

# 비복근 스트레칭이 $\alpha$ -운동 신경원 흥분도와 족관절 능동 배측굴곡 가동범위에 미치는 영향

## Effects of Gastrocnemius Stretching on $\alpha$ -Motor Neuron Excitability and Ankle Joint Active Dorsiflexion Range of Motion

김종순

부산가톨릭대학교 보건과학대학 물리치료학과

Jong-Soon Kim(ptjskim@cup.ac.kr)

### 요약

본 연구는 스트레칭이  $\alpha$ -운동신경원의 흥분도를 변화시키는지의 여부와 이에 따른 유연성의 변화 정도를 알아보려고 시도되었다. 본 연구에서  $\alpha$ -운동신경원 흥분도는 비복근 H-반사의 Hmax/Mmax 비로 측정하였으며 근육의 유연성은 족관절의 능동 배측굴곡 가동 범위를 통해 알아보았다. 스트레칭은 10명의 건강한 피검자를 대상으로 총 4분간(2분간의 스트레칭, 1분의 휴식, 2분간의 스트레칭), 각 시기별로 비복근에 적용하였다.  $\alpha$ -운동신경원 흥분도와 유연성을 분석하기 위해 본 연구에서는 스트레칭 적용 전, 1차 스트레칭 적용 직후, 2차 스트레칭 적용 직후, 그리고 2차 스트레칭 적용 후 48시간 후 Hmax/Mmax와 족관절의 능동 배측굴곡 각도를 측정하였다. 본 연구의 결과 1차와 2차 스트레칭 적용 후 의미 있는  $\alpha$ -운동신경원 흥분도의 감소와 족관절 능동 배측굴곡 각도의 증가가 나타났으나 스트레칭을 소거한 48시간 후에는  $\alpha$ -운동신경원 흥분도와 족관절의 능동 배측굴곡 가동 범위가 스트레칭 적용전과 비슷한 상태로 되돌아갔다. 이러한 스트레칭에 의한 비복근  $\alpha$ -운동신경원 흥분도 감소와 이에 따른 족관절 배측굴곡 유연성 증가는 족관절 주변의 III형 기계적 수용기와 근육에 위치한 골지건 기관의 활성화 결과로 사료된다.

■ 중심어 : | 스트레칭 |  $\alpha$ -운동 신경원 | 유연성 | H-반사 |

### Abstract

The aims of this study were to determine whether excitability of the  $\alpha$ -motor neuron is modulated by stretching and these changes were associated with flexibility of the muscle. In this study,  $\alpha$ -motor neuron excitability was measured by using the Hmax/Mmax ratio of the gastrocnemius H-reflex, and muscle flexibility was measured with the range of motion of the ankle dorsiflexion. The gastrocnemii of 10 healthy volunteers were stretched for 4 minutes (2 minutes stretching, 1 minute rest, and 2 minutes stretching) in each session by manual force. The Hmax/Mmax ratio of the H-reflex, as well as the range of motion of the ankle dorsiflexion was measured through four different conditions: before stretching, as soon as after 1<sup>st</sup> stretching, as soon as after 2<sup>nd</sup> stretching and at 48 hours after 2<sup>nd</sup> stretching. Excitability of the  $\alpha$ -motor neuron was decreased significantly after 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> stretching ( $p < 0.05$ ). Furthermore, the range of the dorsiflexion was increased significantly after 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> stretching ( $p < 0.05$ ). However, the excitability of the  $\alpha$ -motor neuron and range of the dorsiflexion at 48 hours after 2<sup>nd</sup> stretching were not different from those of before stretching. These results suggest that reduced  $\alpha$ -motor neuron excitability of the gastrocnemius and increased flexibility of the ankle dorsiflexion would be followed by activation of the type III mechanoreceptor which is around the ankle joint and the Golgi tendon organ in the gastrocnemius.

■ keyword : | Stretching |  $\alpha$ -motor Neuron | Flexibility | H-reflex |

## I. 서론

물리치료의 한 방법인 스트레칭의 목적은 근육의 긴장도 변조, 연부조직 유연성의 유지 혹은 증진, 통증의 감소 그리고 기능의 증진에 있다[1][2]. 스트레칭을 하는 동안 긴장(tension)은 근육, 건, 결합조직, 혈관, 피부, 그리고 신경과 같은 연부조직에 가해지며[3] 스트레칭으로 근육의 점탄성, 구조 그리고 흥분성이 변화하게 된다[4][5]. 스트레칭에 의한 흥분성의 변화는 고유수용성 신경근 촉진법(proprioceptive neuromuscular facilitation)의 수축-이완(hold-relaxation) 기법이나 접칼 현상(clasp-knife phenomenon) 등을 통해 쉽게 접하게 되는데 이는 근육이 흥분성 반사를 제공할 뿐 아니라 운동신경원의 반사적 억제도 일으킨다는 것을 의미한다. 이러한 자가억제(autogenetic inhibition)는 골지건 기관(Golgi tendon organ)의 자극으로 인한 구심성 Ib 섬유들의 작용이 주된 원인이다. 골지건 기관은 근방추(muscle spindle)와 달리 수축 요소에 대해 직렬로 위치해 있으므로 근육이 신전되어도 자극되고 근육이 수축하여도 자극된다. 골지건 기관의 신호는 Ib 구심성 섬유를 통해 척수에 전달되고 억제성 개재 신경원인 Ib 개재 신경원과 연결을 하여 동일근의 운동 신경원을 억제한다[6]. 따라서 이러한 관점에서 스트레칭이 근육의 흥분성을 억제할 수 있는 것으로 여겨져 왔다.

골지건 기관은 치밀고유결합조직(dense proper connective tissues) 위 모든 곳에서 발견되며 이들 치밀고유결합조직은 인대, 관절낭은 물론 근건접합부에 존재하는데 이러한 감각 수용기들은 근막섬유(fascial fibers)들과 직렬로 정렬되어 있으며 발화율을 낮추기 위해 척수들 경유하는  $\alpha$ -운동 신경원에 영향을 미쳐 느린 스트레칭에 반응하여 근섬유를 상대적으로 유연하게 한다[7]. Cottingham[8]은 연부조직 도수 조작을 하는 동안 골지건 기관들은 자극되고 이러한 자극에 의해  $\alpha$ -운동신경원의 발화율이 낮아지고 이후 이는 관련 조직의 긴장도 감소로 전환된다고 하였다.

그러나 Jami[9]는 수동 신장은 골지건 기관을 자극하지 않는다고 보고하였다. Schleip[7]도 골지건 기관의 자극은 능동적인 근육의 수축으로만 가능하다고 하였

으며 Bakheit 등[10]도  $\alpha$ -운동신경원의 흥분도 변화는 스트레칭의 직접적인 효과라기보다는 다른 기전 때문 일 것이라고 추론하였다. 이러한 이유는 골지건 수용기들의 정렬에 있다. 전술한 바와 같이 골지건 수용기들은 근섬유들과 직렬로 정렬되어 있어 근육이 수동적으로 늘어나면 대부분의 신장력은 근섬유가 탄력적으로 늘어남에 따라 팽팽하게 되거나 흡수되기 때문이다[7].

$\alpha$ -운동신경원의 흥분과 억제를 관찰하는 전기생리학적 평가 방법인 Hoffmann 반사는 1918년 Hoffmann에 의해 발견되었다[11]. Hoffmann 반사의 진폭은 증가하는 운동 신경원 저장소(motor neuron pool)의 흥분을 의미하고 진폭의 감소는 운동 신경원 저장소의 억제를 의미한다[6]. Hoffmann 반사의 신경회로는 신장반사의 신경회로와 같으나[6] 반사 망치 대신 근육을 지배하는 신경을 직접 전기 자극하여 구심성 Ia 섬유를 통해 전달된 자극이 척수 전각의 운동신경원과 연결을 한 후 원심성 경로로 전달된 흥분파가 근육을 탈분극 시키는 전위를 근전도 표면 전극(surface electrode)을 이용하여 기록한다[11]. 전기 자극 후 표면 전극을 통해 기록된 전위는 크게 H-파와 M-파로 구분되는데 H-파는 비교적 약한 전기 자극에 의해 나타나는 긴 잠복시를 가진 전위인 반면 H-파 획득에 필요한 전기 자극보다 강도를 증가시킬 경우 H-파가 소실되면서 짧은 잠복시를 보이는 전위가 새롭게 나타나는데 이는 전기 자극하는 신경이 지배하는 근육의 복합 근 활동전위(compound muscle action potential)인 M-파이다. Hoffmann 반사를 이용하여 운동 신경원의 흥분 정도를 평가하는 방법에는 H-파의 최대 진폭과 M-파의 최대 진폭을 백분율로 나타내는 방법(Hmax/Mmax ratio)과 H-파의 역치와 M-파의 역치를 백분율로 나타내는 방법(Hth/Mth ratio)[12] 그리고 H-파의 평균 진폭 변화율을 구하는 방법[13] 등이 사용되고 있다.

이상의 선행 연구들[4-10]의 보고를 종합해 보면 스트레칭에 의한 근육 흥분도의 변화와 유연성의 개선 기전에 대한 의견이 다소 상반되고 있으며 스트레칭의 효과를 보고한 연구들의 대부분도 관절가동범위의 개선에 관한 연구[14-18]로서 단기간의 스트레칭이  $\alpha$ -운동신경원의 흥분도를 변화시키는지의 여부와 이들 변화

추이에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 비복근 스트레칭 이후  $\alpha$ -운동 신경원의 흥분도 변화 추이를 Hoffmann 반사를 이용한 전기생리학적 평가를 통해 알아보고 아울러  $\alpha$ -운동 신경원의 흥분도 변화가 족관절 능동 배측굴곡 가동범위의 변화를 유발하는지 여부를 질환별 임상 실험에 앞서 예비 연구로서 시도하였다.

## II. 연구방법

### 1. 연구 설계 및 대상

본 연구는 스트레칭 적용 전과 1차 스트레칭 적용 후, 2차 스트레칭 적용 후 그리고 스트레칭 적용 48시간 후  $\alpha$ -운동 신경원의 흥분도 정도를 비교 분석하는 전후 조사 실험 설계에 기초하여 설계하였다. 본 연구는 C대학교에 재학 중인 근골격계 질환 관련 과거력이 없는 건강한 20대 피검자 10명을 대상으로 연구를 실시하였다.

### 2. 스트레칭 적용

스트레칭을 적용하기 위하여 피검자들을 치료용 테이블에 양와위로 눕게 한 다음 동일한, 한 사람에게 의해 발의 종골 부위와 족저의 중족지절관절 밑을 양 손으로 잡아 배측굴곡이 최대로 일어나도록 한 다음 2분간 스트레칭을 실시하게 하였으며 2분간의 스트레칭 후 1분간의 휴식을 실시하도록 한 다음 2분간 다시 동일한 절차에 의하여 스트레칭을 실시하도록 하였다.

### 3. 비복근 $\alpha$ -운동 신경원 흥분도 측정

$\alpha$ -운동 신경원의 흥분도 정도는 근전도(electromyography)의 반사 검사 중 하나인 Hoffmann 반사를 이용하였다. Hoffmann 반사를 얻기 위한 전기 자극은 정중 슬와근 주름(midpopliteal crease)에서 후경골 신경을 양극성 전극을 이용하여 자극하였다. 자극은 1Hz의 자극 주파수를 정방향으로 하여 자극하였으며 자극 빈도는 2초당 1회로 하였고 저역통과 필터링(low-pass filtering) 10KHz, 고역통과 필터링(high-pass filtering) 5Hz, 민감도 5,000 $\mu$ V, 그리고 소인

속도(sweep speed)는 5ms로 설정하였다.

Hoffmann 반사의 전극 부착 부위는 환자를 복와위로 눕힌 후 기록 전극(active electrode)은 슬관절에서 경골 내측면을 이분하여 그 중간 지점과 내과의 끝을 연결한 선을 그어, 이 선의 정중앙부에서 경골능(tibia crest)의 바로 내측 비복근에 부착하였고 기준 전극(reference electrode)은 아킬레스 건 위에 부착하였으며 접지 전극(ground electrode)은 자극 전극과 기록 전극 사이에 부착하였다. Hoffmann 반사와 M-파의 획득은 전기 자극 강도를 서서 증가시켜 최대 Hoffmann 반사를 구한 후 다시 강도를 증가시켜 최대 M-파를 구하였다. Hoffmann 반사 최대 진폭대 M-파 최대 진폭비(Hmax/Mmax ratio)는 두 개의 활동전위에 대한 각각의 최대치의 비율로 측정하였으며 각각의 진폭 측정은 양극정점(positive peak)에서 음극정점(negative peak)까지로 하였다.

### 4. 유연성 측정

스트레칭 적용에 따른 유연성의 차이는 족관절 능동 배측굴곡 가동범위를 통해 알아보았다. 측정자 간의 차이를 최소화 하기위해 동일한 검사자에 의해 검사를 수행하였다. 족관절 가동범위의 측정은 피검자를 발이 지면에 닿지 않은 높이의 의자에 슬관절을 90도로 굴곡하여 앉게 하여 각도계(PC5054A, Preston, USA)를 이용하여 각도계의 축을 외측과의 중심에 일치시킨 다음 고정자는 비골의 외측 중앙선과 평행하게 한 다음 운동자는 종골의 외측 중앙선과 평행하게 일치시켜 각도를 측정하였다. 관절 가동범위는 3회를 측정하여 측정된 값의 평균값을 연구에 이용하였다.

### 5. 자료 처리

연구 과정에서 수집된 자료는 부호화한 후 자료 처리는 유의 수준  $\alpha$ 를 0.05로 하여 통계 패키지 SPSS for Windows(ver. 14.0)를 이용하여 분석하였다. 먼저 피검자들의 일반적 특성은 평균 및 표준 편차로 산출하였으며 스트레칭 적용 전, 스트레칭 적용 후, 그리고 스트레칭 적용 48시간 후 이들로부터 수집된 자료를 바탕으로 비복근  $\alpha$ -운동 신경원 흥분도 차이와 족관절의 유연성

을 알아보기 위한 관절가동범위를 비교하기 위해 반복 측정분산분석(repeated measure ANOVA)을 실시하였으며 각 시기별 비복근  $\alpha$ -운동 신경원 흥분도 차이와 관절가동범위의 차이를 비교하기 위해 대비검정을 실시하였다.

### III. 결과

#### 1. 연구대상자의 일반적 특성

연구대상자의 평균 연령은  $22.50 \pm 1.43$ 세, 평균 신장은  $170.10 \pm 6.83$ cm, 평균 체중은  $63.10 \pm 9.39$ kg이었다.

#### 2. 스트레칭에 의한 비복근 $\alpha$ -운동 신경원 흥분도 변화 비교

스트레칭 적용 시기별 비복근의  $\alpha$ -운동 신경원(Hmax/Mmax ratio)의 흥분도 변화 추이는 [표 1][그림 1]과 같다. 스트레칭 적용 전 진폭 비는 23.54%, 1차 스트레칭 적용 후 진폭 비는 15.17%, 2차 스트레칭 적용 후 진폭 비는 11.17% 그리고 스트레칭 적용 48시간 후의 진폭 비는 29.42%를 보였다.

표 1. 스트레칭에 의한  $\alpha$ -운동 신경원 흥분도 변화

평균±표준편차	적용 전	1차 적용 후	2차 적용 후	2차 적용 48시간 후
Hmax/Mmax ratio(%)	23.54±13.78	15.17±6.61	11.17±5.58	29.42±27.19
반복측정 분산분석	재배유형 제공합	평균제공	F	p
적용 전~2차 적용 후	797.70	691.24	7.94	0.01
적용 전~2차 적용 48시간 후	2025.05	1475.22	4.08	0.56
대비검정	재배유형 제공합	평균제공	F	p
적용 전 * 1차 적용 후	701.99	701.19	4.62	0.06
적용 전 * 2차 적용 후	1531.71	1531.71	11.37	0.00
적용 전 * 2차 적용 48시간 후	345.24	345.24	0.79	0.39

이를 통계적으로 검정한 결과, 2차 스트레칭 적용 직후까지는  $\alpha$ -운동 신경원 흥분도의 의미 있는 감소를 보였으나( $p=0.01$ ) 스트레칭 적용 48시간 후까지의 변화 정도는 통계적으로 의미 있는 변화를 보이지 않았다( $p=0.56$ ).

스트레칭 적용 시기별  $\alpha$ -운동 신경원 흥분도의 대비검정 결과 스트레칭 적용 전과 1차 스트레칭 적용 후의  $\alpha$ -운동 신경원 흥분도는 유의한 차이가 없었으며( $p=0.06$ ) 스트레칭 적용 전과 2차 스트레칭 적용 후의  $\alpha$ -운동 신경원 흥분도는 유의한 차이를 보였다( $p=0.00$ ). 그러나 스트레칭 적용 전과 2차 스트레칭 적용 48시간 후의  $\alpha$ -운동 신경원 흥분도는 의미 있는 차이를 보이지 않았다( $p=0.39$ ).

#### 3. 스트레칭에 의한 족관절 능동 배측굴곡 각 변화 비교

스트레칭 적용 시기별 족관절 능동 배측굴곡 변화 추이는 [표 2][그림 1]과 같다. 스트레칭 적용 전 능동 배측굴곡 각은  $20.60^\circ$ , 1차 스트레칭 적용 후 능동 배측굴곡 각은  $22.80^\circ$ , 2차 스트레칭 적용 후 능동 배측굴곡 각은  $23.80^\circ$  그리고 스트레칭 적용 48시간 후의 능동 배측굴곡 각은  $22.10^\circ$ 를 보였다. 이를 통계적으로 검정한 결과 스트레칭 적용 후 족관절 능동 배측굴곡 각 변화 정도는 통계적으로 의미 있는 변화를 보였다( $p=0.02$ ).

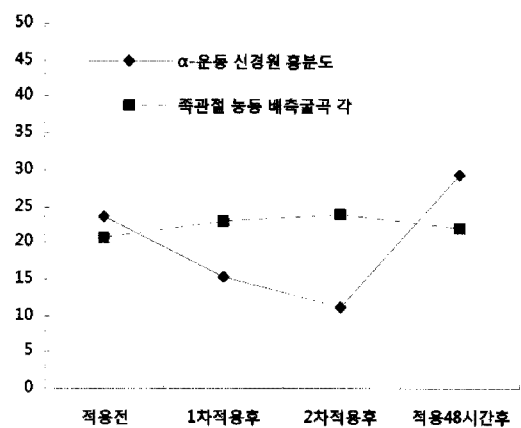


그림 1.  $\alpha$ -운동신경원 흥분도와 족관절 능동 배측굴곡 각 변화

표 2. 스트레칭에 의한 족관절 능동 배측굴곡 각 변화

평균±표준편차	적용 전	1차 적용 후	2차 적용 후	2차 적용 48시간 후
족관절 능동 배측굴곡 각(°)	20.60±3.47	22.80±4.54	23.80±5.84	22.10±4.38
반복측정 분산분석	제III유형 제곱합	평균제곱	F	p
적용 전~2차 적용 48시간 후	54.27	18.09	3.50	0.02
대비검정	제III유형 제곱합	평균제곱	F	p
적용 전 * 1차 적용 후	48.40	48.40	12.96	0.00
적용 전 * 2차 적용 후	102.40	102.40	8.40	0.01
적용 전 * 2차 적용 48시간 후	22.50	22.50	2.51	0.14

스트레칭 적용 시기별 족관절 능동 배측굴곡 각 대비 검정은 [표 2]와 같다. 스트레칭 적용 전과 1차 스트레칭 적용 후의 능동 배측굴곡 각(p=0.00) 그리고 스트레칭 적용 전과 2차 스트레칭 적용 후의 능동 배측굴곡 각은 유의한 차이를 보였다(p=0.01). 그러나 스트레칭 적용 전과 2차 스트레칭 적용 48시간 후의 능동 배측굴곡 각은 의미 있는 차이를 보이지 않았다(p=0.14).

#### IV. 논의

스트레칭은 스포츠와 의료영역에서 관절주변 조직의 유연성을 유지시켜 손상의 방지와 정상적인 관절운동을 유도하기 위하여 흔하게 사용되었던 치료 수단이다. 관절 주변 연부조직의 단축은 장기간의 고정이나 움직임의 제한, 신경근 질환 등으로 인해 발생하게 된다. 그러나 여러 연구에서 수동적 스트레칭에 의해  $\alpha$ -운동 신경원 흥분도의 변조 여부에 대한 이견들이 개선되어 오고 있다. 이에 본 연구는 스트레칭이  $\alpha$ -운동 신경원의 흥분도에 영향을 미치는지의 여부와  $\alpha$ -운동 신경원 흥분도 변화에 따라 족관절의 유연성이 변화하는지의 여부를 알아보고자 질환별 임상연구를 수행하기에 앞서 예비연구로서 수행하였다.

본 연구에서는  $\alpha$ -운동 신경원 흥분도 변화 정도를

H-파의 최대 진폭과 M-파의 최대 진폭비로 분석하였는데 H-파와 M-파 진폭비 증가는  $\alpha$ -운동 신경원의 흥분 증가를 의미하고 진폭비의 감소는  $\alpha$ -운동 신경원의 흥분 감소를 의미한다[19][20]. 본 연구에서는 스트레칭 적용 후 [그림 1]과 [표 1]에 제시한 바와 같이 1차와 2차 스트레칭 적용 직후 각각 스트레칭 적용 전에 비해 H-파와 M-파의 최대 진폭비가 35.6%와 52.5% 감소하여 유의하게  $\alpha$ -운동 신경원의 흥분도가 감소되었다. 이와 같은 결과는 스트레칭 후 H-반사의 감소를 보고한 Guissard와 Duchateau[21]의 연구와 같은 결과로 여겨지는데 Yeh 등[22]은 지속적인 신장으로 과긴장된 하퇴삼두근의 경직이 유의하게 감소하였다고 보고하였다. Nielsen 등[23]도 스트레칭 후 H-반사의 크기가 감소하였다고 보고하였으며 Kanter 등[24]은 근육을 신장하는 동안 H-파의 진폭이 46.2%~85.7% 유의하게 감소함을 보고하면서 신장이 연접 전, 운동신경원에 중요한 영향을 미치는 인자라고 주장하였다.

반면, 본 연구에서 스트레칭을 적용하지 않은 2차 스트레칭 적용 48시간 후에는  $\alpha$ -운동 신경원의 흥분도가 다시 증가하여 스트레칭 적용 전과 비슷한 정도로  $\alpha$ -운동 신경원의 흥분도가 증가하였다. Tanino 등[25]도 다리를 견인하는 동안 H-반사의 진폭이 감소되었으며 견인을 제거한 후 H-파의 진폭이 증가하였다고 하여 1회성 신장에 의해서  $\alpha$ -운동신경원의 일시적인 변화가 유발됨을 보고하였다. Dishman과 Burke[26]도 스트레칭과 유사한 일회성 척추 도수교정(spinal manipulation) 이후 일과성으로  $\alpha$ -운동 신경원의 흥분도의 변화가 발생하였다고 하여 본 연구와 같은 결과를 보고하였다. 비복근의  $\alpha$ -운동 신경원 흥분도 변화에 의해 유연성의 변화가 동반될 것으로 판단하여 본 연구에서는 비복근의 유연성의 정도를 족관절의 능동 배측굴곡 각으로 분석하였는데 [그림 1]과 [표 2]에 제시한바와 같이 1차 스트레칭 적용 직후 족관절의 능동 배측굴곡 각은 10.7%, 2차 스트레칭 적용 직후 15.5% 그리고 2차 스트레칭 적용 48시간 후 7.3% 증가한 것으로 나타나 2차 스트레칭 적용 후까지는 유의한 증가를 보였으나 2차 스트레칭 적용 48시간 후에는 스트레칭 적용 전에 비해 유연성은 의미 있는 변화를 보이지 않았다. 이러한 결

과는 비복근의 스트레칭 이후 족관절의 배측굴곡이 증가하였다는 Johanson 등[27]의 연구 그리고 6주간의 하퇴삼두근 스트레칭으로 노인의 족관절 배측굴곡이 증가하였다고 보고한 Johnson 등[28]의 연구와 일치하는 결과로 사료된다. 그러나 Youdas 등[29]은 1일 1회, 2분간 스트레칭을 6주간 하퇴삼두근에 적용한 결과 족관절의 능동 배측굴곡 각의 유의한 변화는 없었다고 보고하여 본 연구와는 다른 결과를 보였다.

본 연구의 결과를 종합해 보면 총 5분 동안 1분간의 휴식 시간을 스트레칭 적용 중간에 제공하여 4분간의 스트레칭을 24시간 단위로 2회 적용 한 경우 비복근의  $\alpha$ -운동 신경원 흥분도와 족관절 배측굴곡의 유연성은 의미 있는 변화를 보였으나 2차 스트레칭을 적용한 다음 스트레칭을 적용하지 않은 48시간 후에는 스트레칭 적용 전과 비슷한 수준으로 회복되는 양상을 보였다. 이와 같은 스트레칭에 의한  $\alpha$ -운동 신경원의 흥분도 변화는 족관절 주변의 인대와 관절을 지배하는 기계적 수용기의 발화로 생각할 수 있다. 기계적 수용기는 I형~IV형으로 구분 할 수 있다. I형의 기계적 수용기는 관절낭의 섬유층과 인대 부위에 루피니형(ruffini-like)으로 위치하고 있으며 사지의 근위부와 척추의 경부에 밀집되어 있다. I형의 기계적 수용기는 낮은 자극 역치에 활성화되며 느린 적응 특성을 가지고 있어 장기간의 압박에 반응 한다. II형의 기계적 수용기는 관절낭의 섬유층, 활액막의 연접부, 관절내외의 지방판(fat pad)에 파치니형(pacinian-like)을 하고 있으며 족관절이나 수근관절과 같은 원위부 관절과 측두하악관절과 요추부의 관절낭 심층부에 존재한다. II형의 기계적 수용기는 낮은 자극 역치에 활성화 되고 빠른 적응성을 가지고 있으며 빠른 압박의 변화와 진동에 반응 한다. III형의 기계적 수용기는 주로 사지 관절의 측부 인대, 흉요추부의 소관절(facet joint) 부위, 측두하악관절, 그리고 척추의 종주인대(longitudinal ligament), 극간인대(interspinous ligament)에 골지건 기관과 유사한 형태로 존재한다. III형의 기계적 수용기는 매우 높은 역치와 느린 적응 특성을 가지고 있으며 관절운동의 끝부분에서 길이방향의 강한 스트레칭에 반응하여 주위 근육의  $\alpha$ -운동신경원의 흥분도를 억제시켜 근육의 긴

장도를 낮춘다. IV형의 기계적 수용기는 자유 신경 종말(free nerve ending)로 고역치 통증 수용기로서 극도의 기계적 자극에 의해 활성화되며 근섬유를 제외한 인대, 관절낭, 관절 주위의 지방판에 위치한다[7][30-32].

따라서 본 연구에서와 같이 강하게 족관절에 가한 스트레칭은 III형의 기계적 수용기를 자극하기에 적합한 방법이다. 그러나 Moraes 등[33]의 연구를 살펴보면 족관절에는 파치니형, 루피니형, 골지건 기관 그리고 자유 신경 종말 형태의 기계적 수용기들이 분포해 있으며 이들 기계적 수용기들 중 파치니형 기계적 수용기가 다른 수용기들 보다 유의하게 많았다고 보고하였다. 그러므로 족관절에서 기계적 수용기를 자극하여 신경의 신호 변조를 효과적으로 도모하기 위해서는 빠른 추력 도수 교정(high velocity thrust manipulative technique)이나 진동 기법(oscillation technique)이 보다 효과적일 것으로 사료되나 본 연구와 같은 형태의 강한 스트레칭이 족관절에 분포하는 골지건 기관 형태의 III형 기계적 수용기를 자극하지 않았을 것이라고 단정하기는 어려울 것이다.

또 다른 가능성은 골지건 기관의 직접적인 자극을 생각해 볼 수 있을 것이다. 근건 접합부(musculotendinous junction)에서 파치니형 기계적 수용기는 건 부위에 보다 많이 분포하는 반면 골지건 기관은 근육부에 많이 분포한다[7]. 전술한 바와 같이 골지건 기관은 근육과 같은 수축 요소와 직렬로 위치해 있으므로 스트레칭에 의해 연부조직이 당겨질 때, 골지건 기관이 자극되고 이러한 신호는 Ib 구심성 신경 섬유를 통해 척수에 전달되어 억제성 개재 신경원인 Ib 개재 신경원과 연접을 하여 동일근의 운동 신경원을 억제시킨 것으로 사료된다[6]. 즉, 근육이 스트레칭을 통해 늘어난 길이를 계속 유지하기 위해서는 근섬유분절(sarcomere)의 수가 증가하여야 하는데[34] 근섬유분절 수의 증가와 같은 구조적 변화는 장기간의 스트레칭에 의해 발생한다. 따라서 본 연구에서와 같은 단기간의 스트레칭을 통해서 근육의 구조적인 변화가 발생되지 않기 때문에 근육에 다수 분포하는 골지건 기관의 작용에 의한 비복근의  $\alpha$ -운동 신경원 흥분도 감소에 의해 근육의 유연성이 증가한 것으로 사료된다. 이러한 근거는 2차 스트레칭 48시

간 후  $\alpha$ -운동 신경원의 흥분도 증가를 의미하는 H-과와 M-과의 최대 진폭비가 증가함에 따른 족관절의 능동 배측굴곡 각의 증가 정도가 감소함을 통해 유추할 수 있다. 즉, 근섬유분절의 수적 증가가 이루어지지 않아 비복근의  $\alpha$ -운동 신경원 흥분도가 스트레칭 적용 전과 같은 수준으로 회복됨에 따라 족관절의 유연성도 동반 감소한 것으로 여겨지며 이로 인해 선행 연구[28]에서와 같이 유연성의 단기적 변화가 나타난 것으로 사료된다.

## V. 결론

본 연구의 결과 단기간의 스트레칭의 적용은 비복근의  $\alpha$ -운동 신경원 흥분도를 감소시킬 수 있는 것으로 나타났으나 족관절 배측굴곡을 위한 비복근의 유연성 증가를 위해서는 장기간의 스트레칭이 필요한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 족관절 주변의 III형 기계적 수용기와 비복근의 골지건 기관의 활성화에 기인한 것으로 여겨진다. 따라서 차후 이들 수용기에 대한 분자의학적인 심도 있는 연구와 근육의 긴장도가 증가하는 질환에 적용된 스트레칭이 본 연구와 같은  $\alpha$ -운동 신경원 흥분도 변조에 영향을 미치는지에 대한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

## 참고 문헌

- [1] P. A. Mortenson and J. J. Eng, "The use of casts in the management of joint mobility and hypertonia following brain injury in adults: a systematic review," *Phys Ther*, Vol.83, No.7, pp.648-658, 2003.
- [2] M. Stokes, *Physical management of neurological rehabilitation*, Elsevier Mosby, 2004.
- [3] M. J. Alter, *Science of flexibility*, Human Kinetics, 1996.
- [4] J. M. Gracies, "Pathophysiology of impairment in patients with spasticity and use of stretch as a treatment of spastic hypertonia," *Phys Med Rehabil Clin N Am*, Vol.12, No.4, pp.747-768, 2001.
- [5] J. B. Nielsen, C. Crone, and H. Hultborn, "The spinal pathophysiology of spasticity—from a basic science point of view," *Acta Physiol(Oxf)*, Vol.189, No.2, pp.171-180, 2007.
- [6] C. T. Leonard, *The neuroscience of human movement*, Mosby, 1998.
- [7] R. Schleich, "Fascial plasticity—a new neurobiological explanation : Part 1," *J Bodyw Mov Ther*, Vol.7, No.1, pp.11-19, 2003.
- [8] J. T. Cottingham, *Healing through touch - a history and a review of the physiological evidence*, Rolf Institute Publications, 1985.
- [9] L. Jami, "Golgi tendon organs in mammalian skeletal muscle: functional properties and central actions," *Physiol Rev*, Vol.73, No.3, pp.623-666, 1992.
- [10] A. M. Bakheit, V. Maynard, and S. Shaw, "The effects of isotonic and isokinetic muscle stretch on the excitability of the spinal alpha motor neurones in patients with muscle spasticity," *Eur J Neurol*, Vol.12, No.9, pp.719-724, 2005.
- [11] E. R. Kendel, J. H. Schwartz, and T. M. Jessell, *Principles of neural science*, McGraw-Hill, 2000.
- [12] K. Funase, K. Imanaka, Y. Nishihira, and H. Araki, "Threshold of the soleus muscle H-reflex is less sensitive to the change in excitability of the motoneuron pool during plantarflexion or dorsiflexion in humans," *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, Vol.69, No.1, pp.21-25, 1994.
- [13] S. G. Hardy, T. B. Spalding, H. Liu, T. G. Nick, R. H. Pearson, A. V. Hayes, and D. S. Stokic, "The effect of transcutaneous electrical stimulation on spinal motor neuron excitability in people without known neuromuscular diseases: the roles of stimulus intensity and location," *Phys*

- Ther, Vol.82, No.4, pp.354-363, 2002.
- [14] K. O'Sullivan, E. Murray, and D. Sainsbury, "The effect of warm-up, static stretching and dynamic stretching on hamstring flexibility in previously injured subjects," *BMC Musculoskelet Disord*, Vol.10, No.1, pp.37, 2009.
- [15] S. G. Trevino, W. L. Buford, S. Vallurupalli, M. Rowell, and V. K. Panchbhavi, "Use of a patient-controlled stretching device to improve the ankle range of motion," *Foot Ankle Int*, Vol.30, No.2, pp.110-114, 2009.
- [16] J. M. Fasan, A. M. O'Connor, S. L. Schwartz, J. O. Watson, C. T. Plataras, C. W. Garvan, C. Bulcao, S. C. Johnson, and V. Akuthota, "A randomized controlled trial of hamstring stretching: comparison of four techniques," *J Strength Cond Res*, Vol.23, No.2, pp.660-667, 2009.
- [17] J. Cronin, M. Nash, and C. Whatman, "The acute effects of hamstring stretching and vibration on dynamic knee joint range of motion and jump performance," *Phys Ther Sport*, Vol.9, No.2, pp.89-96, 2008.
- [18] A. C. Cunha, T. N. Burke, F. J. Franca, and A. P. Marques, "Effect of global posture reeducation and of static stretching on pain, range of motion, and quality of life in women with chronic neck pain: a randomized clinical trial," *Clinics*, Vol.63, No.6, pp.763-770, 2008.
- [19] J. D. Dishman and J. Burke, "Spinal excitability changes after cervical and lumbar spinal manipulation: a comparative study," *Spine J*, Vol.3, No.3, pp.204-212, 2003.
- [20] C. J. Frijns, D. M. Laman, M. A. van Duijn, and H. van Duijn, "Normal values of patellar and ankle tendon reflex latencies," *Clin Neurol Neurosurg*, Vol.99, No.1, pp.31-36, 1997.
- [21] N. Guissard and J. Duchateau, "Effect of static stretch training on neural and mechanical properties of the human plantar-flexor muscles," *Muscle Nerve*, Vol.29, No.2, pp.248-255, 2004.
- [22] C. Y. Yeh, K. H. Tsai, and J. J. Chen, "Effects of prolonged muscle stretching with constant torque or constant angle on hypertonic calf muscles," *Arch Phys Med Rehabil*, Vol.86, No.2, pp.235-241, 2005.
- [23] J. Nielsen, N. Petersen, M. Ballegaard, F. Biering-Sørensen, and O. Kiehn, "H-reflexes are less depressed following muscle stretch in spastic spinal cord injured patients than in healthy subjects," *Exp Brain Res*, Vol.97, No.1, pp.173-176, 1993.
- [24] D. Kanter, Y. Zhu, M. McNulty, and R. Weber, "Soleus H-reflex is depressed during passive stretch of soleus muscle," *Clin Neurophysiol*, Vol.117, No.(Suppl)1, pp.162-163, 2006.
- [25] Y. Tanino, K. Takasaki, S. Daikuya, and T. Suzuki, "Introduction of the vastus medialis oblique H-reflex during traction of the leg," *Electromyogr Clin Neurophysiol*, Vol.47, No.7-8, pp.369-372, 2007.
- [26] J. D. Dishman and J. Burke, "Spinal reflex excitability changes after cervical and lumbar spinal manipulation: a comparative study," *Spine J*, Vol.3, No.3, pp.204-212, 2003.
- [27] M. Johanson, J. Baer, H. Hovermale, and P. Phouthavong, "Subtalar joint position during gastrocnemius stretching and ankle dorsiflexion range of motion," *J Athl Train*, Vol.43, No.2, pp.172-178, 2008.
- [28] E. Johnson, B. Bradley, K. Witkowski, R. McKee, C. Telesmanic, A. Chavez, K. Kennedy, and G. Zimmerman, "Effect of a static calf muscle-tendon unit stretching program on ankle dorsiflexion range of motion of older women," *J Geriatr Phys Ther*, Vol.30, No.2, pp.49-52, 2007.
- [29] J. W. Youdas, D. A. Krause, K. S. Egan, T. M.



Therneau, and E. R. Laskowski, "The effect of static stretching of the calf muscle-tendon unit on active ankle dorsiflexion range of motion," J Orthop Sports Phys Ther, Vol.33, No.7, pp.408-417, 2003.

- [30] 김선엽, "관절가동운동(mobilization)이 관절감수기(joint receptor)에 미치는 영향", 한국전문물리치료학회지, 제3권, 제2호, pp.95-105, 1996.
- [31] E. Lederman, Fundamentals of manual therapy : Physiology, neurology and psychology, Harcourt Health Sciences, 1997.
- [32] O. Grimsby, Modern manual therapy of the extremities : A course workbook, The Ola Grimsby institute, 1995.
- [33] M. R. Moraes, M. L. Cavalcante, J. A. Leite, and F. V. Ferreira, A. J. Castro, M. G. Santana, Histomorphometric evaluation of mechanoreceptors and free nerve endings in human lateral ankle ligaments. Foot Ankle Int. Vol.29, No.1, pp.87-90, 2008.
- [34] M. R. Gossman, S. A. Sahrmann, and S. J. Rose, "Review of length-associated changes in muscle. Experimental evidence and clinical implications," Phys Ther, Vol.62, No.12, pp.1799-1808, 1982.

### 저자 소개

김 중 순(Jong-Soon Kim)

정회원



- 2001년 8월 : 대구대학교 재활과학대학원(이학석사)
- 2004년 8월 : 대구대학교 대학원 물리치료전공(이학박사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 부산가톨릭대학교 물리치료학과 교수

<관심분야> : 정형물리치료학, 근골격계질환