



# 건강한 성인의 대퇴사두근과 햄스트링에 대한 휴대용 초음파기기의 측정자 간 신뢰도

천소울, 장은욱

인하대학교 스포츠과학과

## Inter-rater Reliability of a Portable Ultrasound for the Quadriceps and Hamstrings Thickness Measurement in Healthy Adults

Soul Cheon, Eunwook Chang

Department of Kinesiology, Inha University, Incheon, Korea

**PURPOSE:** The purpose of this study was to examine the inter-rater reliability of a portable ultrasound device for measuring the muscle thickness of the quadriceps and hamstrings in healthy subjects.

**METHODS:** Thirty-six subjects (20 males, 16 females, age  $22.2 \pm 2.0$  years, mass  $67.4 \pm 11.3$  kg, height  $171.7 \pm 9.6$  cm) participated as subjects and two examiners attended. The thickness of the quadriceps was measured in order of rectus femoris (RF), vastus intermedius (VI), vastus lateralis (VL), vastus medialis (VM), and vastus medialis oblique (VMO). The hamstring thickness was measured in order of biceps femoris (BF), semitendinosus (ST), and semimembranosus (SM). Three measurements were taken for each muscle by one examiner. Using image J software, the average thickness was calculated from the measured image. Pearson's correlation coefficient was used in order to identify inter-rater reliability, and the statistical significance level was set to  $p < .05$ .

**RESULTS:** Pearson correlation coefficient for inter-examiner reliability of ultrasound showed moderate-to-high level for all assessed muscle. In quadriceps, the values were significantly correlated ranged from 0.62 to 0.90 and in hamstrings the value were relatively low with values of 0.57 to 0.68.

**CONCLUSIONS:** The findings of this study indicated that portable ultrasound was a reliable method for measuring the quadriceps and hamstring muscle thickness. Therefore, it could be used as a useful assessment tool in future studies to assess various skeletal muscle thicknesses.

**Key words:** Inter-rater reliability, Ultrasound, Quadriceps, Hamstrings, Muscle thickness

## 서론

정상적인 일상생활 및 스포츠 활동에 참여하는 사람들에게서 근육은 움직임 및 동작 수행을 위해 필수적인 요소로 작용하며, 근육의 불

균형은 신체 움직임의 문제 및 근골격계 질환의 원인이 되어 부상 가능성을 높인다[1,2]. 특히 하지의 주요 근육인 대퇴사두근 및 햄스트링은 움직임에 있어서 매우 중요한 근육이며, 전방십자인대 파열과 같은 무릎 관절 부상은 대퇴사두근과 햄스트링 및 주위 근육의 형태학적

**Corresponding author:** Eunwook Chang Tel +82-32-860-8185 E-mail change@inha.ac.kr

\*이 논문은 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음 (60574-01).

**Keywords** 측정자 간 신뢰도, 초음파기기, 대퇴사두근, 햄스트링, 근육두께

**Received** 4 Feb 2020 **Revised** 6 Feb 2020 **Accepted** 9 Feb 2020

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

위축을 발생시키고 근력 약화와 더불어 장기적인 만성 관절 질환을 유발한다. 이러한 환자들의 근육 두께 측정을 위해서 임상 현장에서는 근육의 둘레를 측정하여 근 위축 및 근 비대 과정을 객관적으로 기록하였으나, 대퇴사두근 및 햄스트링 그룹의 각각의 근육의 형태 변화에 대한 정보를 제공하지 못하는 단점이 있다. 최근 연구에서는 무릎 관절부상이 전체적인 대퇴사두근의 위축이 아닌 대퇴사두근 그룹 중 일부 몇몇 특정 근육의 위축을 보고 하였으며[4, 5], 이것은 전체적인 근육 두께 이외에도 각각의 근육 두께 측정의 필요성을 시사하고 있다.

근육의 두께는 근 비대 및 근 위축을 나타내는 객관적인 지표로서 선수 트레이닝 또는 일반 병원에서 선수 및 환자의 운동재활의 필요성, 운동재활 과정의 결과 등의 객관적 자료로 사용되고 있다. 근육 두께를 가장 정확하게 측정할 수 있는 방법은 자기공명영상법(magnetic resonance imaging, MRI)을 이용하는 것이지만, MRI는 비싼 비용과 장소의 제한 및 긴 측정시간으로 인해 스포츠 현장 및 병원 재활 센터 등에서 부상 또는 운동 및 재활과정 후 근육 두께 변화를 즉각적으로 측정하는 데에는 한계가 있다. MRI 이외에 근육 두께를 객관적으로 측정할 수 있는 방법은 초음파기(ultrasound)를 이용한 측정이다. 초음파기기는 MRI와 비교하였을 때 상대적으로 적은 비용과, 간편한 휴대성, 짧은 측정 시간 등의 장점이 있다. 최근 현장에서는 이러한 장점을 극대화하여 개발된 휴대용 초음파기(portable ultrasound)를 사용하고 태블릿 PC와 연결하여 전원연결장치 없이 어디서든 초음파 측정이 가능하게 되었다. 골격근의 두께를 평가하는데 초음파 영상기법이 신뢰도가 매우 높은 방법이라는 것은 많은 연구를 통해 증명되었다[7,8]. Chi-Fishman et al. [9]은 초음파기기가 다른 장비나 다른 영상 기법에 비해 골격근을 평가하는데 용이하며, 근육의 수축과 이완에 따른 근골격계의 모든 형태와 구조를 시각화 하는 것이 가능하고, 다양하고 공간적인 시각화와 정량화를 할 수 있다고 보고했다.

대퇴사두근은 세부적으로 5개의 근육으로 구성되어 있으며, 햄스트링 또한 3개의 근육으로 이루어져 있어 각각의 근육에 대한 평가를 하는데 어려움이 있을 수 있다. 초음파기기를 이용한 측정은 비침습적이며 임상적으로 간편하게 심부 근육의 변화와 작용을 측정할 수 있는 도구로써[10], 재활과정에서 특히 약화된 근육의 재교육 시에 중요한 역할을 할 수 있다. 선행논문에서 MRI를 기준으로 초음파기기를 이용하여 외복사근(external oblique) 및 다열근(multifidus)의 근육 두께 측정의 신뢰도를 측정한 결과, 각각  $r=0.95$ ,  $r=0.92$ 의 높은 신뢰도 및 일치도를 나타냈다[11,12]. 또한 한 측정자가 여러 번 측정할 경우 일정한 값을 보여주는 측정자 내 신뢰도(intra-rater reliability)의 결과에서도 높은 신뢰도를 나타냈다. 그러나 임상현장에서 한 명의 측정자가 매번 같은 측정을 실시하기 어려운 상황들이 존재하며, 대상자에게 지속적이며 객관적인 자료를 제공하기 위해서는 초음파기기의 측정자 간 신뢰도(inter-rater reliability) 결과가 중요하지만 이와 같은 자료는 미비한 실정이다.

특히, 초음파기기를 이용한 대퇴사두근 그룹에 속한 근육(대퇴직근: rectus femoris [RF], 외측광근: vastus lateralis [VL], 중간광근: vastus intermedius [VI], 내측광근: vastus medialis [VM])과 내측사선광근(vastus medialis oblique [VMO]) 및 햄스트링 근육군에 속한 근육(대퇴이두근: biceps femoris [BF], 반건양근: semitendinosus [ST], 반막양근: semimembranosus [SM])의 개별적인 두께 측정에 대한 측정자 간 신뢰도 연구는 부족한 실정이다. 본 연구의 목적은 두 명의 다른 검사자가 건강한 남녀 성인을 대상으로 휴대용 초음파기기를 이용하여 대퇴사두근과 햄스트링에 속한 개별적인 근육의 두께를 평가한 후 측정자 간 신뢰도를 기술하는 것이다. 본 연구는 향후 근육의 두께를 측정하는데 초음파기기의 유용성 및 신뢰도를 제공하여 임상 초음파기 사용의 타당한 근거를 제공할 것으로 판단된다.

## 연구방법

### 1. 연구대상

자발적으로 연구에 참여한 36명(남자 20명, 여자 16명; 나이  $22.2 \pm 2.0$ 세; 체중  $67.4 \pm 11.3$  kg; 신장  $171.7 \pm 9.6$  cm)의 성인을 대상으로 연구를 실시하였다. 모든 연구 참여자는 연구 참여 과정에 대한 정보를 받고 충분히 이해한 후 연구 참여 동의서를 사용하여 연구참여에 자발적 동의를 하였다. 연구 참여 동의 이후 일반 건강 문진 설문지를 사용하여 과거 병력 및 현재 운동 습관 등을 확인하였다. 연구 참여자는 일주일에 150분 이상 중강도 운동에 정기적으로 참여하고, 실험 측정 24시간 안에 고강도 운동을 실시하지 않았으며, 하지의 부상 및 수술경험, 또는 무릎 통증을 유발하는 병적 요인이 없는 대상으로 한정하였다.

### 2. 연구자료수집

근육의 두께 측정을 위해 SONON 300 L 휴대용 초음파 영상 진단장치(Healcerion, Seoul, Korea)와 휴대용 태블릿 PC (Foxconn, Taipei, Taiwan)를 사용하였다. 휴대용 초음파기기의 B-mode (Gain: 53%, DR: 54dB, TGC: 48%, Filter - Frame average: 3, SRI: 4, Gray map: F)로 설정하여 측정을 실시하였다. 대퇴사두근과 햄스트링의 두께 측정은 휴대용 초음파기기에 익숙한 2명의 측정자가 진행하였다. 연구 대상자는 측정 테이블에 누워있는(supine) 상태에서 양측 다리를 완전히 펴(extension)한 상태에서 왼쪽-오른쪽 순서로 측정을 하였다. 대퇴사두근의 두께 측정은 대퇴직근, 중간광근, 외측광근, 내측광근, 내측사선광근의 순서로 측정하였다. 대퇴직근과 중간광근의 측정 위치는 슬개골의 상극(superior pole)에서부터 상전장골극(Anterior superior iliac spine, ASIS)를 잇는 가상의 선의 50% 지점에서 측정하였으며, 외측광근은 대퇴직근과 중간광근의 측정 위치 근육 둘레의 10% 외측(lateral)에서 측정을 실시하였다. 내측광근은 슬개골 상극에서부터 ASIS 사이

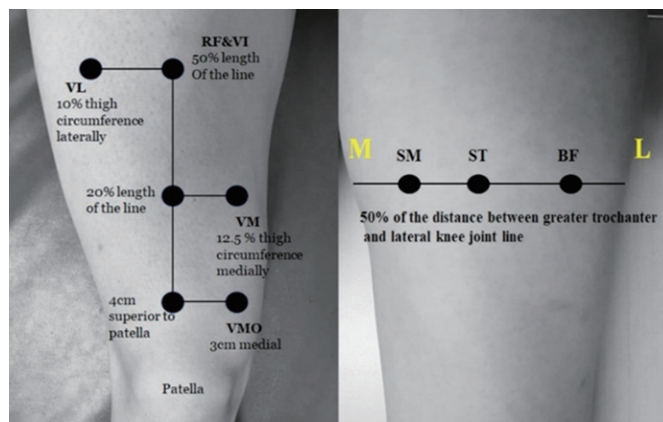
의 20% 지점을 찾은 후 찾은 위치 근육 둘레의 12.5% 내측(medial)에서 측정을 실시하였다. 내측사선광근의 두께는 슬개골 상극에서부터 4 cm 위, 3 cm 내측지점에서 VMO의 두께를 측정하였다(Fig. 1). 햄스트링의 두께 측정을 위해 연구 대상자는 측정 테이블에 엎드린(prone) 상태에서 양측 다리를 완전히 펴(extension)하여 측정을 실시하였다. 대퇴골의 대전자(greater trochanter)에서 무릎의 외측관절선(lateral joint line)까지 길이의 50%를 확인한 후 외측에서 내측으로 천천히 이동하며 대퇴이두근, 반건양근, 반막양근의 순서대로 근육의 두께를 측정하였다(Fig. 1). 각 근육당 3회 측정을 실시하였다.

### 3. 근육두께 이미지 측정

측정된 이미지의 근육두께 평가를 위해 Image J software (National Institute for Health, Bethesda, MD, USA)를 사용하였다(Fig. 2). 측정된 이미지에서 근육의 양 끝 부분과 중간 부분의 두께를 측정하여 세 부분의 평균값을 해당 근육의 두께로 측정하였으며, 각 근육당 3회 측정값의 평균을 계산하여 통계분석에 활용하였다.

### 4. 자료처리

각 근육 두께의 측정자 간 신뢰도 분석을 위해 피어슨 상관계수



**Fig. 1.** Quadriceps and hamstrings muscle thickness measurement location. RF, rectus femoris; VI, vastus intermedius; VL, vastus lateralis; VM, vastus medialis; VMO, vastus medialis oblique; SM, semimembranosus; ST, semitendinosus; BF, biceps femoris.

**Table 1.** Mean and standard deviation of thickness and inter-rater reliability of each quadriceps (mm)

	A1	A2	Pearson's <i>r</i>	<i>p</i> -value
Rectus femoris	21.67 ± 3.38	23.31 ± 3.58	0.803	<.001
Vastus intermedius	22.01 ± 3.73	22.12 ± 3.95	0.769	<.001
Vastus lateralis	25.25 ± 3.41	25.61 ± 3.30	0.902	<.001
Vastus medialis	29.99 ± 5.35	28.92 ± 5.22	0.808	<.001
Vastus medialis oblique	20.46 ± 3.72	20.51 ± 3.54	0.629	<.001

(Pearson's correlation coefficient)를 사용하였다. 통계분석은 Jamovi 버전 1.0.7 (The jamovi project (2019). jamovi (Version 1.0.7) [Computer Software]. Retrieved from https://www.jamovi.org)을 사용하였으며 통계적 유의수준은 *p*<.05로 설정하였다.

## 연구 결과

### 1. 대퇴사두근 측정 신뢰도

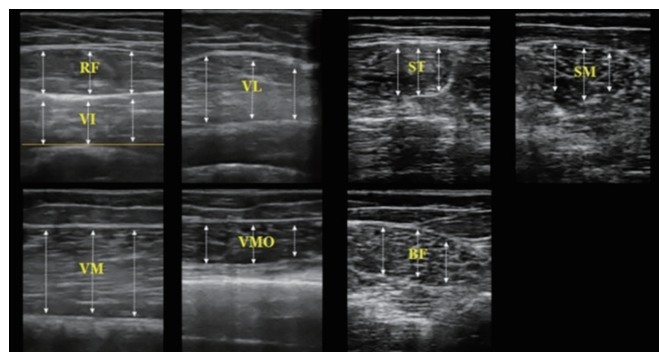
대퇴사두근의 평균 두께 및 측정자 간 신뢰도 결과는 Table 1과 같다. 대퇴사두근 그룹 내 대퇴직근에서 .80, 중간광근에서 .76, 외측광근에서 .90, 내측광근에서 .80, 내측사선광근에서 .62의 높은 상관관계를 보였다.

### 2. 햄스트링 측정 신뢰도

햄스트링의 평균 두께 및 측정자 간 신뢰도 결과는 Table 2와 같다. 햄스트링 그룹 내 대퇴이두근에서 .57, 반건양근에서 .60, 반막양근에서 .68의 높은 신뢰도를 보였다.

## 논 의

본 연구는 스포츠 현장 및 병원 재활센터 등에서 사용되는 휴대용 초음파기기를 이용하여 건강한 성인 남성을 대상으로 대퇴사두근 및 햄스트링에 속한 개별 근육 두께를 2명의 검사자가 측정하여 휴대용 초음파기기의 측정자 간 신뢰도를 비교하고자 실시하였다. 대퇴사두



**Fig. 2.** Measurement of quadriceps and hamstrings muscle thickness using Image J. RF, rectus femoris; VI, vastus intermedius; VL, vastus lateralis; VM, vastus medialis; VMO, vastus medialis oblique; SM, semimembranosus; ST, semitendinosus; BF, biceps femoris.

**Table 2.** Mean and standard deviation of thickness and inter-rater reliability of each hamstrings (mm)

	A1	A2	Pearson's <i>r</i>	<i>p</i> -value
Biceps femoris	19.71 ± 3.14	22.43 ± 3.09	0.571	<.001
Semitendinosus	21.52 ± 4.50	22.38 ± 4.15	0.606	<.001
Semimembranosus	17.96 ± 3.70	17.99 ± 3.53	0.683	<.001

근과 햄스트링 근육은 신체활동의 중심이 되는 무릎관절의 굴근력과 신근력의 대표 근육이다. 무릎관절 신전 시 슬개골의 아탈구(subluxation)를 막아주는 기능을 하는 내측광근은 생리학적으로 대퇴사두근 중 가장 약하고 근 위축이 가장 먼저 나타나며 손상시에 회복되는 속도가 가장 느리기 때문에[13] 약화되었을 경우 대퇴사두근 내 근력 균형이 깨지면서 무릎관절에 동통을 유발한다. 또한 전방십자인대와 같은 관절 내 주요 구조물의 손상이나 무릎 부위의 골 관절염, 햄스트링 인대 파열과 같은 부상으로 인해 발생한 근 위축은 운동선수 및 일반인의 운동수행능력에 영향을 미친다. 근 위축 정도를 확인하기 위한 방법으로는 자기공명영상법(MRI)이나 컴퓨터 전산 단층 촬영(CT)이 대표적이지만, 초음파기기에 비하여 비용, 시간 효율 면에서 적합하지 않으므로 본 연구에서는 휴대용 초음파기기를 사용하여 근육 두께를 측정하였다. 하지 근육을 제외한 나머지 근육들을 측정하여 얻은 휴대용 초음파기기의 측정자내 및 측정자 간 신뢰도는 다른 선행논문들을 통해 수차례 연구되어 왔지만, 본 연구는 대퇴사두근 및 햄스트링을 구성하는 개별 근육들의 두께 값을 휴대용 초음파기기로 측정하여 얻은 최초의 측정자 간 신뢰도 연구이다.

초음파 측정은 MRI와 CT와는 다르게 인간이 하는 것이기 때문에 측정자 간 신뢰도가 중요하다. Cagnie et al. [15]의 경장근(musculus longus colli) 단면적 측정에 대한 측정자 간 신뢰도 결과는 본 연구와 유사한 양상을 보였으며, 0.68로 다소 높은 신뢰도를 나타냈다. 상경추부 신전근(upper dorsal neck muscle)에 대한 초음파 영상법의 신뢰도 연구인 Lin et al. [16]의 연구에서는 0.87-0.99의 높은 신뢰도를 보였고, 횡복근(transverse abdominus)에 대한 신뢰도 연구에서도 0.72-0.97의 높은 신뢰도를 나타냈다[17]. 신뢰도 평가를 위한 상관계수의 해석에 있어 일반적으로 .50 미만을 낮은 등급(low positive correlation), .50-.70을 보통 등급(moderate positive correlation), .70-.90을 높은 등급(high positive correlation), .90 이상을 매우 높은 등급(very high positive correlation)으로 분류한다[18]. 본 연구의 결과, 대퇴사두근 내 대퇴직근은 검사자 1과 검사자 2의 측정값을 비교하였을 때, 피어슨 상관관계수 값이  $r = .80$  ( $p < .001$ )으로 유의한 상관관계가 나타났고, 중간광근과 외측광근 및 내측광근에서도  $r = .76-.90$  ( $p < .001$ )으로 유의한 상관관계를 나타냈으며, 내측사선광근에서  $r = .62$  ( $p < .001$ )로 비교적 낮은 상관관계가 나타났다. MRI와 초음파기기를 사용하여 대퇴사두근의 모든 개별 근육 두께를 측정한 또다른 연구를 통해서도 중간광근을 제외한 나머지 근육에서  $r = 0.85-0.93$ 으로 초음파기기의 높은 신뢰성을 보고하였다[4]. 선행연구와 본 연구의 결과를 종합하여 살펴보았을 때, 보통-높은 등급의 상관관계로 통계적으로 유의한 결과를 보인 휴대용 초음파기기가 대퇴사두근의 개별 두께를 측정하는데 신뢰성 있는 평가도구를 입증할 수 있다.

한편, 햄스트링의 경우는 각각 대퇴이두근( $r = 0.57$ ,  $p < .001$ ), 반건양

근( $r = 0.61$ ,  $p < .001$ ), 반막양근( $r = 68$ ,  $p < .001$ ) 모두 보통 등급의 상관관계를 나타냈고, 전반적으로 햄스트링 보다 대퇴사두근 측정 시에 측정 신뢰도가 높은 경향을 보였다. 기존의 햄스트링에 대한 연구[19]에서는 모든 햄스트링 근육을 똑같은 대퇴 길이의 백분율에 맞춘 위치에 측정하지 않았으며, 이는 단일 부위에서 얻은 초음파 이미지가 모든 햄스트링 근육의 최대 근단면적 평가에 적합하지 않을 수 있음을 시사하였다. 따라서 건강한 성인의 최대 근단면적 측정 시 대퇴이두근은 긴 갈래에서 대퇴부의 50-60%, 짧은 갈래에서 70-80%, 반건양근은 40-50%, 반막양근은 70-80%의 측정위치를 권장하였다. 반면 본 연구에서는 햄스트링을 구성하는 대퇴이두근, 반건양근, 반막양근 모두 대퇴부 길이의 50%에서 측정하였고, 이에 따라 좋음-우수함 수준의 신뢰도를 보인 앞서 언급한 연구의 결과에 비해 비교적 낮은 신뢰도가 나온 것으로 사료된다. Palmer et al. [20]은 본 연구와 유사하게 대퇴부 길이의 50%에서 모든 햄스트링의 단면적과 근육 두께에 대해 초음파를 사용하였지만 ICC = 0.881-0.954 값을 얻었다. 대퇴부 길이의 50%라는 측정 위치의 공통점이 있었지만, 본 연구보다 높은 상관관계를 얻은 이유는 측정과정 동안 검사자가 대퇴부 중간 지점 위에 조절식 맞춤기구를 사용하여 초음파기기를 피부에 수직으로 유지시켜 일관된 측정자세를 유지했으며, 측정기와 피부 양쪽에 다량의 수용성 젤을 발라 피부 표면을 매끄럽게 만들어 측정의 정확성을 증가시켰기 때문으로 생각된다. 또한 근육 두께 측정의 일치도를 높이기 위해서는 검사자가 초음파기기를 누르는 힘이 측정할 때마다 일정해야 하고, 검사하고자 하는 근육이 주동근이 될 수 있는 측정자세가 일정하게 유지되도록 유의하여 측정해야 한다. 본 연구에서 초음파기기의 사용경력 차이가 거의 나지 않는 두 명의 검사자가 근육 두께 측정을 실시하였다. Lee et al. [21]은 임상경력 1년차와 21년차인 검사자 2명이 경장근 두께를 측정하여 검사자 A는 0.70-0.98로 보통 수준에서 높은 수준의 신뢰도를, 검사자 B는 0.60-0.96으로 보통 수준에서 높은 수준의 신뢰도를 보임으로써 두 명의 검사자내 신뢰도가 거의 유사하여 임상경력이 많다고 반드시 높은 측정 신뢰도를 보이지 않는다는 것을 보고하였다. 하지만 보다 정확한 평가를 위해 휴대용 초음파기기의 사용이 익숙하지 않을 경우, 검사 전 사전교육을 통해 숙련될 필요성이 있다고 생각된다.

본 연구는 휴대용 초음파기기를 이용하여 골격근의 두께를 측정하고 두 검사자의 측정값의 상관성을 분석하여 초음파기기의 측정자 간 신뢰도를 제시하고 있으며 골격근의 구조적 변화를 측정하고 기능적 변화를 예측할 수 있는 영상 진단방법으로 활용하는데 필요한 기초자료를 제공하고자 한다. 또한 개별 근육의 근 위축 및 근 비대를 발견함으로써 관련 부위 재활 운동 프로그램 또는 근육 변화로 인한 질병 예방을 위한 기초자료가 될 것이라 사료된다. 더불어 휴대용 초음파기기는 근육 두께를 측정하고 평가할 뿐만 아니라 부상의 위험성을 예측하여 예방하는데 유용한 장비로 보이므로 엘리트 선수 외에도 일반

인, 특히 노인들의 근 위축으로 인한 부상 및 낙상을 예측하고 예방하는데 도움이 될 수 있을 것으로 보인다. 본 연구는 몇 가지 제한점을 가진다. 첫째, 연구에 참여한 대상자의 수가 적고 연령 범위가 제한적이므로 연구를 일반화하는데 어려움이 있다는 것이다. 후속 연구에서는 더 많은 대상자와 다양한 연령층을 모집한 연구가 진행되어야 할 것이다. 둘째, 건강한 성인만을 연구의 대상으로 하였다. 건강한 성인 대상자만 본 연구에 참여했기 때문에 환자에게 적용했을 때의 제한점을 발견할 수 없었다. 마지막으로, 두 검사자의 숙련도 차이에 따른 결과를 보지 못했다. 본 연구에서는 비슷한 경력의 검사자 두 명이 검사를 진행했으므로 향후 연구는 숙련된 검사자와 초보 검사자의 차이를 연구함으로써 장비의 정확도를 입증할 필요가 있다.

## 결론

본 연구에서 휴대용 초음파기기를 이용하여 대퇴사두근과 햄스트링과 같은 하지 근육의 두께를 평가했을 때 측정자 간 신뢰도는 보통에서 높은 수준으로 나타났다. 따라서 근육 두께의 측정에 있어서 휴대용 초음파기기의 측정자 간 신뢰도는 입증되었다고 할 수 있으며, 향후 다양한 골격근 두께 평가를 위한 연구에서 휴대용 초음파기기가 유용한 임상 평가 도구로 사용될 수 있을 것이다.

## CONFLICT OF INTEREST

이 논문 작성에 있어서 어떠한 조직으로부터 재정을 포함한 일체의 지원을 받지 않았으며, 논문에 영향을 미칠 수 있는 어떠한 관계도 없음을 밝힌다.

## AUTHOR CONTRIBUTION

Conceptualization: E Chang, Data curation: E Chang, Formal analysis: S Cheon, Funding acquisition: E Chang, Methodology: E Chang, Project administration: E Chang, Visualization: S Cheon, E Chang, Writing - original draft: S Cheon, Writing - review & editing: S Cheon, E Chang.

## ORCID

Soul Cheon <https://orcid.org/0000-0003-4605-6686>

Eunwook Change <https://orcid.org/0000-0001-5876-9275>

## ACKNOWLEDGMENTS

이 논문은 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음(60574-01).

## REFERENCES

1. Serrão FV, Cabral CMN, Bérzin F, Candolo CI, Monteiro-Pedro V. Effect of tibia rotation on the electromyographical activity of the vastus medialis oblique and vastus lateralis longus muscles during isometric leg press. *Phys Ther Sport*. 2005;6(1):15-23.
2. Williams GN, Buchanan TS, Barrance PJ, Axe MJ, Snyder-Mackler L. Quadriceps weakness, atrophy, and activation failure in predicted non-copers after anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med*. 2005; 33(3):402-7.
3. Arnold JA, Coker TP, Heaton LM, Park JP, Harris WD. Natural history of anterior cruciate tears. *Am J Sports Med*. 1979;7(6):305-13.
4. Giles LS, Webster KE, McClelland JA, Cook J. Can ultrasound measurements of muscle thickness be used to measure the size of individual quadriceps muscles in people with patellofemoral pain? *Phys Ther Sport*. 2015;16(1):45-52.
5. Thomas AC, Wojtys EM, Brandon C, Palmieri-Smith RM. Muscle atrophy contributes to quadriceps weakness after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sci Med Sport*. 2016;19(1):7-11.
6. Morse CI, Degens H, Jones DA. The validity of estimating quadriceps volume from single MRI cross-sections in young men. *Eur J Appl Physiol*. 2007;100(3):267-74.
7. Hides JA, Richardson CA, Jull GA. Magnetic resonance imaging and ultrasonography of the lumbar multifidus muscle. Comparison of two different modalities. *Spine*. 1995;20(1):54-8.
8. Walton J, Roberts N, Whitehouse G. Measurement of the quadriceps femoris muscle using magnetic resonance and ultrasound imaging. *Br J Sports Med*. 1997;31(1):59-64.
9. Chi-Fishman G, Hicks JE, Cintas HM, Sonies BC, Gerber LH. Ultrasound imaging distinguishes between normal and weak muscle. *Arch Phys Med Rehabil*. 2004;85(6):980-6.
10. Henriksson-Larsen K, Wretling M-L, Lorentzon R, Öberg L. Do muscle fibre size and fibre angulation correlate in pennated human muscles? *Eur J Appl Physiol*. 1992;64(1):68-72.
11. Stettis DM, Freund JE, Allison SC, Carpenter G. A rehabilitative ultrasound imaging investigation of lateral abdominal muscle thickness in healthy aging adults. *J Geriatr Phys Ther*. 2009;32(2):16-22.

12. Sions JM, Velasco TO, Teyhen DS, Hicks GE. Ultrasound imaging: intraexaminer and interexaminer reliability for multifidus muscle thickness assessment in adults aged 60 to 85 years versus younger adults. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2014;44(6):425-34.
13. Fox TA. Dysplasia of the quadriceps mechanism: hypoplasia of the vastus medialis muscle as related to the hypermobile patella syndrome. *Surg Clin North Am.* 1975;55(1):199-226.
14. Pevsner DN, Johnson JR, Blazina ME. The patellofemoral joint and its implications in the rehabilitation of the knee. *Phys Ther Sport.* 1979; 59(7):869-74.
15. Cagnie B, Derese E, Vandamme L, Verstraete K, Cambier D et al. Validity and reliability of ultrasonography for the longus colli in asymptomatic subjects. *Manual Ther.* 2009;14(4):421-6.
16. Lin YJ, Chai HM, Wang SF. Reliability of thickness measurements of the dorsal muscles of the upper cervical spine: an ultrasonographic study. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2009;39(12):850-7.
17. Lee JP, Tseng WYI, Shau YW, Wang CL, Wang HK et al. Measurement of segmental cervical multifidus contraction by ultrasonography in asymptomatic adults. *Manual Ther.* 2007;12(3):286-94.
18. Mukaka MM. A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. *Malawi Med J.* 2012;24(3):69-71.
19. Kositsky A, Goncalves BAM, Stenroth L, Barrett RS, Diamond LE et al. Reliability and Validity of Ultrasonography for Measurement of Hamstring Muscle and Tendon Cross-Sectional Area. *Ultrasound Med Biol.* 2020;46(1):55-63.
20. Palmer TB, Akehi K, Thiele RM, Smith DB, Thompson BJ. Reliability of panoramic ultrasound imaging in simultaneously examining muscle size and quality of the hamstring muscles in young, healthy males and females. *Ultrasound Med Biol.* 2015;41(3):675-84.
21. Lee JA, Kim SY. Reliability of Ultrasonography for The Longus Colli in Asymptomatic Subjects. *J Kor Phys Ther.* 2011;23(4):59-66.