PNF and Movement, 2019 17(2): 329-337
https://doi.org/10.21598/JKPNFA.2019.17.2.329

Print ISSN: 2508-6227
Online ISSN: 2508-6472

Original Article

Open Access

깃각 자동측정 프로그램의 신뢰도와 타당도 평가

김종순†
부산가톨릭대학교 보건과학대학 물리치료학과

An Evaluation of the Reliability and Validity of the Automatic Pennation Angle Measuring Program

Jong-Soon Kim†
Department of Physical Therapy, College of Health Sciences, Catholic University of Pusan

Received: June 24, 2019 / Revised: July 9, 2019 / Accepted: July 10, 2019
ⓒ 2019 Journal of Korea Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Association
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

| Abstract |

Purpose: Ultrasound imaging is commonly used to measure the pennation angle of human skeletal muscles in vivo. However, manual assessment of the pennation angle using ultrasound images is subjective and time-consuming and requires a high level of examiner skill. The architectural analysis of human skeletal muscles is thus challenging. Automated approaches using image processing techniques are therefore required to estimate the pennation angle in ultrasound images. The purpose of this study was thus to assess the intra-tester and inter-tester reliability and validity of the pennation angle using an automatic measurement program.

Methods: Twenty-two healthy young adults (mean age = 22.55 years) with no medical history of neurological or musculoskeletal disorders voluntarily participated in this study. Ultrasound imaging was used to measure the pennation angle of the gastrocnemius muscle at rest. One examiner acquired images from all the participants. The intra-tester and inter-tester reliability were evaluated using the intraclass correlation coefficient (ICC) to estimate reliability. Validity was measured using Pearson's correlation coefficient.

Results: The intra-rater reliability was excellent for the automatic pennation angle measuring program and the manual pennation angle assessment method (ICC>0.95). The inter-rater reliability was also excellent for both methods (ICC>0.93). All the correlation coefficients for the automatic pennation angle measuring program and the manual pennation angle assessment method were 0.79, which indicated a significantly positive correlation ($p<0.05$).

Conclusion: Pennation angle measurement using the automatic pennation angle measuring program showed acceptable reliability and validity. This study therefore demonstrated that the automatic measuring program was able to automatically measure the pennation angle of skeletal muscles using ultrasound images, and thus made it easy to investigate skeletal muscle architecture.

†Corresponding Author : Jong-Soon Kim (ptjskim@cup.ac.kr)

Key Words: Ultrasound imaging, Pennation angle, Automatic pennation angle measuring program

Ⅰ. 서 론

근육의 생리적, 역학적 기능을 결정하는 뼈대근 구조(skeletal muscle architecture)는 거시적 수준의 근 섬유 배열로서 병렬형(parallel type), 깃형(pennate type) 등이 있다. 병렬형 근육 구조는 빠르고 큰 동작에 사용되는 근육에서 주로 볼 수 있으며 근 섬유가 힘 발생 축(force-generating axis)과 나란한 형태이다. 이러한 병렬형 근육 구조는 일반적으로 해부학적 가로 단면적(cross-sectional area)으로 측정한다(Liem et al., 2000). 반면, 깃형 근육은 근 섬유들이 힘 발생 축과 일정한 각을 이루는 형태로서 근 섬유들은 중심 힘줄에 편입되어 깃털 모양을 이루는데 이때 만들어지는 각도를 깃각(pennation angle)이라고 하며 깃형 근육들의 근육 구조는 병렬형 근육과는 달리 생리적 가로 단면적으로 측정하여야 한다(Alexander & Vernon, 1975).

힘의 생성 및 전달과 같은 근육의 생리적, 역학적 기능은 근육의 모양에 따라 다른데 뼈대근 구조 분석에 사용되는 방법은 근육의 길이, 근다발 길이(fascicle length), 가로 단면적, 그리고 깃각(pennation angle) 등이 사용된다(Lieber & Fridén, 2000; Zajac, 1989; Zhou et al., 2015). 깃각은 근다발의 방향과 근다발이 부착하는 근육 작용선(line of action)인 힘줄 축(tendon axis) 사이의 각도로서 깊은 널힘줄(deep aponeurosis)과 근다발이 이루는 각이다(Zajac. 1989).

깃각은 힘 발생과 전달의 예측 인자로서 중요한 의미를 가지는 것으로 알려져 있다(Lieber & Fridén, 2000). 뼈대근의 깃각은 근력에 영향을 미치며 근육의 크기와 상관성을 가지는데(Kawakami et al., 1993; Kawakami et al., 2006) Wakahara 등(2013)은 근육의 힘 발생은 근육의 크기와 깃각에 의해 결정되며 깃각은 근육의 단축 속도에도 영향을 미친다고 보고하였다. 또한 근육의 수축에 의한 깃각의 변화를 살펴보면 근육이 수축을 하는 동안 근 섬유의 회전이 발생하여 근육 섬유가 짧아짐에 따라 근육의 깃각은 증가하는 것으로 알려져 있다(Fukunaga et al., 1997; Kawakami et al., 1998; Maganaris et al., 1998; Muhl, 1982; Narici et al., 1996).

깃각의 분석과 같은 뼈대근 구조 분석은 과거에는 부검(autopsy)을 통해 이루어졌으나(Fukunaga et al., 1997) 이러한 방법은 근 섬유들의 사후 단축으로 인해 깃각의 변화가 발생하고 근육 수축과 관절의 움직임에 대한 뼈대근 구조 분석이라는 관점에서의 연구가 불가능 하다는 문제점이 있었다(Rekabizaheh et al., 2016). 이러한 문제점을 해결하기 위해 의료 영상 과학의 발전과 더불어 영상의학적 분석 방법들이 사용되고 있는데 자기공명영상(magnetic resonance imaging)과 초음파 영상(ultrasonography imaging)을 이용한 깃각 분석 방법이 많이 사용되고 있다(Lieber & Ward, 2011; Narici, 1999). 영상의학적 분석 방법 중 초음파를 이용한 방법은 비 침습적인 방법으로 뼈대근 구조 분석을 위한 영상을 획득 할 수 있으며 근육의 정적인 상태뿐 만 아니라 동적인 상태에서도 영상을 획득하여 분석에 이용할 수 있다는 장점이 있다(Rana et al., 2009).

그러나 초음파 영상을 이용한 깃각 분석에 대한 많은 연구들(Chiaramonte et al., 2019; Gonzales et al., 2019; Koryak, 2019)이 보고되고 있으나 초음파 영상을 이용한 깃각의 분석은 검사자의 주관적 기준과 검사 숙련도에 의존하는 수기적 방법으로 이루어지고 있어(Zhou et al., 2015) 분석 결과의 많은 차이가 있을 수 있는 검사이다. 초음파 영상을 이용한 깃각 측정에 대한 신뢰도 연구를 살펴보면 높은 수준의 신뢰도를 보였다는 연구(Chiaramonte et al., 2019; Cho et al., 2018)와 신뢰도 수준이 다양 했다는 연구(Cho et al., 2017; Silva et al., 2018) 등 상이한 결과가 보고되고 있으며 신뢰도에 대한 연구도 비교적 적은 수준이다(Kwah

et al., 2013). 이에 본 연구는 초음파 영상을 이용한 깃각 분석을 위해 개발된 자동측정 프로그램 방법을 이용하여 깃각 측정 시 신뢰도를 수기적 방법과 비교 분석하고 깃각 자동측정 프로그램의 타당도를 분석하고자 한다.

Ⅱ. 연구 방법

1. 연구 대상

연구연구 대상자는 본 연구의 목적과 방법에 대하여 충분한 설명을 듣고, 본 연구에 자발적으로 참여하기로 동의한 20대의 신경학적 이상 및 정형외과적 손상이나 근골격계 질환의 과거력이 없는 건강한 성인 22명을 대상으로 실시하였다. 22명의 연구 대상자들 중, 남성이 8명(36.40%), 여성이 14명(63.60%)이였다. 연구 대상자들의 평균 연령은 22.55세, 평균 신장은 166.95㎝, 평균 몸무게는 61.59㎏이였다(Table 1).

Table 1. General characteristics of participants (n=22)

Variables	Mean±SD
Age (years)	22.55±1.37
Height (㎝)	166.95±8.74
Weight (㎏)	61.59±11.31

2. 측정방법 및 도구

1) 초음파 영상의 획득

깃각 측정을 위한 초음파 영상은 건강한 연구 대상자 22명의 장딴지근(gastrocnemius)을 이용하여 획득하였다. 연구 대상자는 엎드려 누운 자세를 취하도록 하였으며 장딴지근의 이완된 상태를 유지하지 위해 발목 관절 밑에 부드러운 재질의 베개를 받쳐주었다. 초음파 영상 진단기(Sonoace X4, Medison, Korea)는 7.5㎒ 선형탐촉자(linear probe)를 사용하였으며 gain G55, dynamic range C04로 고정 한 후 오른쪽 장딴지근과 나란하게 탐촉자를 배치하였다. 초음파 영상 획득을 위해 검사 중 움직이지 않도록 한 후 근육의 압박을 최소화하기 위하여 충분한 양의 초음파 전도 겔(gel)을 초음파 탐촉자와 피부사이에 도포하였으며 측정이 일정하게 되도록 탐촉자는 피부에 직각을 유지하였다. 측정된 장딴지근의 초음파 영상은 수기적 측정을 위해 JPEG파일로 저장을 한 후 자동측정을 위해 다시 DICOM 파일로 저장하였다.

2) 초음파 영상을 이용한 깃각 측정방법

22명의 연구 대상자로부터 획득된 각각의 영상을 이용하여 수기적 방법으로는 기존의 연구들(Chiaramonte et al., 2019; Gonzales et al., 2019; Koryak, 2019)을 참고하여 MicroDicom 프로그램(MicroDicom2.9.2, Micorocom, Bulgaria)을 이용하여 깊은 널힘줄과 근다발이 이루는 각도를 분석하였다. 깃각의 자동측정은 Kim (2017)에 의해 개발된 프로그램을 이용하여 분석하였다.

3. 깃각 측정 절차

깃각 측정에 앞서 측정자는 연구자로부터 자동측정 프로그램의 사용법과 수기적 측정에 사용된 MicroDicom 프로그램의 사용법을 충분히 설명들은 다음 충분한 시간 동안 두 개의 프로그램 사용에 대해 연습을 실시한 후, 측정을 실시하였다. 측정은 22명의 연구 대상자로부터 획득된 각각의 영상을 1번~22번까지 번호를 부여한 다음, 물리치료 임상경력 10년 이상의 두 명의 측정자(측정자 A와 B)가 수기적 방법과 자동측정 프로그램을 이용하여 깃각을 측정하였다. 측정자간 신뢰도를 분석하기 위하여 2명의 측정자가 3회씩 측정한 평균값을 이용하였고, 측정자내 신뢰도를 확인하기 위하여 측정자가 1차 측정 후 10분 휴식을 취한 다음 2차 측정을 하였고 다시 10분간 휴식을 취한 후 3차 측정을 실시하였다.

측정자 A가 먼저 수기적 방법으로 1번~22번까지

초음파 영상의 깃각을 1차 측정한 다음, 동일한 방법으로 자동측정 프로그램의 1차 깃갓 측정을 완료하였다. 10분 휴식 후 측정자 A는 다시 수기적 방법으로 홀수 번호의 초음파 영상 11개를 순서대로 분석한 다음 짝수 번호의 초음파 영상 11개를 분석하여 2차 측정을 완료하였다. 수기적 방법으로 2차 측정을 완료 한 후 동일한 방법으로 자동측정 프로그램의 2차 깃각 측정을 완료하였다. 다시 10분간 휴식을 취한 후 수기적 방법으로 짝수 번호의 초음파 영상 11개를 순서대로 분석한 다음 홀수 번호의 초음파 영상 11개를 분석하여 3차 측정을 완료하였다. 수기적 방법으로 3차 측정을 완료 한 후 동일한 방법으로 자동측정 프로그램의 3차 깃갓 측정을 완료하였다. 측정자 B도 측정자 A와 같은 방법으로 측정을 실시하였다. 측정 시 마다 기록자를 따로 두어 측정값은 기록자가 기록하도록 하였으며 서로 다른 기록지를 사용하여 다른 측정자의 측정값을 서로 알지 못하게 하였다.

4. 자료 분석

본 연구에서 수집된 자료는 SPSS 25.0 for Windows 프로그램을 이용하여 대상자의 일반적 특성은 기술통계를 실시하였다. 각 측정 방법의 측정자간 신뢰도 및 반복측정에 따른 측정자내 신뢰도는 급내 상관계수(intraclass correlation coefficient, ICC)를 사용하여 분석하였다. 깃각 자동측정 프로그램의 타당도는 측정자 2명이 3회 측정한 수기적 방법에 의한 결과값과 자동측정 프로그램에 의한 결과값의 평균치를 피어슨 상관계수(Pearson correlation coefficient)와 대응표본 t-검정(paired t-test)을 이용하여 분석하였다. 모든 통계분석의 유의수준(α)은 0.05로 설정하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 측정방법에 따른 측정자내 신뢰도

측정자 A와 측정자 B에 의해 각각 3회 측정된 깃각 자동측정 프로그램의 측정자내 신뢰도는 측정자 A (ICC=0.98)와 측정자 B (ICC=0.98) 모두 매우 높은 신뢰도 값을 보였다. 측정자 A와 측정자 B에 의해 각각 3회 측정된 수기적 깃각 측정값의 측정자내 신뢰도는 측정자 A (ICC=0.95)와 측정자 B (ICC=0.97) 모두 매우 높은 신뢰도 값을 보였다(Table 2).

2. 측정방법에 따른 측정자간 신뢰도

깃각 자동측정 프로그램의 측정자간 신뢰도는 0.90 이상이었으며(ICC=0.97) 수기적 깃각 측정 방법도 0.90 이상으로(ICC=0.93) 깃각 자동측정 프로그램의 신뢰도가 약간 높았다(Table 3).

3. 깃각 자동측정 프로그램의 타당도

깃각 자동측정 프로그램과 수기적 깃각 측정 방법

Table 2. Intra-rater reliability of pennation angle measured on automatic program and manual method

Method	Tester	Test time			ICC	95% CI
		Test 1	Test 2	Test 3		
Automatic	Tester A	21.78±5.53	21.40±5.90	21.45±5.53	0.98	0.97～0.99
	Tester B	21.41±5.71	21.09±5.66	20.95±5.44	0.98	0.97～0.99
Manual	Tester A	22.64±4.67	22.49±4.73	22.64±4.51	0.95	0.91～0.98
	Tester B	22.69±5.07	22.80±4.28	22.99±5.00	0.97	0.95～0.98

Units: °
ICC: intraclass correlation coefficient
95% CI: 95% confidence interval

Table 3. Inter-rater reliability of pennation angle measured on automatic program and manual method

Method	Tester A	Tester B	ICC	95%CI
Automatic	21.54±5.59	21.15±5.54	0.97	0.93～0.98
Manual	22.58±4.45	22.83±4.68	0.93	0.83～0.97

Units: °
ICC: intraclass correlation coefficient
95% CI: 95% confidence interval

으로 깃각을 측정한 결과 수기적 측정 방법에 의한 깃각이 약간 더 컸으며 측정방법 간의 타당도를 알아보기 위한 Pearson 상관계수는 0.79($p<0.05$)이었다. Pearson 상관계수의 연관성을 확장하기 위해 대응표본 t-검증을 실시한 결과 두 측정방법으로 획득된 깃각 측정 결과는 유의한 차이가 없었다($p=0.07$) (Table 4).

Table 4. Pearson correlation of mean pennation angles between automatic program and manual method

Method	Automatic	Manual	r	t
Angle	21.34±5.48	22.70±4.42	0.79*	1.89

Units: °
*: $p<0.05$

Ⅳ. 고 찰

초음파 영상을 이용한 인체 뼈대근 깃각 측정 방법은 자기공명영상촬영에 비해 비용이 상대적으로 적게 들고 빠른 검사와 쉬운 조작 등의 이점이 있어 임상에서 흔히 사용되는 방법이다(Klimstra et al., 2007; Liber & Ward, 2011). 이러한 방법을 이용한 깃각의 측정은 근육의 힘 발생 능력을 측정하는 생리적, 생역학적 모형 연구에도 많이 이용되고 있다(Lieber, 2002). 그러나 신뢰성 있는 깃각 측정을 위해서는 정확한 초음파 영상의 획득이 매우 중요한데 초음파 영상을 획득할 때 널힘줄과의 각도뿐만 아니라 근다발면(fascicle plane)과 초음파 탐촉자(probe)의 각도도 영상 획득의 신뢰성에 영향을 미친다(Bénard et al., 2009; Bolsterlee et al., 2016). 또한, 근육의 수축이 일어나는 동적 움직임 동안 획득된 초음파 영상을 이용하여 깃각을 측정하기 위해서는 10회 이상의 반복 측정이 중요하다(Aggeloussis et al., 2010; Giannakou et al., 2011). 정확한 초음파 영상의 획득뿐 아니라 신뢰성 있는 깃각 측정에는 검사자의 숙련성이 매우 중요한데 일반적인 방법의 초음파 영상을 이용한 깃각의 측정은 검사자의 주관이 많이 개입되는 방법으로 알려져 있다(Zhou et al., 2015). 이로 인해 객관적이고 신뢰성 있는 깃각 측정을 위해서는 초음파 영상의 자동 처리 과정을 통해 깃각을 획득하는 자동측정 프로그램의 개발이 요구되고 있다.

초음파 영상의 자동 처리 알고리즘(algorism)을 이용한 자동측정 프로그램 개발에 관한 연구들(Kawamoto et al., 2014; Kim, 2017; Marzilger et al., 2018, Pan et al., 2015; Zhou et al., 2015)을 살펴보면 높은 신뢰성을 보고하고는 있으나 깃각 측정 프로그램이 반자동이라는 점(Kawamoto et al., 2014; Marzilger et al., 2018)과 동영상에서만 사용할 수 있다는 점(Zhou et al., 2015)이 있어 사용자의 편의성이 낮았다. 이에 본 연구는 일반적으로 생리적, 생역학적 모형 연구에서 사용되는 이차원 초음파 영상을 이용하여 자동으로 깃각을 측정할 수 있도록 개발된 Kim (2017)의 프로그램을 연구에 사용하여 신뢰도 및 타당도를 분석하였다.

본 연구의 결과 깃각 자동측정 프로그램의 측정자 내 신뢰도는 두 명의 측정자 모두 0.98이었으며 측정자 간 신뢰도는 0.97이었다. Portney와 Watkins (2009)는 급내 상관계수 값이 0.50 미만이면 낮음(poor), 0.50 이상 0.75 미만이면 보통(moderate), 0.75이상 0.90 미만이면 높음(good), 0.90 이상이면 매우 높은(excellent) 수준이라는 기준을 제시하였는데 이들의 기준에 따르면 본 연구의 자동측정 프로그램의 신뢰도는 매우 높은 수준임을 알 수 있다. Marzilger 등(2018)은 반자동

측정 알고리즘을 이용한 깃각 측정의 신뢰도는 0.60이였다고 보고하여 본 연구에서 사용된 깃각 자동측정 프로그램이 이들의 연구에서 사용된 프로그램보다 신뢰도가 매우 높은 수준임을 알 수 있다. Pan 등(2015)은 깃각 자동측정 프로그램을 이용하여 안정적으로 깃각을 측정할 수 있었다고 본 연구 결과와 유사한 결과를 보고하였다.

수기적 방법으로 깃각을 측정한 결과 측정자내 신뢰도는 각각 0.95와 0.97이었으며 측정자간 신뢰도는 0.93을 보여 매우 높은 수준의 신뢰도를 나타내었다. 수기적 방법에 의한 깃각 측정의 신뢰도에 관한 선행연구들을 살펴보면 그 결과가 낮았다는 연구와 높았다는 연구로 다소 엇갈린 결과들이 보고되고 있다. Silva 등(2018)은 수기적 방법을 이용하여 넙다리 곧은근의 깃각을 측정한 결과 측정자내 신뢰도는 0.58로 낮았으며 측정자간 신뢰도는 0.70으로 보통이었다고 보고하였다. Kwah 등(1985)도 초음파를 이용한 깃각 측정 방법의 신뢰성에 대한 문헌 연구를 실시한 결과 측정자내 신뢰도는 항상 0.5이상이었다고 본 연구의 결과 보다는 낮은 신뢰도를 보고하였다. 반면 높은 신뢰도를 보고한 연구들을 살펴보면 Kellis 등(2009)은 초음파를 이용한 수기적 깃각 측정 방법과 사체를 이용한 직접 측정 방법 간의 신뢰도를 비교 분석한 결과 두 방법 모두 측정자간 신뢰도가 0.90～0.91 매우 높았다고 보고하였으며 Ema 등(2013)도 수기적 깃각 측정 방법의 측정자내 신뢰도는 0.93～0.98이었다고 보고하였다. Cho 등(2018)도 뇌졸중 환자를 대상으로 장딴지 근육의 깃각을 수기적 방법으로 측정한 결과, 측정자내 신뢰도는 0.91 이상이었으며 측정자간 신뢰도는 0.96～0.99였다고 보고하였다. Tyler (2016)는 수기적 방법을 이용한 깃각의 측정자내 신뢰도는 0.91～0.95였으며 측정자간 신뢰도는 0.96～0.98이었다고 보고하였으며 McMahon 등(2016)도 1명의 측정자가 장딴지근의 깃각을 수기적 방법을 이용하여 분석한 결과 영상내 신뢰도는 0.99였으며 영상간 신뢰도는 0.83이였다고 보고하였다. Chiaramonte 등(2019)은 수기적 방법을 이용한 측정자내 재현성은 0.92～0.97이였고 측정자간 재현성은 0.78～0.92였다고 보고하는 등, 대부분의 연구에서는 본 연구의 결과와 유사한 결과인 수기적인 방법을 이용한 깃각의 측정이 높은 신뢰도를 보인다는 결과들을 보고하고 있다.

본 연구의 결과 자동측정 프로그램을 이용한 깃각 측정 방법이 기존의 수기적 방법보다 약간 높은 수준의 신뢰도를 보였는데 Kawamoto 등(2014)도 반자동 측정 프로그램을 이용하여 깃각을 측정할 결과 수기적 방법보다 정밀도가 높았다고 하여 본 연구와 유사한 결과를 보고하였다. 본 연구와 같이 자동측정 프로그램을 이용한 깃각 측정 방법이 수기적 방법보다 높은 신뢰도를 보인 이유는 먼저, 수기적 방법에 의한 깃각 측정은 주관적 기준에 의해 측정자가 여러 개의 깊은 널힘줄과 근다발 중 한 부분을 임의로 선택하여 깃각을 측정하게 되므로 측정자가 자신의 기준을 가지고 측정을 하더라도 측정시 마다 약간의 차이를 보일 수 밖에 없을 것으로 사료된다. 또한, 깃각 측정을 위해 깊은 널힘줄과 근다발에 수기적 방법으로 선을 설정하는 과정에서 약간의 오차가 필연적으로 수반될 것이다. 반면 자동측정 프로그램의 경우는 먼저 초음파 영상에서 깊은 널힘줄과 근다발 정보가 포함된 부분을 관심영역(region of interest, ROI)으로 설정하여 전처리를 하게 된다. 전처리 후, 널힘줄과 근다발의 직선라인을 찾기 위해 허프변환(Hough transform)을 이용하여 선(line) 정보를 획득하고 영상에서 생성되는 직선들을 모두 검출한 후, 각 선의 각도, 영상 내에서의 위치, 길이 정보를 깊은 널힘줄과 근다발의 2가지 패턴으로 분류한다. 그런 다음 분류된 패턴에서의 최대길이(maximum length) 또는 가장 많은 각도 정보를 가지는 선을 선택하여, 깊은 널힘줄과 근다발로 결정한 후, 분류된 두 개의 직선을 정렬하고 교차점 알고리즘(intersection algorithm)을 이용하여 각도를 추출하도록 되어 있어 비교적 일관되고 정밀한 깃각 측정이 가능하였던 것으로 사료된다.

본 연구의 결과 자동측정 프로그램의 신뢰도는 0.97～0.98, 수기적 방법의 신뢰도는 0.93～0.97을 보여 두 가지 측정 방법 모두 매우 높은 신뢰도를 보였는데

Zhou 등(2015)도 자동측정 방법과 수기적 측정 방법의 우수한 일치를 보고하였으며 Pan 등(2015)도 깃각 자동측정 방법 및 수기적 측정 값 사이의 변동 계수(coefficient of variation)는 3% 미만이었고 평균 제곱근 오차(root-mean square error)는 1° 미만이었다고 보고하여 본 연구의 결과와 같이 자동측정 방법 및 수기적 방법 사이의 높은 일치성을 보고하였다.

초음파를 이용한 깃각 측정 방법의 타당도에 대한 연구는 매우 부족한 실정으로(Kwah et al., 2013) 타당도 분석에 이용되는 상관성의 정도는 상관계수 값에 따라 0.91 이상이면 매우 높은(excellent) 상관관계, 0.90～0.71은 높은(good) 상관관계, 0.70～0.50은 양호한(moderate) 상관관계, 0.50～0.30은 보통의(fair) 상관관계, 그리고 0.30 미만은 상관관계가 없음(little or none)을 의미한다(Fermanian, 1984). 본 연구의 결과 깃각 자동 측정 프로그램과 수기적 깃각 측정 방법간의 상관관계는 상관계수가 0.79로 높은 상관관계를 보였으며 두 측정값 사이에 통계적인 유의한 차이도 보이지 않아($t=1.89$, $p>0.05$) 깃각 자동 측정 프로그램이 매우 높은 타당도를 가진 프로그램임을 알 수 있는데 Zhou 등(2015)도 깃각 자동측정 프로그램으로 측정한 결과와 수기적 방법으로 깃각을 측정한 결과를 상관 분석한 결과 높은 상관성을 보였다고 본 연구와 같은 결과를 보고하였다.

Ⅴ. 결 론

본 연구의 결과 깃각 자동 측정 프로그램은 매우 높은 신뢰도와 타당도를 보였으며 수기적 깃각 측정 방법도 매우 높은 신뢰도를 보였다. 수기적 깃각 측정 방법이 매우 높은 신뢰도를 보이기는 하지만 자동 측정 프로그램의 타당도가 높고 신뢰도가 상대적으로 우수하며 수기적 방법에 따른 상대적인 많은 시간 소요, 숙련성의 문제, 검사자 주관성 개입 등을 고려하면 임상 및 연구 환경에서 자동 측정 프로그램의 편의성이 높을 것으로 사료된다.

Acknowledgements

이 논문은 2017 년도 부산가톨릭대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음.

References

Aggeloussis N, Giannakou E, Albracht K, et al. Reproducibility of fascicle length and pennation angle of gastrocnemius medialis in human gait in vivo. *Gait & Posture*. 2010;31(1):73-77.

Alexander RM, Vernon A. The dimensions of knee and ankle muscles and the forces they exert. *Journal of Human Movement Studies*. 1975;1:115-123.

Bénard MR, Becher JG, Harlaar J, et al. Anatomical information is needed in ultrasound imaging of muscle to avoid potentially substantial errors in measurement of muscle geometry. *Muscle & Nerve*. 2009;39(5): 652-665.

Bolsterlee B, Gandevia SC, Herbert RD. Effect of transducer orientation on errors in ultrasound image-based measurements of human medial gastrocnemius muscle fascicle length and pennation. *PLoS One*. 2016;11(6): 0157273.

Chiaramonte R, Bonfiglio M, Castorina EG, et al. The primacy of ultrasound in the assessment of muscle architecture: precision, accuracy, reliability of ultrasonography. Physiatrist, radiologist, general internist, and family practitioner's experiences. *Revista da Associação Médica Brasileira.* 2019;65(2):165-170.

Cho KH, Lee HJ, Lee WH. Intra- and inter-rater reliabilities of measurement of ultrasound imaging for muscle thickness and pennation angle of tibialis anterior muscle in stroke patients. *Topics in Stroke Rehabilitation.* 2017;24(5):368-373.

Cho JE, Cho KH, Yoo JS, et al. Reliability and validity of

a dual-probe personal computer-based muscle viewer for measuring the pennation angle of the medial gastrocnemius muscle in patients who have had a stroke. *Topics in Stroke Rehabilitation*. 2018;25(1): 6-12

Ema R, Wakahara T, Mogi Y, et al. In vivo measurement of human rectus femoris architecture by ultrasonography: validity and applicability. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. 2013;33(4):267-273.

Fermanian J. Measuring agreement between 2 observers: aquantitative case. *Revue d'Epidémiologie et de Santé Publique*. 1984;32(6):408-413.

Fukunaga T, Ichinose Y, Ito M, et al. Determination of fascicle length and pennation in a contracting human muscle in vivo. *Journal of Applied Physiology*. 1997; 82(1):354-358.

Giannakou E, Aggeloussis N, Arampatzis A. Reproducibility of gastrocnemius medialis muscle architecture during treadmill running. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2011;21(6):1081-1086.

Gonzales JM, Galpin AJ, Montgomery MM, et al. Comparison of lower limb muscle architecture and geometry in distance runners with rearfoot and forefoot strike pattern. *Journal of Sports Sciences*. 2019;6:1-7.

Kawakami Y, Abe T, Fukunaga T. Muscle-fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles. *Journal of Applied Physiology*. 1993; 74(6):2740-2744.

Kawakami Y, Ichinose Y, Fukunaga T. Architectural and functional features of human triceps surae muscles during contraction. *Journal of Applied Physiology*. 1998;85(2):398-404.

Kawakami Y, Abe T, Kanehisa H, et al. Human skeletal muscle size and architecture: variability and interdependence. *American Journal of Human Biology*. 2006; 18(6): 845-848.

Kawamoto S, Imamoglu N, Gomez-Tames JD, et al. Ultrasound imaging and semi-automatic analysis of active muscle features in electrical stimulation by optical flow. *Conference proceedings Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. 2014;2014:250-253.

Kellis E, Galanis N, Natsis K, et al. Validity of architectural properties of the hamstring muscles: correlation of ultrasound findings with cadaveric dissection. *Journal of Biomechanics*. 2009;42(15):2549-2554.

Kim JS. Development of an automatic measuring program for the pennation angle using ultrasonography image. *Journal of The Korean Society of Integrative Medicine*. 2017;5(1):75～83.

Klimstra M, Dowling J, Durkin JL, et al. The effect of ultrasound probe orientation on muscle architecture measurement. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2007; 17(4):504-514.

Koryak YA. Architectural and functional specifics of the human triceps surae muscle in vivo and its adaptation to microgravity. *Journal of Applied Physiology*. 2019; 126(4):880-893.

Kwah LK, Pinto RZ, Diong J, et al. Reliability and validity of ultrasound measurements of muscle fascicle length and pennation in humans: a systematic review. *Journal of Applied Physiology*. 2013;114(6):761-769.

Lieber RL. Skeletal muscle structure, function and plasticity: the physiological basis of rehabilitation. Baltimore. Lippincott Williams & Wilkins. 2002.

Lieber RL, Fridén J. Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle & Nerve*. 2000; 23(11):1647-1666.

Lieber RL, Ward SR. Skeletal muscle design to meet functional demands. *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*. 2011;366(1570): 1466-1476.

Liem KF, Bemis WE, Walker WF, et al. Functional anatomy of the vertebrates: an evolutionary perspective, 3rd

ed. São Paulo. Cengage Learning. 2000.

Maganaris CN, Baltzopoulos V, Sargeant AJ. In vivo measurements of the triceps surae complex architecture in man: implications for muscle function. *The Journal of Physiology*. 1998;512(2):603-614.

Marzilger R, Legerlotz K, Panteli C, et al. Reliability of a semi-automated algorithm for the vastus lateralis muscle architecture measurement based on ultrasound images. European *Journal of Applied Physiology*. 2018;118(2):291-301.

McMahon JJ, Turner A, Comfort P. Within- and between-session reliability of medial gastrocnemius architectural properties. *Biology of Sport*. 2016;33(2):185-188.

Muhl ZF. Active length-tension relation and the effect of muscle pinnation on fiber lengthening. *Journal of Morphology*. 1982;173(3):285-292.

Narici MV, Binzoni T, Hiltbrand E, et al. In vivo human gastrocnemius architecture with changing joint angle at rest and during graded isometric contraction. *The Journal of Physiology*. 1996;496(1):287-297.

Narici M. Human skeletal muscle architecture studied in vivo by non-invasive imaging techniques: functional significance and applications. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 1999;9(2):97-103.

Pan Q, Chen Z, Wang Q, et al. Automatic extraction of the pennation angle of the gastrocnemius muscles from ultrasound radiofrequency signals. *Nan Fang Yi Ke Da Xue Xue Bao*. 2015;35(8):1116-1121.

Portney LG, Watkins MP. Foundations of clinical research: applications to practice, 3rd ed. Upper Saddle River NJ. Prentice Hall Inc. 2009.

Rana M, Hamarneh GH, Wakeling J. Automated tracking of muscle fascicle orientation in B-mode ultrasound image. *Journal of Biomechanics*. 2009;42(13): 2068-2073.

Rekabizaheh M, Rezasoltani A, Lahouti B, et al. Pennation angle and fascicle length of human skeletal muscles to predict the strength of an individual muscle using real-time ultrasonography: a review of literature. *Journal of Clinical Physiotherapy Research*. 2016; 1(2):42-48.

Silva CRS, Costa ADS, Rocha T, et al. Quadriceps muscle architecture ultrasonography of individuals with type 2 diabetes: Reliability and applicability. *PLoS One*. 2018;13(10):e0205724.

Tyler JD. Reliability of gastrocnemius pennation angle using ultrasound with 15 degree adduction and abduction in standing position. Georgia Southern University. Dissertation of University Honors Program. 2016.

Wakahara T, Kanehisa H, Kawakami Y, et al. Relationship between muscle architecture and joint performance during concentric contractions in humans. *Journal of Applied Biomechanics*. 2013;29(4):405-12.

Zajac FE. Muscle and tendon: properties, models, scaling, and application to biomechanics and motor control. *Journal of Critical Reviews in Biomedical Engineering*. 1989;17(4):359-411.

Zhou GQ, Chan P, Zheng YP. Automatic measurement of pennation angle and fascicle length of gastrocnemius muscles using real-time ultrasound imaging. *Ultrasonics*. 2015;57:72-83.