

일부 대학생의 발목관절 발등굽힘 각도 변화에 따른 장딴지근 깃각의 차이

김지선¹, 서병도¹, 신형수¹, 신희준¹, 주정열^{*}

¹경운대학교 보건대학 물리치료학과

Change in Gastrocnemius Pennation Angle According to Ankle Dorsiflexion among University Students

Ji-Seon Kim¹, Byoung-Do Seo¹, Hyung-Soo Shin¹, Hee-Joon Shin¹, Jung-Youl Ju^{*}

¹Department of Physical Therapy, College of Health, Kyungwoon University

요약 본 연구의 목적은 발목관절의 발등굽힘 각도를 0°, 10°, 20°로 위치하게 한 후 각 각도에서 장딴지근의 깃각 변화에 미치는 영향을 비교하여 효율적인 장딴지근 신장 각도를 제시하는 것이다. 건강한 성인 남녀 25명을 그 대상으로 하여 발목관절 발등굽힘 각도 0°, 10°, 20°에서 초음파 기기를 이용하여 내측 장딴지근의 깃각을 측정하였다. 각도별 장딴지근의 깃각 변화를 알아보기 위해 반복측정분산분석을 성별에 따른 각도별 차이를 알아보기 위해 독립 t 검정을 실시하였다. 연구의 결과 발목관절의 발등굽힘 각도가 증가함에 따라 장딴지근의 깃각은 유의하게 감소하였으며, 각 각도별 사이 교호작용이 유의한 것으로 나타났다($p < 0.01$). 각 각도별 남녀 차이 비교 결과 남성의 깃각이 더 큰 값을 보였으나 유의한 차이는 없었으며($p > 0.05$), 성별에 따른 발등굽힘 각도 증가에 따른 장딴지근의 깃각은 유의한 차이를 보였다($p < 0.01$). 이러한 결과는 장딴지근 신장을 위한 발등굽힘 시 관절운동범위의 마지막 범위에서 시행하는 것이 장딴지근의 신장에 작은 각도로 시행하는 것보다 긍정적인 효과를 가져올 수 있다는 것을 의미한다. 향후 장딴지근 신장에 영향을 미치는 신장 각도, 적용 시간 등 다양한 요소들에 대한 연구가 지속되어야 할 것이다.

Abstract This study aimed to investigate the influence of the ankle dorsiflexion angle (0°, 10°, and 20°) on the effectiveness of gastrocnemius stretching angle. The subjects of this study were 25 young man and female women. In all participants, the pennation angle of the medial head of the gastrocnemius was evaluated using ultrasonography at an ankle dorsiflexion angle of 0°, 10°, or 20°. Repeated measures analysis of variance was used to test for differences between ankle dorsiflexion angles. The independent t-test was performed to determine the significance of sex differences. The results of this study showed that the gastrocnemius pennation angle decreased as the ankle dorsiflexion angle increased, with significant interaction between each angle of ankle dorsiflexion angle ($p < 0.01$). Sex comparison showed that the pennation angle was greater in man than in women, but the difference was not significant ($p > 0.05$). According to the sex the gastrocnemius pennation angle is decreased as the ankle dorsiflexion angle increased ($p < 0.01$). These results suggest that the end range of dorsiflexion is more beneficial for gastrocnemius stretching than a small range. Further studies are needed to investigate the influence of other factors, such as stretching angle and application time, on gastrocnemius stretching.

Keywords : Dorsiflexion Angle, Gastrocnemius, Pennation Angle, Stretch, Ultrasonography

1. 서론

신체 활동은 움직임에 따라 근육의 신장(stretching)-

단축(shortening), 단축-신장 등과 같은 패턴에 의해 나타나며 근육의 신장과 수축이 원활하게 이루어질 때 정상적인 움직임 수행이 가능해진다[1, 2]. 종아리세갈래

*Corresponding Author : Jung-Youl Ju(Kyungwoon Univ.)

Tel: +82-54-479-1375 email: pt-jyy@hanmail.net

Received October 22, 2015

Revised (1st November 3, 2015, 2nd November 10, 2015, 3rd November 13, 2015)

Accepted December 4, 2015

Published December 31, 2015

근은 보행에서 중요 시 되는 근육 중 하나로 이중 장딴지근(gastrocnemii)은 입각기(stance phase) 동안 단축-신장-단축 주기로 움직임이 나타난다[3].

발목관절의 발등굽힘(dorsiflexion)과 종아리세갈래근의 유연성은 보행, 스포츠 활동과 같은 정상적인 기능 수행에 필수적인 요소로 작용한다. 종아리세갈래근의 단축은 발목관절 발등굽힘의 가동 범위 감소로 이어지며 이로 인해 통증과 수행 능력의 저하를 야기하여 보행 패턴의 변화를 가져오는 원인이 된다[4].

근육의 유연성 증가 즉 정상적인 근육의 길이 확보는 부상 방지와 수행 능력 향상, 통증 감소를 가져온다[4]. 신장은 인대, 관절낭 같은 결합 조직과 근육의 유연성을 증가시키고 통증 감소, 기능 향상과 같은 목적으로 임상에서 많이 사용하고 있는 중재 방법이다[5-8]. 신장은 근 힘줄단위(muscle tendon unit)의 탄성 변화로 관절의 가동성을 증가시키고 구축을 예방하는 것으로 보고되고 있다[9, 10].

임상에서 발목관절의 가동 범위 증진을 위한 중재 방법으로 벽면을 이용한 장딴지근의 신장과 물리치료사들이 수동적으로 시행하는 장딴지근의 신장이 일반적이며 최선의 방법으로 알려져 있다[4].

최근 근육 구조의 특성을 측정하기 위해 초음파가 많이 사용되어지고 있다. 초음파는 표면근전도와 같이 다른 근육의 혼선(cross talk)없이 특정 근육의 활성화를 측정할 수 있다. 또한 비침습적이고 경제적이며 안정적이라는 이점을 가지고 있어 골격근 수축을 위한 평가 도구로 적합하다[11]. 초음파를 이용하여 근섬유의 길이, 깃각(pennation angle), 근육의 두께와 단면적 등을 파악할 수 있는데[12], 이 중 깃각은 장딴지근 섬유 배열의 변화 측정을 위한 평가 방법으로 많이 사용되고 있다[13].

장딴지근은 보행과 같은 신체 활동에 있어 중요한 근육으로 입상에서는 적절한 장딴지근 길이 유지의 중요성을 인지하고 있다. Kawakami 등(2008)은 수동적인 발목관절 발등굽힘을 유지한 후 원위부 내측 장딴지근의 근 힘줄 접합부(muscle-tendon junction)의 길이 변화에 대해 연구하였다[14]. 또한 장딴지근의 신장 방법에 있어 신장 속도와 신장에 가하는 힘에 대한 연구와[15, 16] 발목관절을 20° 발등굽힘 방향으로 신장시킨 후 그 효과를 증명하는 연구들이 진행되었다[17]. 선행 연구들에서는 신장 각도에 따른 장딴지근의 깃각 변화에 대한 연구는 찾아보기 어려웠으며 입상에서는 장딴지근의 효과적인

신장 각도에 대한 근거가 제시되지 않은 상황에서 확립된 각도에서 신장을 적용하고 있다.

따라서 본 연구에서는 건강한 성인을 대상으로 장딴지근이 신장되는 동작인 발목 발등굽힘 각도를 0°, 10°, 20°로 수동적으로 신장시킨 후 각 각도에 따른 장딴지근의 깃각 변화를 알아보고 본 연구 결과를 바탕으로 적절한 장딴지근의 신장 각도를 제시하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 연구대상자

본 연구는 G시 소재 K대학에 재학 중인 건강한 성인 남녀 25명을 그 대상으로 실시하였다. 대상자의 구체적인 선정기준은 다음과 같다. 이전에 발목관절에 골절, 외상, 수술, 염증성 관절 질환이 없는 자, 신경학적 병변이 없는 자, 연구의 참여에 동의한 자를 그 대상으로 하였다. 연구 대상자의 일반적인 특성은 다음과 같다(Table 1).

Table 1. Characteristics of subjects (N=25)

Spec.	mean±SD
Age(yr)	23.44±1.61
Height(cm)	169.20±9.00
Weight(kg)	62.20±11.59
Gender(male/female)	15/10

2.2 측정도구

장딴지근의 깃각 변화를 측정하기 위해 7.5 MHz 선형탐촉자(linear transducer) 초음파 기기(Acuson X150, Siemens Medical Solutions, USA)를 발목관절의 발등굽힘 각도 측정을 위해 전자각도계(Baseline digital absolute + axis goniometer, Sammons Preston, USA)를 사용하였다.

2.3 측정도구

2.3.1 깃각 측정방법

측정을 위해 연구대상자는 무릎관절을 신전하고 발목관절의 발등굽힘이 가능하도록 침대 끝 바깥쪽으로 발목관절을 위치하도록 한 후 옆드린 자세를 취하였다. 발등굽힘의 시작 각도는 발목관절의 해부학적인 0°로 종아리의 정중양선과 발꿈치뼈(calcaneus)이 일직선이 되는

자세이다. 첫 번째 측정자는 각도계(goniometer)를 이용하여 대상자의 발목관절 각도가 해부학적인 0°에 위치할 수 있도록 하였다. 두 번째 측정자는 전자각도계의 고정 팔(stationary arm)은 종아리뼈머리(fibular head)와 움직임 팔(moving arm)은 5번째 발허리뼈(metatarsal bone)의 외측 면과 일직선 상에 두고 대상자의 발목관절이 발등굽힘 각도 0°, 10°, 20°에 위치하도록 수동적으로 조절 해주었다[18](Fig. 1). 깃각은 내측 장딴지근에서 측정하였으며 초음파 탐촉자는 슬와부에서 발목관절 외과까지 거리를 측정한 후 근위부 30% 중양부에 종단면으로 위치하도록 하였다[19, 20]. 깃각은 내측 장딴지근 종단면 측정 영상을 저장 후 초음파 기기의 전자 캘리퍼를 이용하여 섬유속(fascicle)과 심부건막(deep aponeurosis) 사이의 각도를 측정하여 그 값을 구하였다[21, 22](Fig. 2).

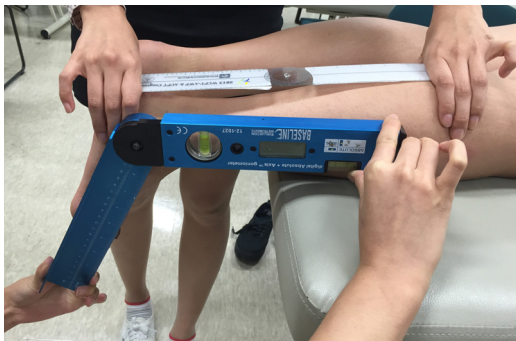


Fig. 1. Measurement position of ankle dorsiflexion

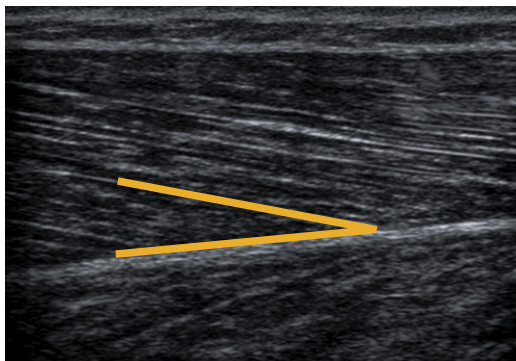


Fig. 2. Measurement of pennation angle

2.3.2 실험과정

연구대상자의 장딴지근 깃각 변화를 알아보기 위해 장딴지근이 신장되는 동작인 발목 발등굽힘 각도를 0°,

10°, 20°로 수동적으로 신장시킨 후 각 각도에 따른 장딴지근의 깃각을 측정하였다. 실험 시작 전 연구대상자들에게 실험에 대한 내용 및 절차에 관해 설명하였으며, 우세측 발 측정을 위해 측구공 차기를 실시하였다. 총 세 명의 측정자가 측정에 참여하였다. 두 명의 측정자는 전자각도계를 이용하여 발목관절의 발등굽힘 각도를 측정하고 각도에 맞게 수동적 신장이 유지될 수 있도록 연구대상자의 발을 지지해주었다. 발등굽힘 각도 0°, 10°, 20°의 순서는 무작위로 실시하였다. 다른 한 명의 측정자는 초음파 기기를 사용하여 깃각을 측정하였다. 측정은 세 가지 각도에서 각각 3번씩 반복하였다.

2.3.3 분석방법

통계분석은 윈도우용 SPSS 18.0을 이용하여 분석하였다. 대상자들의 일반적인 특성은 평균과 표준편차로 나타났다. 각 각도 별 장딴지근의 깃각 변화를 알아보기 위해 반복측정분산분석(repeated ANOVA)을 실시하였다. 성별에 따른 각 각도별 장딴지근 깃각의 차이 비교를 위해 독립 t검정(independent t-test)을 실시하였다. 성별에 따른 각 각도 별 장딴지근의 깃각 변화를 알아보기 위해 이요인 반복측정분산(two way repeated ANOVA)을 실시하였다. 분석자료의 통계학적 유의수준은 .05로 하였다.

3. 연구결과

각 각도별 장딴지근의 깃각 변화에 대한 값과 성별에 따른 차이는 다음과 같다. 각 각도별 전체 대상자들의 깃각 변화에 대한 결과 발목 발등굽힘 각도가 증가됨에 따라 깃각의 크기는 감소하였으며 통계학적으로 유의한 차이를 보였다($p < .01$)(table 2). 0°와 10°, 0°와 20°, 그리고 10°와 20° 사이에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 즉, 각 각도별 깃각 사이에 통계학적으로 유의한 교호작용을 보였다(Fig. 3). 따라서 발목관절의 발등굽힘 각도가 증가함에 따라 근섬유의 길이가 증가하는 것을 알 수 있었다. 각 각도별 남녀의 차이는 남성이 여성에 비해 깃각의 크기가 큰 양상을 보였으나 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p > .05$). 성별에 따른 각 각도 별 깃각 변화에 대한 결과 발목 발등굽힘 각도가 증가됨에 따라 깃각의 크기가 감소하였으며 통계학적으로 유의한 차이를 보였다($p < .01$) (Table 3).

Table 2. Difference of pennation angle according to ankle dorsiflexion (N=25)

Angle	0°	10°	20°	F
mean±SD (°)	17.80±2.53	14.80±2.00 [†]	12.50±1.73 ^{†,*}	82.154 [*]

^{*}p<.01, [†]significant difference in comparison with 0°, ^{*}significant difference in comparison with 10°

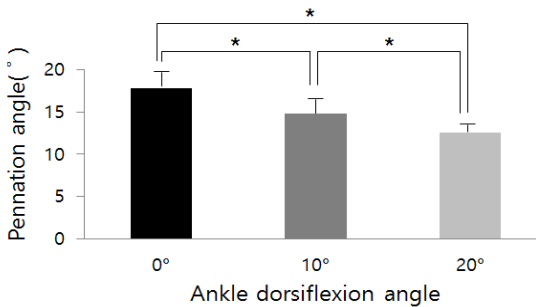


Fig. 3. Difference of pennation angle according to ankle dorsiflexion
^{*}p<.01

Table 3. Difference of pennation angle according to gender (N=25)

Angle	Male(n=15)	Female(n=10)	t
0°	17.81±2.90	17.67±1.98	.211
10°	15.44±2.21 [†]	14.80±2.00 [†]	.742
20°	13.44±2.23 ^{†,*}	12.50±1.73 ^{†,*}	1.127
F	82.154 [*]		

^{*}p<.01, [†]significant difference in comparison with 0°, ^{*}significant difference in comparison with 10°

4. 논의

장딴지근 단축으로 인한 발목관절의 발등굽힘 제한은 통증, 보행 패턴의 변화 등을 야기한다[4]. 따라서 장딴지근의 정상적인 근섬유 길이 회복은 임상적으로 매우 중요하다. 장딴지근 근섬유 길이 회복을 위해 신장은 임상에서 최우선으로 선택되는 중재 방법이다[4]. 장딴지근 신장에 관한 선행 연구들은 신장 속도와 신장에 가하는 힘에 관한 연구가 주를 이루고 있으며[15, 16], 일반적으로 신장 적용 각도는 획일화하여 적용하였다. 이에 본 연구는 발목 발등굽힘 각도의 차이에 따른 수동 신장 후 각 각도별 장딴지근의 깃각 변화를 알아보고자 시행

하였다. 본 연구의 결과 발목 발등굽힘 각도가 증가할수록 장딴지근의 깃각은 감소하는 것으로 나타났다.

신장은 외부 힘을 적용하여 관절운동범위 안에 관절의 움직임을 일으키는 중재 방법이다[23, 24]. 장딴지근은 손상이 빈번하게 발생하는 근육 중 하나로[25] 이와 같은 근손상을 위한 중재 방법으로 신장은 매우 효과적이다[26, 27]. 신장은 적용이 쉽고, 부작용이 없으며, 경제적이어서 임상에서 많이 시행하고 있다[28, 29]. 일반적으로 임상에서 실시되는 신장은 치료사들에 의해 수동적으로 시행되므로 신장의 효과는 치료사의 경험에 의해 결정된다[23, 30]. 따라서 장딴지근의 신장 각도에 따른 효과를 제시하는 것은 신장을 임상에서 더욱 효과적으로 적용이 가능할 것으로 여겨진다.

본 연구의 주된 결과는 발목관절의 발등굽힘 각도가 증가함에 따라 장딴지근 깃각의 각도가 감소하였다는 것이다. Zhou 등(2015)은 발목관절의 발바닥굽힘 시 장딴지근의 근힘줄 접합부의 길이가 유의하게 감소하였다고 보고하였다[12]. Nakamura 등(2012)은 18명의 남성을 그 대상으로 9명은 벽면을 이용한 장딴지근의 신장 적용군 9명은 대조군으로 나누어 4주간의 중재기간을 거친 후 근힘줄 접합부의 길이의 변화를 살펴본 결과 벽면을 이용한 장딴지근 신장 적용군이 대조군에 비해 근힘줄 접합부의 길이가 증가했다고 보고하였다[10]. Kawakami 등(2008)은 총 12명(남성 6명, 여성 6명)을 그 대상으로 수동적인 발목관절 발바닥굽힘 30°, 20°, 10°, 0°, -10°, -20°, -30° 상태에서 원위부 내측 장딴지근의 근힘줄 접합부의 길이 변화를 살펴본 결과 발목관절의 발등굽힘 시 근힘줄 접합부의 길이가 신장되었다고 보고하였다[14]. 이러한 연구 결과는 발목관절의 발등굽힘 각도가 증가함에 따라 장딴지근의 길이 증가에 도움이 된다는 것을 의미하며 선행 연구와 본 연구의 결과가 일치하는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 장딴지근의 깃각이 성별에 따른 차이가 있다는 선행 연구의 결과를 바탕으로 장딴지근의 신장에 성별 차이에 따른 영향을 알아 보았다. 본 연구의 결과 발목관절의 발등굽힘 각도의 변화가 성별에 따른 장딴지근 깃각에 미치는 효과를 비교한 결과 남성이 여성에 비해 모든 발목관절의 발등굽힘 각도에서 깃각의 크기가 큰 양상을 보였으며 남녀 모두 발목관절의 발등굽힘 각도가 증가함에 따라 장딴지근 깃각의 각도가 감소하였다. Chow 등(2000)은 남성 19명 여성 16명을 대

상으로 한 연구에서 남성의 장딴지근 깃각이 여성보다 크다고 하였으며[31], Manal 등(2006)은 남녀 각각 8명씩을 대상으로 좌, 우측 장딴지근의 깃각을 측정 한 결과 남성의 깃각이 더 크다고 보고하였다[32]. 이러한 연구 결과는 본 연구의 결과와 일치하는 결과라 할 수 있다.

본 연구에서는 장딴지근 근섬유의 신장 정도를 평가하기 위해 초음파를 이용하여 깃각을 측정하였다. 골격근 섬유의 배열은 근육의 수축과 밀접한 관련이 있으며 이와 같은 근육의 특성은 초음파를 이용하여 근섬유의 길이, 깃각, 근육의 두께와 단면적 측정을 통해 알아볼 수 있다[12].

본 연구는 몇 가지 제한점을 가지고 있다. 첫째, 적은 수의 젊고 건강한 성인 남녀를 대상으로 연구를 실시하여 본 연구의 결과를 모든 연령층의 사람들과 질환을 가지고 있는 환자들에게 일반화하기에는 어려움이 있다. 둘째, 본 연구는 수동적인 신장 시 나타나는 즉각적인 변화를 측정하였으며 추적조사가 이루어지지 않아 장기간의 신장 효과를 알 수 없다. 셋째, 수동적인 신장의 각도를 0°, 10°, 20°로 제한하여 측정하였으므로 발목관절 발등굽힘의 전범위에 걸친 신장 효과를 알 수 없다. 따라서 향후 연구에서는 본 연구의 제한점을 보완하여 장딴지근 신장 기법의 효과에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

4. 결론

장딴지근은 보행과 같은 신체 활동에 중요한 근육이며 신장은 근육 손상 시 가장 쉽게 적용할 수 있는 중재 방법이다. 따라서 임상에서 장딴지근의 신장은 흔히 시행되고 있다. 이에 본 연구는 발목관절 발등굽힘 각도에 따른 장딴지근의 깃각을 측정하여 적절한 장딴지근의 신장 각도를 제시하고자 시행되었다. 연구의 결과 발목관절의 발등굽힘 각도가 클수록 장딴지근의 깃각이 작게 나타났다. 이는 장딴지근의 신장을 위한 배측골곡 시 관절운동범위의 마지막 범위에서 시행하는 것이 발등굽힘 각도를 작게 하여 시행하는 것보다 효과적인 것으로 해석할 수 있다. 본 연구의 결과를 바탕으로 향후에는 장딴지근 신장에 영향을 미치는 신장 각도, 적용 시간 등 다양한 요소들에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

References

- [1] W. Herzog, T. R. Leonard, "The history dependence of force production in mammalian skeletal muscle following stretch-shortening and shortening-stretch cycles", *Journal of Biomechanics*, Vol. 33, pp. 531-542, 2000.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9290\(99\)00221-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9290(99)00221-3)
- [2] D. E. Rassier, W. Herzog, "Effects of shortening on stretch-induced force enhancement in single skeletal muscle fibers", *Journal of Biomechanics*, Vol. 37, pp. 1305-1312, 2004.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiomech.2003.12.033>
- [3] G. A. Lichtwark, A. M. Wilson, "Interactions between the human gastrocnemius muscle and the Achilles tendon during incline, level and decline locomotion", *Journal of Experimental Biology*, Vol. 209, No. 21, pp. 4379-4388, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1242/jeb.02434>
- [4] A. Scott, P. Scott, "A Comparison of Prostretch® Versus Incline Board Stretching on Active Ankle Dorsiflexion Range of Motion", *UW-L Journal of Undergraduate Research VIII*, Vol. 1 pp. 1-6, 2005.
- [5] J. M. Gracies, "Pathophysiology of impairment in patients with spasticity and use of stretch as a treatment of spastic hypertonia", *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, Vol. 12, pp. 747-768, 2001.
- [6] P. A. Mortenson, J. J. Eng, "The use of casts in the management of joint mobility and hypertonia following brain injury in adults: a systematic review", *Physical Therapy*, Vol. 83, pp. 648-658, 2003.
- [7] M. Stokes, "Physical management of neurological rehabilitation", 2nd ed, London: Elsevier Mosby, 2004.
- [8] M. Fujii, D. Suzuki, E. Uchiyama, T. Muraki, A. Teramoto, M. Aoki, S. Miyamoto, "Does distal tibiofibular joint mobilization decrease limitation of ankle dorsiflexion?", *Manual Therapy*, Vol. 15, No. 1, pp. 117-121, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.math.2009.08.008>
- [9] N. N. Mahieu, P. McNair, M. De Muynck, V. Stevens, I. Blanckaert, N. Smits, E. Witvrouw, "Effect of static and ballistic stretching on the muscle-tendon tissue properties", *Medicine and science in sports and exercise*, Vol. 39, pp. 494-501, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1249/01.mss.0000247004.40212.f7>
- [10] M. Nakamura, T. Ikezoe, Y. Takeno, N. Ichihashi, "Effects of a 4-week static stretch training program on passive stiffness of human gastrocnemius muscle-tendon unit in vivo", *European Journal of Applied Physiology*, Vol. 112, No. 7, pp. 2749-2755, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-011-2250-3>
- [11] P. W. Hodges, L. H. Pengel, R. D. Herbert, S. C. Gandevia, "Measurement of muscle contraction with ultrasound imaging", *Muscle & Nerve*, Vol. 27, No. 6, pp. 682-692, 2003.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/mus.10375>
- [12] G. Q. Zhou, P. Chan, Y. P. Zheng, "Automatic measurement of pennation angle and fascicle length of gastrocnemius muscles using real-time ultrasound

- imaging”, *Ultrasonics*, Vol. 57, pp. 72-83, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultras.2014.10.020>
- [13] T. Fukunaga, Y. Kawakami, K. Kubo, H. Kanehisa, “Muscle and tendon interaction during human movements”, *Exercise and Sport Sciences Reviews*, Vol. 30, No. 3, pp. 106-110, 2002.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/00003677-200207000-00003>
- [14] Y. Kawakami, H. Kanehisa, T. Fukunaga, “The relationship between passive ankle plantar flexion joint torque and gastrocnemius muscle and achilles tendon stiffness: implications for flexibility”, *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, Vol. 38, No. 5, pp. 269-276, 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2519/jospt.2008.2632>
- [15] W. Herzog, R. Schachar, T. R. Leonard, “Characterization of the passive component of force enhancement following active stretching of skeletal muscle”, *Journal of Experimental Biology*, Vol. 206, No. 20, pp. 3635-3643, 2003.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1242/jeb.00645>
- [16] R. Mehta, B. I. Prilutsky, “Task-dependent inhibition of slow-twitch soleus and excitation of fast-twitch gastrocnemius do not require high movement speed and velocity-dependent sensory feedback”, *Frontiers in Physiology*, Vol. 5, pp. 410, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2014.00410>
- [17] S. J. Lee, B. S. Kwon, C. H. Park, “The effect of passive stretching on the spasticity of ankle plantar flexor muscles”, *Annals of Rehabilitation Medicine*, Vol. 25, No. 6, pp. 987-992, 2001.
- [18] M. Johanson, J. Baer, H. Hovermale, P. “Phouthavong, Subtalar joint position during gastrocnemius stretching and ankle dorsiflexion range of motion”, *Journal of Athletic Training*, Vol. 43, No. 2, pp. 172-178, 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4085/1062-6050-43.2.172>
- [19] A. Fukutani, T. Kurihara, “Comparison of the muscle fascicle length between resistance-trained and untrained individuals: cross-sectional observation”, *springerplus*, Vol. 4, pp. 341, 2015.
- [20] J. Y. Yu, J. G. Jeong, B. H. Lee, “Evaluation of muscle damage using ultrasound imaging”, *Journal of Physical Therapy Science*, Vol. 27, No. 2, pp. 531-534, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1589/jpts.27.531>
- [21] M. V. Narici, C. N. Maganaris, N. D. Reeves, P. Capodaglio, “Effect of aging on human muscle architecture”, *Journal of Applied Physiology*, Vol. 95, No. 6, pp. 2229-2234, 2003.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.00433.2003>
- [22] N. D. Reeves, M. V. Narici, “Behavior of human muscle fascicles during shortening and lengthening contractions in vivo”, *Journal of Applied Physiology*, Vol. 95, No. 3, pp. 1090-1096, 2003.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.01046.2002>
- [23] R. W. Selles, X. Li, F. Lin, S. G. Chung, E. J. Roth, L. Q. Zhang, “Feedback-controlled and programmed stretching of the ankle plantarflexors and dorsiflexors in stroke: effects of a 4-week intervention program”, *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, Vol. 86, pp. 2330-2336, 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apmr.2005.07.305>
- [24] C. L. Wu, M. H. Huang, C. L. Lee, C. W. Liu, L. J. Lin, C. H. Chen, “Effect on spasticity after performance of dynamic repeated passive ankle joint motion exercise in chronic stroke patients”, *Kaohsiung Journal of Medical Sciences*, Vol. 22, pp. 610-617, 2006.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S1607-551X\(09\)70361-4](http://dx.doi.org/10.1016/S1607-551X(09)70361-4)
- [25] H. S. Kwaka, K. B. Lee, Y. M. Hana, “Ruptures of the medial head of the gastrocnemius tennis leg”, *Clinical Imaging*, Vol. 30, pp. 48-53, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinimag.2005.07.004>
- [26] N. Malliaropoulos, S. Papalexandris, A. Papalada, E. Papacostas, “The role of stretching in rehabilitation of hamstring injuries: 80 athletes follow-up”, *Medicine and science in sports and exercise*, Vol. 36, No. 5, pp. 756 - 759, 2004.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1249/01.MSS.0000126393.20025.5E>
- [27] G. Reurink, G. J. Goudswaard, J. L. Tol, J. A. Verhaar, A. Weir, M. H. Moen, “Therapeutic interventions for acute hamstring injuries: a systematic review”, *British Journal of Sports Medicine*, Vol. 46, pp. 103 - 109, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2011-090447>
- [28] K. H. Tsai, C. Y. Yeh, H. Y. Chang, J. J. Chen, “Effects of a single session of prolonged muscle stretch on spastic muscle of stroke patients”, *Proceedings of the National Science Council Republic of China*, Vol. 25, pp. 76-81, 2001.
- [29] T. Pin, P. Dyke, M. Chan, “The effectiveness of passive stretching in children with cerebral palsy”, *Developmental Medicine & Child Neurology*, Vol. 48, pp. 855-862, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0012162206001836>
- [30] L. Q. Zhang, S. G. Chung, Z. Bai, D. Xu, E. M. van Rey, M. W. Rogers, “Intelligent stretching of ankle joints with contracture/spasticity”, *Transactions on Neural Systems & Rehabilitation Engineering*, Vol. 10, pp. 149-157, 2002.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TNSRE.2002.802857>
- [31] R. S. Chow, M. K. Medri, D. C. Martin, R. N. Leekam, A. M. Agur, N. H. McKee, “Sonographic studies of human soleus and gastrocnemius muscle architecture: gender variability”, *European Journal of Applied Physiology*, Vol. 82, No. 3, pp. 236-244, 2000.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s004210050677>
- [32] K. Manal, D. P. Roberts, T. S. Buchanan, “Optimal pennation angle of the primary ankle plantar and dorsiflexors: variations with sex, contraction intensity, and limb,” *Journal of Applied Biomechanics*. Vol. 22, No. 4, pp. 255-263, 2006.

김 지 선(Ji-Seon Kim)

[정회원]



- 2011년 2월 : 대전대학교 보건의료대학원 물리치료학과 (물리치료학석사)
- 2014년 2월 : 대전대학교 일반대학원 물리치료학과 (물리치료학박사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 경운대학교 물리치료학과 교수

<관심분야>

산부인과물리치료, 근골격계물리치료

신 희 준(Hee-Joon Shin)

[정회원]



- 2005년 2월 : 용인대학교 재활복지대학원 물리치료학과 (물리치료학석사)
- 2012년 2월 : 용인대학교 일반대학원 물리치료학과 (물리치료학박사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 경운대학교 물리치료학과 교수

<관심분야>

정형도수물리치료, 로봇재활

서 병 도(Byoung-Do Seo)

[정회원]



- 2009년 9월 : 용인대학교 재활보건과학대학원 물리치료학과 (박사수료)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 경운대학교 물리치료학과 교수

<관심분야>

전기생리학, 융합재활

주 정 열(Joung-Youl Ju)

[정회원]



- 2009년 8월 : 대구대학교 대학원 재활과학과 물리치료학과 (이학박사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 경운대학교 물리치료학과 교수

<관심분야>

운동치료학, 소아물리치료

신 형 수(Hyung-Soo Shin)

[정회원]



- 2001년 2월 : 대구대학교 재활과학대학원 물리치료학과 (이학석사)
- 2007년 2월 : 대구대학교 대학원 재활과학과 물리치료학과 (이학박사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 경운대학교 물리치료학과 교수

<관심분야>

노인물리치료, 운동조절평가