

슬관절 근육 피로가 한 발 정적기립 균형능력에 미치는 영향

한서대학교 재활치료학과, 신구전문대학*

권오윤 · 최홍식 · 유병규*

The Effects of Knee Muscular Fatigue on One-Leg Static Standing Balance

Kwon Oh Yun, M.P.H., R.P.T., Choi Hong Sik, M.P.H., R.P.T., Yu Byong Kyu, R.P.T.*

Dept. of Rehabilitation Therapy, Hanseo University

*Dept. of Physical Therapy, Shin Gu Junior College**

— ABSTRACT —

The purposes of this study were to determine whether knee muscular fatigue affects on one-leg static standing balance. Sixty four healthy subjects were used for this study : 44 men and 20 women, with an average age of 19.52. One leg static standing balance was measured at pre-fatigue and post-fatigue by an instrumented balance assessment system(kinesthetic ability training balance platform) which is commercially available for testing or training balance. Isokinetic exercises were used to evoke muscle fatigue at 180 degree/sec by Cybex 1200. One leg static standing balance ability was significantly decreased after knee muscular fatigue.

Although these phenomenons were not clearly understood, these results have important implications for rehabilitation in fatigable patients. These results suggest that the excessive fatiguing during rehabilitation in patients with fatigable disease may increase risk of reinjury and falling injury due to balance disturbance.

Further studies are required to determine the physiological mechanisms of muscle fatigue that can play in decreasing one-leg static standing balance ability.

Key words : Muscle fatigue, Balance, Isokinetic exercise.

서론

일반적으로 인간이 이동시 근력의 유지는 근본적으로 중요한 요소이다.¹⁾ 인간의 운동수행,

스포츠 활동, 일상생활은 피로에 영향을 받으며, 또한 재활, 물리치료 임상에서도 중요한 요소이기 때문에 피로 발생을 지연시키거나 저하시켜 최고의 운동수행을 유지하기 위한 노력이

있어왔다.¹¹⁾ 피로는 신체적, 지적(mental), 정신적인 요소가 상호작용하고 있어 정의하기도 어렵고 객관적으로 평가하기도 어렵다.¹⁰⁾ Bigland-Ritchie(1986)⁶⁾ 등은 선행한 활동의 결과로 인하여 일시적으로 수행능력을 상실하는 것이 피로라고 정의하였다. 일반적으로 피로의 분류는 신경계의 위치에 따라 중추적 피로(central fatigue)와 말초적 피로(peripheral fatigue)로 분류하며 중추적 피로는 변연계(limbic system), 전 운동(premotor cortex), 그리고 연합피질(association cortex), 감각운동 피질(sensorimotor cortex), 그리고 척수(spinal cord) 수준에서 동기의 부족, 피질 운동신경원의 활성의 부족, 알파운동신경원의 흥분성 감소 등에 의해서 발생하는 것이며, 말초적 피로는 말초신경, 신경근접합부에서 신경전달의 부족, 근육 내에서 부족한 수축기전에 의해 발생하는 것으로 구분된다. 또한 근피로에 대한 생리학적 측면에서는 중추신경계에서 근육까지 전기적 흥분의 전달에 관련된 피로와 근육 내에서 근수축을 유발하는데 필요한 에너지를 발생하는데 역할을 하는 대사적 그리고 효소적 과정에 관련된 피로로 구분된다.¹²⁾

인간의 균형은 감각기관을 통하여 각 부분의 신체 움직임을 감지하여 중추신경계로 입력시켜 그 곳에서 통합 후 근골격계로 적절하게 반응을 수행하는 복잡한 과정을 통하여 달성되며,¹⁷⁾ 균형을 적절히 유지하기 위해서는 신경계, 감각계, 근골격계가 정상적으로 기능을 해야만 한다.²²⁾ 안정성을 조절하기 위해서는 공간에서 신체의 움직임과 자세를 평가하기 위한 감각정보의 통합과 신체의 자세를 조절하기 위한 힘을 발생시키는 것이 필요하기 때문에 자세조절을 위해서는 신경계와 근골격계가 복잡한 상호작용이 필요하다. 자세조절을 위한 근골격계에 포함되는 요소로는 관절가동범위, 근력, 척추의 유연성, 근육의 속성(property)과 생체 역학적 요소가 있다.¹⁹⁾

무릎관절에서 특히 전십자인대와 관련된 슬관절 기능, 안정성, 손상방지에 있어서 고유수

용성 감각에 대한 중요성은 광범위하게 연구되었다.^{3,5)} 슬관절의 정적 그리고 동적인 안정성을 유지하기 위한 십자인대, 측부인대, 반월판, 관절낭, 대부분의 지지조직에 고유수용감각과 기계적 수용기(mechanoreceptor)가 존재하여 그 역할을 하는 것으로 밝혀졌다.^{1,2)} 또한 슬관절의 안정성을 유지하고 손상의 재발을 예방하는데는 근육의 기능이 중요한 역할을 한다.^{4,9)}

선행 연구에서 근력의 약화가 균형조절에 영향을 미치며, 그로 인하여 전도(넘어지는 것)가 발생하며, 이는 자세 변화가 발생할 때 적절히 근육이 힘을 발생시키지 못하기 때문이라고 보고하였다.²¹⁾

또한 대부분의 전십자인대 손상은 근육의 피로가 온 경기 종반에 많이 발생하며, 스키를 탈 때 발생하는 전십자인대의 과열도 주로 오후 늦은 시간에 많이 발생하는 경향이 있다.⁸⁾ 이러한 측면에서 근피로가 슬관절 안정성이나 조절 그리고 슬관절의 고유수용성 감각 기능과도 관련이 있을 것이다.

Boda(1995)⁷⁾ 등은 만성피로증후군(chronic fatigue syndrome) 환자군과 주로 앉아서 생활하는 대조군 간에 보행능력을 비교한 결과 환자군에서 비정상적인 보행태도가 유의하게 높게 나타났다고 보고하면서 이러한 결과가 이들 환자에서 동반되는 균형문제, 근약화, 중추신경계 기능장애로 인하여 발생할 수 있기 때문에 이러한 것을 구명하는 연구가 필요하다고 하였다.

피로는 복잡한 현상이며 기능적 수행에 영향을 미치기 때문에 치료적운동 프로그램 수행시 고려되어야만 한다. 물리치료사들은 다발성 경화증, 진행성근위축증, 근육병, 신경근접합부 질환과 같이 피로가 발생하기 쉬운 환자를 자주 접할 수 있다. 그러나 아직까지 근피로가 균형능력에 어떤 영향을 미치는지에 대한 연구는 많지 않다. 그래서 본 연구는 슬관절 근육의 피로가 균형능력에 영향을 미치는지 알아봄으로써 근피로가 발생하기 쉬운 환자를 임상에서 재활치료하는데 필요한 자료를 제공하고자 실시하였다.

연구방법

연구대상 및 연구기간

본 연구의 대상자는 1997년 한서대학교 1학년 신입생 중 본 연구에 참여하겠다고 동의한 학생 중 과거에 전정계나 신경학적 질환, 그리고 균형문제가 없고, 관절가동에 제한이 없으며, 최근 근골격계 손상이나 질환이 없는 학생 64명을 대상으로 선정하였다.

본 연구의 실험기간은 1997년 2월 18일부터 2월 27일까지 대상자 전원에 대하여 실험을 실시하였다.

측정방법 및 측정도구

균형능력 수준의 측정은 검사-재검사 신뢰도 $r = 0.89$ 인 KAT 2000(Breg, Inc., Vista, CA., 1994)을 이용하여 측정하였다.¹¹⁾ KAT 2000은 발판 중간 축위에 원형발판이 있어 전후, 좌우 어떤 방향으로도 기울어질 수 있게 되어 있다. 원형발판 전면부에 발판의 기울어지는 정도를 감지하는 감지기가 부착되어있고, 수평상태에서 1도 기울어질 때 커서의 이동거리는 3.5 mm의 이동거리로 계산되며, 측정시 이동거리의 총합이 균형지수가 되며, 균형지수가 측정값이다. 균형지수가 높을수록 균형능력 수준이 낮다. 발판의 안정도는 0~6단계로 되어있으며, 단위는 psi(pounds per square inch)로 원형발판 밑에 공기압의 정도로 압력정도가 높을수록 지지하는 발판의 안정도는 증가된다. 본 실험에서는 지지면의 안정도를 2 psi를 선택하였다. 측정 전에 2 psi로 공기압을 설정한 후 우세 발쪽으로 원형발판에 서게 한다. 한발로 기립후 컴퓨터 스크린에 있는 커서를 발로 중심이동을 시켜 중앙 기준점에 맞추도록 한다. 이때 피검자의 자세는 무릎을 약간 구부리고, 팔로 균형을 잡는 것을 최소화하기 위하여 두발을 교차하여 가슴에 밀착시킨다. 검사 기구에 익숙해 지도록 3~5분간 스크린 원판의 기준점에 커

서를 유지하는 예비훈련을 실시 후 피검자가 기구에 숙달되고, 안정감을 찾았을 때 측정을 시작한다. 피검자가 한발로 원형발판에 서서 눈으로 전면에 있는 컴퓨터 스크린을 보면서 원형발판이 수평을 이뤄 커서가 기준점에 일치하도록 균형을 잡는다. 균형이 잡히면 컴퓨터 스크린을 시야에서 보이지 않도록 돌리고 피검자는 2m 전면에 표시된 한 지점을 20초 동안 주시하면서 서 있다. 20초동안 측정된 균형지수를 측정값으로 한다. 측정은 5회 반복 측정하였고, 학습효과에 의한 오차를 줄이기 위하여 첫 번째 측정값은 연구자료에서 제외시키고 4회 측정값의 평균을 측정값으로 사용하였다.

슬관절 근육의 근피로 유발은 Cybex orthotron II(Cybex, a division of Lumex, Inc.)를 사용하였다. 각속도를 180 degree/sec로 설정하고 최대의 힘으로 60회를 반복적으로 신전과 굴곡을 할 수 있도록 프로그램을 준비하였다. 근 피로는 초기 피크토크에 비해 50% 보다 낮아질 때까지 지속적으로 슬관절의 반복운동을 하게 하였다. 피크토크가 50% 이하로 떨어지면 운동을 중단하고 피로전의 균형지수 측정과 같은 방법으로 K.A.T 2000을 이용하여 재 측정하였다. 측정은 1회 실시하였다. 사이백스 훈련을 마치고 균형을 측정하는데 걸린 시간은 25~30초이었다.

분석방법

근피로가 균형능력에 영향을 미치는지 알아보기 위하여 자료를 부호화한 후 spss + pc 통계프로그램을 이용하여 성별에 따라 피크토크와 균형능력을 비교하기 위하여 독립 t-검정을 실시하였고, 피로 전과 후의 균형능력을 비교하기 위하여 짝비교 t 검정(paired t-test)을 실시하였다.

연구결과

대상자의 일반적 특성

본 연구에 참여한 대상자 중 남학생은 44명

(68.8%), 여학생은 20명(31.3%)으로 전체 64명이었다. 평균 연령은 남학생이 19.52세, 여학생이 19.50세로 평균 연령은 19.52세이었다. 평균 체중은 남학생이 64.93 kg, 여학생이 54.65 kg으로 전체 평균 체중은 61.72 kg이었으며, 평균 신장은 남학생이 171.86 cm, 여학생이 157.65cm로 전체 평균 신장은 167.42 cm이었다(표 1).

표 1. 대상자의 일반적 특성 (%)

특성	남 : 44(68.8)		여 : 20(31.3)		전체 : 64(100.0)	
	평균 ± 표준편차	평균 ± 표준편차	평균 ± 표준편차	평균 ± 표준편차	평균 ± 표준편차	평균 ± 표준편차
연령	19.52 ± 1.58	19.50 ± 1.50	19.52 ± 1.54			
체중	64.93 ± 10.26	54.65 ± 8.71	61.72 ± 10.85			
신장	171.86 ± 5.69	157.65 ± 4.44	167.42 ± 8.49			

평균 피크토크(peak torque)

180 degree/sec의 각 속도에서 측정 한 피크토크의 평균은 슬관절 신전근에서 남자는 85.02 ft/lb, 여자는 51.40 ft-lb이었으며, 슬관절 굴곡근에서는 남자가 44.68 ft/lb, 여자가 29.15 ft/lb로 남녀간에는 유의한 차이가 있었다(표 2).

표 2. 평균 피크토크 (단위 : ft/lb)

구분	남		여		t-값
	평균 ± 표준편차	평균 ± 표준편차	평균 ± 표준편차	평균 ± 표준편차	
슬관절 신전근	85.02 ± 23.61	44.68 ± 8.72	7.19*		
슬관절 굴곡근	51.40 ± 13.56	29.15 ± 8.20	7.77		

*p<0.001

성별 평균 균형지수

K.A.T. 2000을 이용하여 측정 한 평균 균형지수는 피로 전에는 남자에서 205.66, 여자에서는 228.00이었고, 피로 후에는 남자에서 312.89, 여자에서는 306.95로 남녀간에는 유의한 차이가 없었다(표 3).

표 3. 성별 균형지수

구분	남		여		t-값	p
	평균 ± 표준편차	평균 ± 표준편차	평균 ± 표준편차	평균 ± 표준편차		
피로전	205.66 ± 129.31	228.00 ± 177.80	0.50		NS	
피로후	312.89 ± 153.03	306.95 ± 204.06	0.13		NS	

NS : Not significant

슬관절 근육의 피로전과 후의 균형지수 비교

슬관절의 근육피로 전과 후의 균형지수의 차이를 비교한 결과 피로 전에는 균형지수가 212.64이었고, 피로 후에는 311.03으로 피로 전과 후의 균형지수 변화에는 통계학적으로 유의한 차이가 있었다(표 4).

표 4. 슬관절 근육의 피로전과 후의 균형지수 비교

구분	평균 균형지수		t-값
	평균 ± 표준편차	평균 ± 표준편차	
피로전	212.64 ± 145.10		-6.28*
피로후	311.03 ± 168.97		

*p<0.01

고 찰

본 연구는 슬관절 근육의 피로가 한발로 기립시 정적균형에 영향을 미치는지 알아보기 위하여 실시하였다.

근피로는 정적운동이나 동적운동 모두에서 발생할 수 있으며, 또한 전기자극으로도 유발할 수 있다. 피로는 운동계의 어떠한 수준에서도 발생 수 있다. 대뇌 피질, 감각운동피질, 척수 등에서도 보호적 반응에 의해 발생할 수 있기 때문에 이러한 것을 배제시키기 위하여 고빈도 전기자극 또는 저빈도 전기자극으로 말초적 피로를 유발할 수 있다.¹²⁾

본 연구에서는 등속성 운동으로 근 피로를 유발했기 때문에 대상자 스스로 운동이 힘들다는 것을 감지하고, 힘을 발생하는데 필요한 동기를 중추에서 감소시켜 근육자체에서 발생시

킬 수 있는 피로를 정확하게 발생시키지 못했을 가능성도 있다.

본 연구의 결과 슬관절 근육의 피로전과 피로후에 균형지수가 통계학적으로 유의하게 감소되어 슬관절 근육의 피로가 한발로 기립시 정적 균형능력을 감소시킨다는 것을 알 수 있었다. 이는 근피로가 슬관절의 안정성을 유지하는데 필요한 근력에 영향을 미쳐서 균형능력에 저하가 나타났거나 또는 근육의 고유수용성 감각 되먹임계(feedback system)의 기능을 억제하여 균형능력에 저하가 발생한 것으로 판단된다.

Wojtys(1996)²³⁾ 등은 대퇴직근과 슬관절근에 피로를 발생시킨 후 경골 전방전위의 정도를 측정하여 피로전과 피로후 비교한 결과 피로후에 유의하게 증가하였다고 보고하면서 이러한 현상이 운동 중에 발생하는 손상의 원인이 될 수 있다고 하였다. Lattanzio(1997)¹²⁾ 등은 슬관절 근육의 고유수용성감각을 피로 전과 후에 측정한 결과 근육피로 후 슬관절의 고유수용성 감각이 유의하게 감소하였다고 보고하였다.

근피로가 균형능력을 감소시켰다는 원인은 다음과 같은 추론으로 설명되어질 수도 있다. 고유수용성감각 중 근방추에 부착된 IA구심성 신경은 동적신장(phasic stretch)에 더 크게 반응하며, 이차구심성신경(secondary afferent fiber)은 긴장성신장(tonic stretch)에 더 크게 반응하므로 자세유지에는 긴장성 근육(tonic muscle)이 동적근육(phasic muscle)보다 더 많은 역할을 한다.¹³⁾

Mense(1978)¹⁶⁾는 온도와 근방추와의 관계에서 온도가 증가할수록 IA구심성신경과 GOT's (Ib)의 구심성신경 발화(firing)가 증가되는 반면 이차 구심성신경의 발화는 감소된다고 보고하였다. 운동은 근육내의 온도를 일시적으로 증가시킨다.²⁰⁾ 운동으로 인해 증가된 근육내의 온도상승은 자세유지에 중요한 역할을 하는 이차 구심성신경의 발화를 억제하여 피로 후 균형능력이 감소된 것으로 판단된다.

Whipple(1987)²¹⁾ 등은 균형을 잃고 자주 넘어

어지는 노인과 넘어지지 않는 노인간의 근력을 비교한 결과 자주 넘어지는 노인에서 근력이 유의하게 감소되었다는 것을 밝히며 근력이 균형유지에 중요한 요소라고 보고하였다. 피로화된 근육은 젖산의 축적, 운동신경원의 발화 횟수의 감소, 효소의 결핍¹⁵⁾으로 인하여 적절한 근력을 생산할 수 없다. 근피로가 균형 유지에 필요한 적절한 근력을 발생시킬 수 없기 때문에 이 연구에서도 근피로후 균형이 감소된 것으로 판단된다.

이러한 결과는 운동선수들이 피로로 인하여 운동조절능력이 감소되어 균형감각과 안정성이 저하됨으로써 스포츠손상을 받을 위험이 증가할 수 있다는 것과, 이러한 손상을 예방하기 위해서는 근피로를 예방할 수 있는 운동프로그램의 시행이 중요하다는 것을 제안할 수 있다.

또한 재활치료과정에서 특히 피로를 쉽게 유발할 수 있는 근육질환이나 하위신경원질환, 다발성경화증과 같은 질환에 대한 치료시 과도한 운동으로 인하여 발생하는 피로가 신체의 균형이나 안정성을 저하시켜 전도가 발생됨으로써 손상을 받을 수 있다. 그러므로 근피로를 유발시킬 수 있는 과도한 운동은 피해야 할 것이며 재활과정에서 고려되어야만 할 것이다.

앞으로 근피로를 쉽게 일으키는 다양한 환자를 대상으로 다양한 피로지수에서 근피로가 균형능력에 영향을 미치는지 알아보기 위한 연구가 필요하며, 고관절 근육, 족관절 근육에 대한 연구와 두발 정적기립 균형능력 및 동적 균형능력에 대한 연구가 요구된다. 또한 근피로 자체가 균형능력을 감소시키는지 아니면 근피로로 인해 균형능력에 영향을 미치는 고유수용성 감각능력을 감소시켜 발생하는지에 대한 깊은 연구가 요구된다.

결 론

본 연구는 슬관절 근육의 피로가 한발로 기립시 정적 균형능력에 영향을 미치는지 알아보기 위하여 한서대학교 신입생 64명을 대상으로

연구를 실시하였다. 근피로는 Cybex orthoton II를 180 degree/sec의 각속도에서 유발하였으며, 초기 피크토크의 50%로 근력이 감소될 때까지 지속적으로 슬관절 근육의 운동을 실시하였다. 균형능력은 K.A.T 2000을 이용하여 측정하였고, 근피로 전과 근피로 후에 균형지수를 측정하여 비교하였다. 본 연구 결과는 다음과 같다.

1. 슬관절 신전근의 최고 피크토크의 평균은 남자에서 85.02 ft/lb이었고, 여자에서는 51.40 ft/lb이었으며, 굴곡근에서는 각각 44.68, 29.15 ft/lb로 남녀간에는 유의한 차이가 있었다($p < 0.001$).
2. 슬관절 근육 피로 전의 남자의 평균 균형지수는 205.66이었고, 여자는 228.00이었으며 피로 후에는 남자가 312.89, 여자는 306.95로 남녀간의 균형능력에는 피로 전이나 후에 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$).
3. 슬관절 근육 피로 전의 균형지수는 212.64이었고 피로후는 311.03으로 피로 전보다 피로 후에 균형능력이 유의하게 감소되었다($p < 0.01$).

이상의 결과는 근피로가 균형능력을 감소시킨다는 결론을 얻었으며, 피로를 쉽게 유발하는 질병에 대한 초기 재활치료 과정에서 근피로로 인한 균형능력 저하로 발생될 수 있는 전도를 예방하기 위해 근피로는 고려되어야 할 것이다.

참고문헌

1. Abramovici A et al : The distribution of peptide containing nerves in the synovia of the cat knee joint. *Histol Histopath* 6 : 469-476, 1991.
2. Andrew BL : The sensory innervation of the medial ligament of the knee joint. *J Physiol* 123 : 241-250, 1954.
3. Aune AK et al : Hamstrings and gastrocnemius co-contraction protects the anterior cruciate ligament against failure : an in vivo study in the rat. *J Orthop Res* 13 : 147-150, 1995.
4. Baratta R et al : Muscular coactivation : The role of the antagonist musculature in maintaining knee stability. *Am J Sport Med* 16 : 113-122, 1988.
5. Barrett DS et al : Proprioception and function after anterior cruciate reconstruction. *J Bone Joint Sur* 73B : 833-837, 1991.
6. Bigland-Ritchie B et al : Fatigue of submaximal static contractions. *Acta Physiol Scand* 128(Suppl) 556 : 137-148, 1986.
7. Boda et al : Gait abnormalities in chronic fatigue syndrome. *J Neurological Science* 131 : 156-161, 1995.
8. Feagin AJ et al : Consideration of the anterior cruciate ligament injury in skiing. *Clin Orthop* 216 : 13-18, 1987.
9. Ferrell WR et al : Fourier analysis of the relation between the discharge of quadriceps motor units and periodic mechanical stimulation of cat knee joint receptors. *Exp Physiol* 75 : 739-750, 1990.
10. Fredericks CM : Multiple sclerosis and other disorders of central nervous system myelin. In Fredericks CM and Saladin LK (eds). *Pathophysiology of the motor systems*, ed 1 : F.A. Davis Company, Philadelphia, 518, 1996.
11. Howard ME et al : Correlation of static and dynamic balance indeces to injury history, performance criteria, and physical findings in 595 elite college football players. 8th Annual AOSSM Speciality day, San Diego, 1995.
12. Kukulka CG : Human skeletal muscle fatigue. In Currier DP and Nelson RM(eds). *Dynamics of human biologic tissues*, ed 1 : F.A. Davis Company, Philadelphia, 163-

- 179, 1992.
13. Lattanzio PJ et al : Effects of fatigue on knee proprioception. *Clinical J Sports Medicine* 7 : 22–27, 1997.
 14. Lehmann JF and Lateur BJ : Therapeutic heat. In Lehmann(ed). *Therapeutic heat and cold*, ed 3 : Williams & Wilkins, Baltimore, 410, 1982.
 15. MacLaren DP, et al : A review of metabolic and physiological factors in fatigue. *Exerc. Sport. Sci. Rev.* 17 : 29–66, 1989.
 16. Mense S : Effects of temperature on the discharges of muscle spindles and tendon organs. *Pflügers Arch* 374 : 159–166, 1978.
 17. Nashner LM : Sensory, neuromuscular, and biomechanical contributions to human balance. In Duncan(ed). *Balance. Proceedings of the APTA Forum* : APTA Publication, Alexandria, 5–12, 1990.
 18. Sargeant AJ : Human power output and muscle fatigue. *International J of Sports Medicine* 15(3) : 116–21, 1994.
 19. Shumway-Cook A and Woollacott : Motor control : Theory and practical application. Williams & Wilkins, 120, 1995.
 20. Simon HB : Hyperthermia. *N Engl J Med* 329 : 438–487, 1993.
 21. Whipple RH et al : The relationship of knee and ankle weakness to falls in nursing home residents : An isokinetic study. *J Am Geriatr Soc* 35 : 13–20, 1987.
 22. Whipple R and Wolfson L : Abnormalities of balance, gait, and sensorimotor function in the elderly population. In Duncan (ed). *Balance. Proceedings of the APTA Forum* : APTA Publication, Alexandria, 61–68, 1990.
 23. Wojtys EM : The effects of muscle fatigue on neuromuscular function and anterior tibial translation in healthy knees. *Am J Sport Medicine* 24(5) : 615–621, 1996.