해 오히려 더 낮거나 동일하다고 보고함에 따라, 과체중인 사람의 근력이 저체중인 사람보다 항상 강한 것은 아님이 확인되었다. 본 연구에서는 체성분 요인 중 비만을 나타내는 지표가 아닌, 뼈대근육량을 변인으로 설정하여 뼈대근육량 차이에 따라 근피로 유발 후 고유수용성 위치

감각이 어떻게 변화하는지 살펴보고, 그 결과 뼈대근육량이 적을수록 근피로 유발 후 무릎관절의 오차각도가 증가함을 확인하였다. 이러한 결과는 뼈대근육량의 감소 및 저하가 근피로에 대한 저항성을 감소시키면서 관절의 고유수용성 위치감각 변화에 유의한 영향을 끼치고 있음을 시사하며, 만성적이고 반복적인 손상의 위험에 잠재적으로 노출될 수 있음을 나타낸다.

본 연구에서는 뼈대근육량을 근피로 저항성과 무릎관절 위치감각에 영향을 미치는 중요한 요인으로 설정하였는데, 추후 연구에서는 뼈대근육량에 의한 영향을 정확하게 규명하기 위해 초음파를 이용한 특정 근육의 두께 확인, 등속성 토크 값 측정과 같은 세밀한 평가가 필요할 것으로 사료된다. 또한 Choi 등(2009)은 남·여의 최대 우력이 서로 달라 남·여 대상자에서 같은 수준의 근피로를 유발하는 것이 어렵다고 하였는데, 본 연구 역시 이러한 차이점을 고려하여 연구 대상자를 여성에 제한하였다. 하지만, 연구 대상자 간에 뼈대근육량 차이가 존재하고, 이외에도 근피로 저항성에 영향을 줄 수 있는 여러 요인이 존재하므로 추후 연구에서는 같은 수준의 근피로 유발을 위해 최대우력의 비교, 최대우력 저하를 위해 실시한 운동량 등을 분석할 필요가 있을 것으로 생각된다. 본 연구에 참여한 대상자 중에는 뼈대근육량과 체지방량이 양의 선형관계를 보이기도 했는데, 뼈대근육량이 많으면 체지방량도 많은 것으로 나타났다. 따라서 체성분 요인과 고유수용성 위치감각 사이의 상호관계를 정확하게 규명하기 위해서는 뼈대근육량을 포함한 여러 체성분 요인들에 대한 변인 통제를 철저히 하여 연구를 진행해야 할 것으로 사료된다. 또한 본 연구는 건강한 성인을 대상으로 하여 수가 적었고 20대 여성이 대상이기 때문에, 모든 연령대에게 일반화 하는데 어려움이 있으므로 향후 연구는 제한점을 보완하여 진행해야 할 것으로 생각된다.

V. 결론

본 연구는 정상범위의 BMI를 가지는 건강한 성인 여성을 대상으로, 이들의 뼈대근육량 차이가 근피로 유발

이후 무릎관절 위치감각에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위해 실험을 진행한 단면적 연구(cross-sectional study)이다. 체성분 요인 중 뼈대근육량이 표준범위 미만인 실험군에서 근피로 유발 전·후 무릎관절 오차각도가 통계학적으로 유의하게 증가하였는데, 즉 뼈대근육량이 감소하면 근피로에 민감해지고 이로 인해 관절의 고유수용성 위치감각의 저하가 발생하게 된다. 이러한 결과는 근피로 발생으로 인한 고유수용성 위치감각의 저하가 뼈대근육량이나 뼈대근육의 상태에 따라 달라질 수 있음을 시사한다. 그러므로 스포츠 활동 및 일상생활, 혹은 산업 현장에서 자주 발생하는 근피로에 대한 저항성을 높이고 고유수용성 위치감각을 증진하기 위해서는 치료 중재 시, 뼈대근육에 대한 지속적인 평가 및 관리가 이뤄져야 할 것으로 사료된다. 이를 위해 추후 연구에서는 체성분 요인을 비롯하여 근피로 유발로 인한 위치감각의 변화에 영향을 주는 다양한 변인에 대해 구체적이고 정확한 규명이 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

- Allen DG, Clugston E, Petersen Y, et al(2011). Interactions between intracellular calcium and phosphate in intact mouse muscle during fatigue. *J Appl Physiol*, 111(2), 358-366. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01404.2010>.
- Allen TJ, Leung M, Proske U(2010). The effect of fatigue from exercise on human limb position sense. *J Physiol*, 588(8), 1369-1377. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2010.187732>.
- Arockiaraj J, Korula RJ, Oommen AT, et al(2013). Proprioceptive changes in the contralateral knee joint following anterior cruciate injury. *Bone Joint J*, 95-B(2), 188-191. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.95B2.30566>.
- Armstrong B, McNair P, Taylor D(2008). Head and neck position sense. *Sports Med*, 38(2), 101-117. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838020-00002>.
- Berrigan F, Simoneau M, Tremblay A, et al(2006). Influence of obesity on accurate and rapid arm

- movement performed from a standing posture. *Int J Obes (Lond)*, 30(12), 1750-1757. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803342>.
- Bouët V, Gahéry Y(2000). Muscular exercise improves knee position sense in humans. *Neurosci Lett*, 289(2), 143-146. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(00\)01297-0](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(00)01297-0).
- Bragonzoni L, Rovini E, Barone G, et al(2019). How proprioception changes before and after total knee arthroplasty: A systematic review. *Gait Posture*, 72, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.05.005>.
- Cho B, Yoon J(2019). Relationship between breathing pattern disorder and joint position sense in patients with chronic low back pain. *J Korean Soc Integrative Med*, 7(2), 1-10. <https://doi.org/10.15268/ksim.2019.7.2.001>.
- Choi BO, Kim MW, Hong HS(2009). The effects of lower extremity muscular fatigue on proprioceptive position sense of the knee joint. *J Korean Soc Sports Phys Ther*, 5(1), 19-25.
- Christina KA, White SC, Gilchrist LA(2001). Effect of localized muscle fatigue on vertical ground reaction forces and ankle joint motion during running. *Hum Mov Sci*, 20(3), 257-276. [https://doi.org/10.1016/S0167-9457\(01\)00048-3](https://doi.org/10.1016/S0167-9457(01)00048-3).
- de Vries J, Ischeneck BK, Voogt LP, et al(2015). Joint position sense error in people with neck pain: A systematic review. *Man Ther*, 20(6), 736-744. <https://doi.org/10.1016/j.math.2015.04.015>.
- Enoka RM, Duchateau J(2008). Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. *J Physiol*, 586(1), 11-23. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.139477>.
- Hart R, Ballaz L, Robert M, et al(2014). Impact of exercise-induced fatigue on the strength, postural control, and gait of children with a neuromuscular disease. *Am J Phys Med Rehabil*, 93(8), 649-655. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000000091>.
- Gribble PA, Hertel J(2004). Effect of lower-extremity muscle fatigue on postural control. *Arch Phys Med Rehabil*, 85(4), 589-592. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2003.06.031>.
- Helge JW, Fraser AM, Kriketos AD, et al(1999). Interrelationships between muscle fibre type, substrate oxidation and body fat. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 23(9), 986-991. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0801030>.
- Hjortskov N, Hye-Knudsen C, Fallentin N(2005). Lumbar position sense acuity during an electrical shock stressor. *BMC Musculoskelet Disord*, 6(37), 1-9. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-6-37>.
- Hulens M, Vansant G, Lysens R, et al(2001). Study of differences in peripheral muscle strength of lean versus obese women: an allometric approach. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 25(5), 676-681. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0801560>.
- Jeong D, Kim Y(2017). Changes in cervicocephalic joint position sense in sustained forward head posture. *J Korean Soc Integrative Med*, 5(2), 11-17. <https://doi.org/10.15268/ksim.2017.5.2.011>.
- Kang DH, Yu IY, Lee GC(2013). The effects of knee extensor, flexor muscle strength and joint position sense in squat exercise on variety surface. *J Korean Soc Integrative Med*, 1(2), 47-57.
- Kellis E, Kouvelioti V(2009). Agonist versus antagonist muscle fatigue effects on thigh muscle activity and vertical ground reaction during drop landing. *J Electromyogr Kinesiol*, 19(1), 55-64. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2007.08.002>.
- Kim HJ, Kim CH(2014). Usefulness and validation of cutoff points of body mass index for overweight and obesity in Korean adults. *KSME*, 16(1), 131-140. <https://doi.org/10.21797/ksme.2014.16.1.010>.
- Kim TH, Youm CH(2013). Effects of knee joint muscle fatigue and overweight on the angular displacement and moment of the lower limb joints during landing. *Korean J Sport Biomech*, 23(1), 63-76. <https://doi.org/10.5103/KJSB.2013.23.1.063>.
- King AC, Challis JH, Bartok C, et al(2012). Obesity, mechanical and strength relationships to postural control in adolescence. *Gait Posture*, 35(2), 261-265. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.09.017>.

- Koralewicz LM, Engh GA(2000). Comparison of proprioception in arthritic and age-matched normal knees. *J Bone Joint Surg Am*, 82(11), 1582-1588. <https://doi.org/10.2106/00004623-200011000-00011>.
- Kriketos AD, Baur LA, O'Connor J, et al(1997). Muscle fibre type composition in infant and adult populations and relationships with obesity. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 21(9), 796-801.
- Kwon OS, Lee SW, Seo DK, et al(2013). The effects of exercise-induced fatigue on knee joint position sense in the young, elderly adults and stroke patients. *J Korean Soc Phys Med*, 8(4), 619-625. <https://doi.org/10.13066/kspm.2013.8.4.619>.
- Maffiuletti NA, Jubeau M, Munzinger U, et al(2007). Differences in quadriceps muscle strength and fatigue between lean and obese subjects. *Eur J Appl Physiol*, 101(1), 51-59. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0471-2>.
- Park JW, Ko YM, Park S(2012). The effect of proprioceptive position sense by lumbar flexors and extensors. *J Korean Soc Phys Ther*, 24(6), 414-418.
- Paschalis V, Nikolaidis MG, Theodorou AA, et al(2013). The effects of eccentric exercise on muscle function and proprioception of individuals being overweight and underweight. *J Strength Cond Res*, 27(9), 2542-2551. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31827fc9a6>.
- Proske U, Gandevia SC(2012). The proprioceptive senses: their roles in signaling body shape, body position and movement, and muscle force. *Physiol Rev*, 92(4), 1651-1697. <https://doi.org/10.1152/physrev.00048.2011>.
- Reddy RS, Tedla JS, Dixit S, et al(2019). Cervical proprioception and its relationship with neck pain intensity in subjects with cervical spondylosis. *BMC Musculoskelet Disord*, 20, Printed Online. <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2846-z>.
- Reider B, Arcand MA, Diehl LH, et al(2003). Proprioception of the knee before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*, 19(1), 2-12. <https://doi.org/10.1053/jars.2003.50006>.
- Relph N, Herrington L, Tyson S(2014). The effects of ACL injury on knee proprioception: a meta-analysis. *Physiotherapy*, 100(3), 187-195. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2013.11.002>.
- Ribeiro F, Oliveira J(2010). Effect of physical exercise and age on knee joint position sense. *Arch Gerontol Geriatr*, 51(1), 64-67. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2009.07.006>.
- Ribeiro F, Venancio J, Quintas P, et al(2011). The effect of fatigue on knee position sense is not dependent upon the muscle group fatigued. *Muscle Nerve*, 44(2), 217-220. <https://doi.org/10.1002/mus.22018>.
- Voight ML, Hardin JA, Blackburn TA, et al(1996). The effects of muscle fatigue on and the relationship of arm dominance to shoulder proprioception. *J Orthop Sports Phys Ther*, 23(6), 348-352. <https://doi.org/10.2519/jospt.1996.23.6.348>.
- Yoon J(2018). Effects of elastic taping on the power and velocity error of rectus femoris after muscle fatigue occurred. *J Korean Soc Integrative Med*, 6(1), 1-6. <https://doi.org/10.15268/ksim.2018.6.1.001>.
- World Health Organization. Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO consultation (WHO technical report series 894), 2000. Available at https://www.who.int/nutrition/publications/obesity/WHO_TRS_894/en/ Accessed February 27, 2020.