

스마트폰을 이용한 무릎관절 고유수용성 감각 측정의 타당도와 신뢰도 검증

김명철 · 김남재^{1†} · 이민수² · 문소라²

을지대학교 물리치료학과, ¹사랑플러스병원 재활센터, ²을지대학교 보건대학원 물리치료전공

Validity and Reliability of the Knee Joint Proprioceptive Sensory Measurements using a Smartphone

Myung-Chul Kim, PhD · Nam-Jae Kim, PT^{1†} · Min-Soo Lee, PT, MS² · So-Ra Moon, PT²

Department of Physical Therapy, Eulji University

¹Department of Physical Therapy, Sarangplus hospital Major in Physical Therapy

²Graduate School of Public Health Science, Eulji University

Received: June 22, 2015 / Revised: July 9, 2015 / Accepted: August 4, 2015

© 2015 J Korean Soc Phys Med

| Abstract |

PURPOSE: We aims to promote the development of proprioception measurement using smartphones, goniometers, and laser pointers as compared to the conventional use of electrogoniometer measurement.

METHODS: Measurements using an electrogoniometer were previously proved to be reliable and valid. Among E-university students, 20 who had no fracture, operation history, or inflammatory arthritis were examined. These subjects had not performed regular exercise in the past 3 months. Proprioception measurements were performed using four different measurement tools, three times per day, for test-retest analysis.

RESULTS: No notable test-retest differences were noted for any of the measurement methods ($P>0.05$). With regard to the test-retest reliability for each measurement method, we

observed that the readings from both the electrogoniometer and smartphone have high reliability ($ICC>0.80$), whereas the readings from the laser pointer have moderate reliability ($ICC>0.60$). When assessing the concurrent validity between electrogoniometers with individual measurements, we did not observe any notable difference between the smartphone and electrogoniometer ($P>0.05$) and these tools in fact showed high correlation ($r>0.60$, $P<0.05$) and a moderate reliability ($ICC>0.60$). Moreover, there was no notable difference in between electrogoniometers and laser pointers ($P<0.05$).

CONCLUSION: CONCLUSION: The findings of this suggested that proprioception can be measured by using smart-phones, and proved that this method has sufficient credibility. Moreover, we noted that the concurrent validity with smartphones was high in comparison with the conventional electrogoniometer, which also indicates the validity and credibility. Based on these findings, we conclude that the measurement of proprioception by using a smartphone can be widely adopted.

†Corresponding Author : ssome2@naver.com

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.

Key Words: Electrogoniometer, Joint position sense, Knee joint, Laser pointer, Proprioception, Proprioception measurement, Smartphone

I. 서 론

고유수용성 감각은 신경-운동 조절(neuro-motor control)에 있어서 중요한 작용을 한다. 근육이나 인대, 관절낭과 반월판(meniscus) 및 피부에 존재하는 기계적 수용기(mechanoreceptor)로부터 고유수용성 감각 정보를 받아들여 관절운동학(arthrokinetics)과 근·골격계 반사를 통하여 동적 관절 안정성에서 기여한다(Bennell 등, 2003). 고유수용성 감각은 현재의 근육 또는 관절의 위치를 알려주는 정적인 감각인 위치감각과 근육운동의 정도와 속도를 감지하는 동적인 감각인 운동감각으로 나눌 수 있다(Choi 등, 2002).

고유수용성 감각의 저하는 관절위치감각을 소실시켜(Yang과 Kim, 2010) 관절의 기능적 불안정성을 유발하므로 운동능력과 균형능력에 부정적인 영향을 주어 부상의 위험을 높이며(Hoon 등, 2009), 조직의 심각한 손상이나 만성적인 통증과 함께 이차적인 질병 발생의 원인이 된다(Baker 등, 2002). 특히, 무릎관절은 노화로 인한 퇴행성관절염, 과도한 사용으로 인한 스포츠 손상 그리고 장기간 고정으로 인해 고유수용성 감각이 저하될 수 있으며, 이는 다리 전체의 위치감각과 운동능력을 악화시킬 수 있다(Whetzel 등, 1997; Jordan 등, 1997).

Carey (1995)는 고유수용성 감각을 수치화하여 측정함으로써 고유수용성 감각 이상을 조기에 검진할 수 있을 뿐만 아니라 운동의 효과를 정확히 평가하는데도 이용될 수 있다고 하였다(Roberts 등, 2007). 고유수용성 감각은 매우 예민하므로, 이것을 측정하기 위한 장비는 충분한 타당도를 가지고 확보하여야 한다. 이에 대해 Hwang 등(2010)에 의하면, 등속성 근력계(isokinetic dynamometer)는 무릎의 고유수용성 감각을 측정하는데 신뢰성이 있다고 하였고 Bronner 등(2010)에 의하면 전자측각기(electrogoniometer)는 무릎 관절 운동에 대해 높은 신뢰성과 타당성이 있다고 하는 등 기존의 연구

들은 등속성 근력계(isokinetic dynamometer)와 전자측각기를 이용한 방법을 고유수용성 감각 측정 장비로 제시하고 있다(Kim 등, 2013; Park 등, 2010; Oh 등, 2011; Kim 등, 2005; Sin 등, 2004; Yu, 2010).

하지만, 등속성 근력계(isokinetic dynamometer)는 고가의 장비로 임상현장에서 보급률이 낮으며, 부피가 크고 무게가 무거워 한정된 공간에서만 사용이 가능하다. 반면, 전자측각기는 등속성 근력계(isokinetic dynamometer)에 비하여 상대적으로 부피와 무게가 적으며, 다양한 공간에서 사용 가능하다. 그러나 고유수용성 감각의 측정에 사용되는 전자측각기 역시 고가의 장비로써 임상현장에 보급이 이루어지지 않고 있으며, 등속성 근력계(isokinetic dynamometer)에 비해 부피와 무게가 적을 뿐 휴대할 수는 없다. 이처럼 앞서 언급한 측정 장비들은 신뢰성과 타당성이 확인되었지만, 장비를 휴대할 수 없으며 설치하는데 오랜 시간이 소요된다. 그리고 상당한 고가의 장비로써 임상현장에서 많이 사용되지 못하고 있다.

최근에는 스마트폰을 이용하여 관절의 위치나 각도 측정을 많이 하고 있는데, 이것은 의료 시스템에 상당한 개선을 주도했다고 하였다(Ozidalga 등, 2012와 Boulos 등, 2011). 스마트폰은 작고, 사용하기 편하고, 저렴하고, 접속되는 장점을 가지고 있고 또한 거의 표준처럼 3D 가속도계, 자력계, 자이로스코프로 구성되어 있는 관성운동장치(IMU)를 포함하고 있는 장점을 가지고 있다. 흥미롭게도 이들에 내장된 관성 센서는 폰의 선형 및 각도 움직임을 감시하고 탐지할 수 있다. 운동 범위를 제공하기 위해 융합 알고리즘이 사용될 수 있으며, 그들 중 일부는 이미 전용 관성운동장치(IMU) 시스템을 사용한 여러 연구에서 입증되었는데(Zhu 등, 2004), 최근 스마트폰을 이용한 관절 범위에 대한 연구로는 어깨 관절(Shin 등, 2012; Wemer 등, 2014), 무릎관절(Milanese, 2014), 허리(Bedekar, 2014) 등 다양한 관절에서 활발하게 이루어지고 있으며 전반적으로 높은 수준의 신뢰도와 타당도가 있음을 보여주고 있다.

이에 대해 본 연구는 스마트 폰, 관절각도기, 레이저 포인터를 이용한 고유수용성 감각 측정방법과 기존에 신뢰도와 타당도가 입증된 전자측각기를 이용한 측정

방법의 비교를 통해 휴대성이 있고 경제적이며 임상현장에서 쉽게 사용 가능한 고유수용성 감각 측정도구의 개발에 기여하고자 실시하였다.

II. 연구 방법

1. 연구계획

본 연구는 각각 관절각도기와 스마트폰 그리고 레이저포인트를 이용한 고유수용성 감각의 측정 시 각 측정

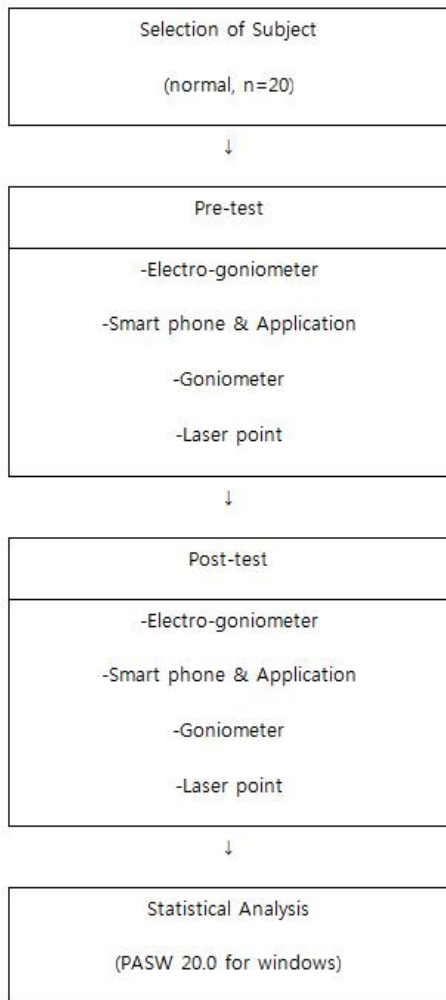


Fig. 1. Research Plan

Table 1. General characteristics of the subjects

	Experimental (N=20)
Gender(M/F)	10/10
Age(yrs)	22.20±1.20
Height(CM)	165.79±8.00
Weight(kg)	58.12±10.76

방법에 따른 검사-재검사 신뢰도를 확인하고, 전자측각기와 각 측정방법 간에 공존타당도를 확인하기 위하여 하루 간격으로 1차 측정과 2차 측정으로 진행되었다 (Fig 1).

2. 연구대상

본 연구의 대상자는 성남시에 소재하고 있는 E대학교 재학생 중 20대의 건강한 성인 남녀 20명을 대상으로 하였다(Table 1). 임상시험 전에 대상자에게 연구목적과 임상시험 절차를 설명한 후 실시하였다. 대상자 선정 기준은 다음과 같다.

첫째, 다리골절, 수술력, 염증성 관절염이 없는 자
둘째, 다리를 스스로 정상 각도로 굽힘과 폼을 하는데 아무런 이상이 없는 자

셋째, 시각에 아무런 이상이 없는 자

넷째, 청각이 아무런 이상이 없는 자

다섯째, 최근 3개월 내에 규칙적인 운동을 시작하지 않은 자

여섯째, 연구 동의서에 동의하여 자발적으로 임상시험에 참여한 자

3. 실험방법

1) 측정도구

(1) 전자측각기

본 연구에 사용된 전자측각기는 Biometrics (Ls-800x, Biometrics Ltd, UK) 동작분석 시스템을 사용하였다. 이 장비는 관절각도의 아날로그 신호를 디지털화하는 기본 장치와 관절운동 시 각도를 측정하는 전자측각기 (electrogoniometer)로 구성되어 있다. 전자측각기는 두 개의 전자 분압기와 이것을 연결하는 용수철로 구성된

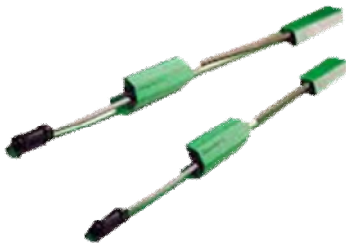


Fig. 2. Electrogoniometer

어 있다(Fig 2). 이렇게 추출된 데이터는 개인용 컴퓨터에 내장된 디지털 신호 분석 프로그램(DataLINK PC software2.00, Biometrics Ltd, UK)을 사용하여 계산 값이 표시된다. 표본 추출률은 2,000hz로 하였다.

(2) 스마트폰과 어플리케이션

본 연구에서 사용한 스마트폰은 갤럭시노트2(SHV-E250S, Samsung, Korea)이었으며 운영체제는 안드로이드 젤리빈(Android 4.1.2, Google, USA)이었다(Fig 3). 어플리케이션은 Smart protractor (Smart Protractor 1.3.2, Smart Tools co, Korea)와 모비즌 어플리케이션(Mobizen, Rsupport, Korea)을 사용하였다. Smart protractor은 스마트폰에 내장되어 있는 자이로스코프센서를 이용하여 각도를 0.1° 단위로 표시할 수 있다. 본 연구에서는 스마트폰 화면에 출력되는 정보를 코딩하기 위하여 스마트폰의 모비즌 어플리케이션을 이용하여 스마트폰의 화면을 노트북으로 동기화하고 녹화하여 사용하였다. 녹화된 영상은 다음 팟인코더(Daum Pot Encoder, Daum, Korea)를 이용하여 10fps로 추출하였다.



Fig. 3. Galaxy note 2

(3) 관절각도기

본 연구에 사용된 관절각도기는 메탈 재질의 상용 측각기, JAMARI을 이용하였고 이 도구의 측정 눈금단위는 1°이다. 고정자와 가동자로 구성되어 있어 하나의 축을 중심으로 각도를 이루는 가장 보편적인 측정도구이다

(4) 레이저포인터

본 연구에 사용된 레이저포인터(SPP3000, GPEC, Korea)는 134*18*18mm, 1.5V AAA건전지를 사용하는 것으로 다리에 부착 시 다리의 움직임을 제한하지 않는 것으로 하였다.

2) 측정방법

고유수용성 감각 측정 시 피부를 통한 표재입력을 최소화하기 위하여 반바지를 입도록 한 후 측정하였으며, 시각적, 청각적 보상을 최소화하기 위해 안대와 귀마개를 사용하였다. 측정에 앞서 측정방법을 충분히 구두로 설명하였고, 측정절차에 대한 시범을 보여주었으며, 모의 측정을 실시하여 측정이 원활하게 진행되도록 하였다.

본 연구의 고유수용성 측정방법은 Knoop 등(2011)이 사용한 수동설정-능동재현 측정방법을 사용하였다. 수동설정-능동재현 측정방법이란 수동적으로 관절의 위치를 만들어 주고 휴식 후 다시 능동적으로 각도를 재현하는 방법을 말한다. 측정 자세와 측정도구의 부착은 대상자의 발이 바닥에 닿지 않도록 하여 앉은 자세를 유지하게 한 후 측정자는 대상자들의 무릎관절 펴 상태에서 전자측각기를 무릎관절 가쪽관절용기를 기준으로 위, 아래 5cm지점에 두 개의 센서를 일직선이 되게 양면테이프 이용하여 부착하였다. 스마트폰은 벨크로(Ankle support, Bioplus, Korea)를 이용하여 무릎관절 가쪽관절용기와 발목관절 복사뼈를 연결한 선의 하위 30%부위에 부착하였으며, 레이저포인터는 스마트폰 위에 벨크로를 이용하여 고정하였다(Fig 4). 이 때 스마트폰과 레이저포인터가 시상면에 위치할 수 있도록 손수건을 다리와 스마트폰 사이에 채워 넣었다.

매 측정 시 마다 스마트폰 어플리케이션의 각도기와

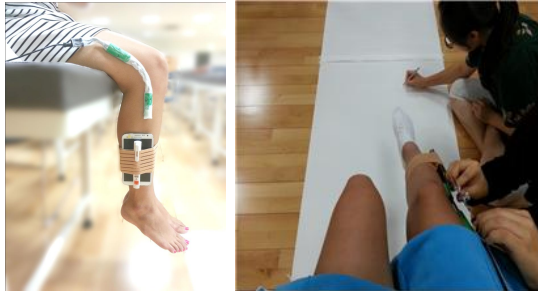


Fig. 4. Measuring Posture and Attachment of the Measurement Tools

전자측각기를 0°로 조정하였다. 측정자는 대상자의 무릎이 완전 폼이 되도록 하였다가 다시 굽힘 하였으며, 대상자의 무릎관절의 가동범위 내에서 수동적으로 임의 각도로 폼을 만든 상태에서 유지하도록 하여 무릎관절 수동설정 각도를 구성하였다. 이때 대상자에게 “현재의 무릎 위치를 기억해주세요.”라고 지시하였으며, 7초간 유지하도록 하였다. 이때 스마트폰의 각도기 어플리케이션의 각도 정보는 모비즌 어플리케이션을 통해 저장되었으며, 레이저 포인터에 의해 바닥에 형성된 점은 표시되었고, 관절각도기로 무릎관절 각도가 측정되었다(Fig 5). 이어서 무릎관절을 굽힘 하여 원위치로 복귀하고 10초 동안 휴식을 취하도록 하였다. 휴식 후 대상자에게 “좀 전에 기억하라고 했던 위치로 무릎을 펴주세요.”라고 지시하였으며, 7초간 유지하도록 하여 무릎관절 재현 각도를 구성하였다. 이때 수동설정 시와 동일한 방법으로 스마트폰과 레이저포인터 그리고 관절각도기로 데이터를 추출하였다.

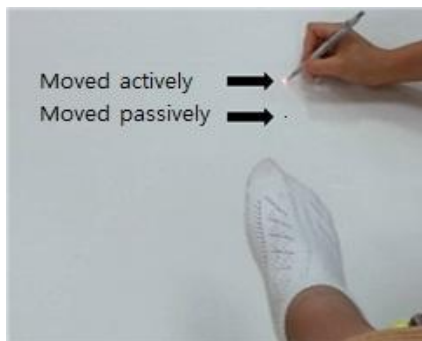


Fig. 5. Laser Pointer Map Reference

본 연구에서 사용된 측정값은 다음과 같았다. 스마트폰과 전자측각기는 수동설정 시 유지한 7초 중 전후 2초씩을 제외한 가운데 3초 동안의 데이터와 능동재현 시 유지한 7초 중 전후 2초씩을 제외한 가운데 3초 동안의 데이터 간의 차이의 절대 값을 사용하였다. 레이저 포인터는 수동설정 시 유지한 7초 중 3초 동안 바닥의 종이에 형성된 점과 능동재현 시 유지한 7초 중 3초 동안 바닥의 종이에 형성된 점 간 최단거리를 사용하였다. 관절각도기는 수동설정 시와 능동재현 시에 측정된 값 간 차이의 절대 값을 사용하였다. 1차와 2차에 대한 측정치는 각각 3회씩 측정된 값의 평균을 사용하였다. 측정은 1차와 2차가 동일하게 진행되었다.

4. 분석방법

각 측정방법에 의해 추출된 측정값의 정규성 분포를 알아보기 위하여 Kolmogorov-Smirnov 검정을 실시하였다. 각 측정방법의 1차 측정과 2차 측정 간에 통계학적 차이와 전자측각기와 각 측정방법 간에 통계학적 차이를 알아보기 위하여 대응표본 t-검정(paired t-test)을 사용하였다. 각 측정방법의 검사-재검사 신뢰도와 전자측각기에 대한 각 측정방법의 공준타당도를 알아보기 위하여 피어슨의 상관계수(pearson's correlation coefficient)와 급간내상관계수(intra-class correlation coefficient; ICC)를 확인하였다. 대응표본 t-검정에서 유의수준 $\alpha < 0.05$ 로 하였다. 검사-재검사 신뢰도에서 ICC가 0.80이상이면 매우 높은 신뢰도, 0.60~0.80은 중등도의 신뢰도를 나타낸다. 공준타당도에서 r값이 0.80이상이면 매우 강한 양의 상관관계, 0.60~0.80은 강한 양의 관계를 나타낸다.

본 연구에서는 PASW 20.0를 사용하여 분석하였다.

III. 연구 결과

1. 정규성 분포

각 측정방법에서 1차 측정과 2차 측정을 통해 추출된 측정값들은 모두 $P > 0.05$ 로 정규성 분포를 이루고 있었다.

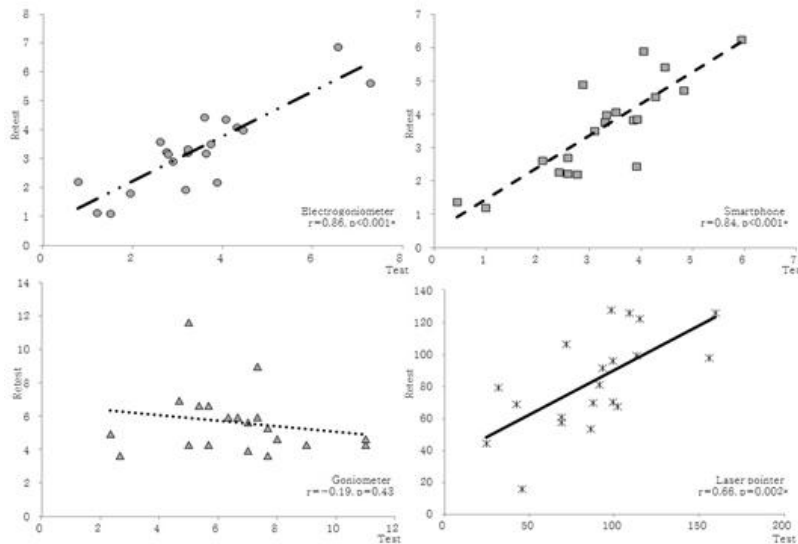


Fig. 6. Test-retest Reliability

2. 각 측정방법별 검사-재검사 신뢰도

전자측각기, 스마트폰, 관절각도기 그리고 레이저포인터는 모두 1차 측정과 2차 측정 간에 유의한 차이가 없었다($P>0.05$). 전자측각기와 스마트폰은 각각 매우 강한 양의 상관관계($r>0.80$, $P=0.001$)와 매우 높은 신뢰도를 나타냈으며($ICC>0.80$), 레이저포인터는 강한 양의 상관관계($r>0.60$, $P=0.002$)와 중등도의 신뢰도를 나타내었다($ICC>0.60$)(Table 2)(Fig 6).

3. 전자측각기와 각 측정방법 간 공존타당도

전자측각기에 대한 스마트폰은 유의한 차이가 없었고($P>0.05$) 강한 양의 상관관계($r>0.60$, $P=0.001$) 그리고 중등도의 신뢰도($ICC>0.60$)를 나타냈다. 그러나 관절각도기($P=0.05$)와 레이저포인터($P=0.02$)는 유의한 차이가 있었다(Table 2)(Fig 7).

IV. 고찰

본 연구에서는 휴대하기 편리하고 저가로 쉽게 구매할 수 있으며, 쉽고 빠르게 측정이 가능한 관절가동범위 측정도구를 개발하고자 스마트폰, 관절각도기, 레이저포인터를 이용한 고유수용성감각 측정방법의 검사-재검사 신뢰도를 확인하고 기존에 신뢰도와 타당도가 입증된 전자측각기와 비교함으로써 공존타당도를 확인하였다.

본 연구에서는 무릎관절의 고유수용성 감각 측정 자세로 열린 사슬의 앉은 자세로 수동설정-능동재현 방법을 사용하였다. 이에 대해 Perlaun 등(1995)은 고유수용성 감각을 검사하는 상대적으로 표준화된 두 개의 방법으로 일련의 관절각을 재현하여 위치감각을 구하

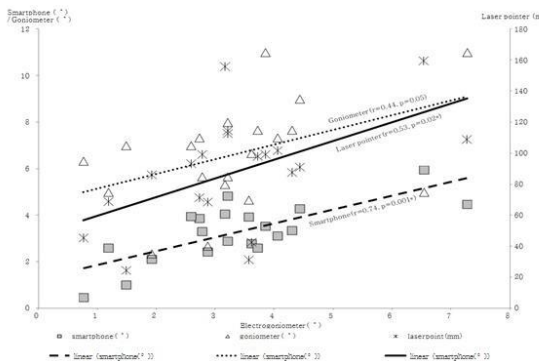


Fig. 7. Concurrent Validity

는 방법과 동작을 검출하여 역치를 구하는 방법이 있는데, 본 연구와 같이 열린 사슬 형태의 운동을 하는 동안 수동 관절가동범위를 이용하여 검사하는 방법이 고유수용성 감각을 가장 정확하게 검사하는 방법이라 하여 본 연구의 검사 방법에 대한 근거를 제시해주고 있다.

본 연구의 검사-재검사 신뢰도에서 전자측각기와 스마트폰 그리고 레이저포인터를 이용한 각각의 고유수용성 감각 측정방법은 유의한 상관관계를 나타냈다. 그에 반해 관절각도기를 이용한 고유수용성 감각 측정방법은 유의한 상관관계를 나타내지 못했다. 이것은 고유수용성 감각이 매우 정밀한 것에 반해 인간의 관절각도 측정은 그만큼 정밀하지 못하며, 다른 측정방법들의 도구들은 수동설정 시나 재현 시까지 동일한 위치에 부착되어 있었던 것에 비해 관절각도기는 수동설정과 재현 시에 각각 새로운 위치에서 측정되어 오차가 반영되

었다고 생각된다. 또한 레이저포인터에 비해 스마트폰이 더 높은 상관관계를 나타냈는데, 이것은 레이저포인터를 이용한 방법의 경우 오차각도가 커질수록 레이저포인터와 레이저 점이 형성되는 지점의 거리가 멀어짐에 따라 오차가 기하급수적으로 커지기 때문이라고 생각된다. 그러므로 고유수용성 감각 측정 시 오차가 커질 수 있는 환자의 경우에 레이저포인터보다는 전자측각기나 스마트폰을 이용하는 것이 더 효과적이라고 생각된다.

본 연구에서 전자측각기를 이용한 고유수용성 감각 측정방법과 스마트폰을 이용한 고유수용성 감각 측정방법에서만 유의한 차이가 나타나지 않았다. 이것은 스마트폰을 이용한 측정방법이 전자측각기를 이용한 측정방법과 비교하였을 때 다른 도구를 이용한 측정방법 보다 더 차이가 없다고 할 수 있으나, 이것은 레이저포인터를 이용한 고유수용성 감각 측정방법의 측정 단

Table 2. Test-retest Reliability and Concurrent Validity Analysis

		measurement	paired-test		pearson ²⁾		ICC ³⁾	
			t	P	r	P		
test-retest reliability	EG(o) ¹⁾	test	3.36±1.57a	0.40	0.70	0.86	<0.001*	0.86
		retest	3.29±1.41					
	SP(o)	test	3.26±1.27	-2.00	0.06	0.84	<0.001*	0.84
		retest	3.61±1.44					
	G(o)	test	6.62±2.25	1.34	0.20	-0.19	0.43	-0.19
		retest	5.65±1.94					
	LP(mm)	test	87.98±35.73	0.74	0.47	0.66	0.002*	0.65
		retest	83.37±30.26					
EG(o)	test	3.36±1.57	-	-	-	-	-	
	retest	3.29±1.41						
concurrent validity	SP(o)	test	3.26±1.27	0.44	0.66	0.74	0.001*	0.72
		retest	3.61±1.44					
	G(o)	test	6.62±2.25	-6.94	<0.001*	0.44	0.05	0.42
		retest	5.65±1.94					
LP(mm)	test	87.98±35.73	-10.84	<0.001*	0.53	0.02*	0.05	
	retest	83.37±30.26						

aMean±Standard deviation

(P<0.05)

¹⁾ EG: electrogoniometer, SP: smartphone, G: goniometer, LP: laser pointer

²⁾ pearson: pearson correlation analysis

³⁾ ICC: intraclass correlation coefficient

위가 mm이고 전자측각기와 스마트폰을 이용한 각각의 고유수용성 감각 측정방법의 측정 단위가 도(°)에서 발생하는 오해일 수 있다. 또한, 전자측각기를 이용한 고유수용성 감각 측정방법과 스마트폰을 이용한 고유수용성 감각 측정방법 간에 강한 양의 상관관계를 나타낸 것에 비해 레이저포인터를 이용한 고유수용성 감각 측정방법은 비교적 약한 양의 상관관계를 나타냄으로 스마트폰을 이용한 고유수용성 감각 측정방법이 전자측각기를 이용한 고유수용성 감각 측정방법과 더 강한 상관관계가 있다는 것을 알 수 있었다.

본 연구를 통해서 스마트폰을 이용한 고유수용성 감각 측정방법이 전자측각기를 이용한 고유수용성 감각 측정방법을 대체할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서는 고유수용성 감각 측정 전용 어플리케이션이 없는 관계로 기존의 2D각도기 어플리케이션으로 연구하였으며, 고유수용성 감각 측정 전용 어플리케이션이 아닌 관계로 데이터 추출에 많은 어려움이 있었다. 본 연구에서 제시한 프로토콜대로 측정을 실시하고 데이터를 자동으로 추출해주며, 저장기능이 포함된 고유수용성 감각 측정 전용 어플리케이션의 개발이 요구된다고 생각한다. 이에 대해 본 연구는 고유수용성 감각 측정 전용 어플리케이션의 개발의 가능성과 필요성 그리고 개발에 필요한 요소들을 제시하는 근거가 되는 가치 있는 연구라고 생각한다.

V. 결 론

본 연구는 20대의 남녀 20명을 대상으로 이미 신뢰도와 타당도가 확인된 전자측각기와 본 연구에서 제시하는 스마트폰, 관절각도기, 레이저포인터를 이용한 각각의 고유수용성 감각 측정방법의 검사-재검사 신뢰도와 전자측각기를 이용한 고유수용성 감각 측정방법에 대한 공준타당도를 알아보기 위하여 실시하였다.

그 결과 스마트폰을 이용한 고유수용성 감각 측정방법은 전자측각기를 이용한 고유수용성 감각 측정방법과 유의한 차이가 없었고 강한 상관관계를 나타냈으며, 중등도의 신뢰도를 확인할 수 있었다. 반면에 관절각도기와 레이저포인터를 이용한 고유수용성 감각 측정방

법은 각각 전자측각기를 이용한 고유수용성 감각 측정방법과 유의한 차이가 있었다. 이상의 결과를 볼 때 스마트폰을 이용한 고유수용성 감각 측정방법은 충분한 신뢰도를 가지고 있으며, 기존에 신뢰도와 타당도가 확인된 전자측각기를 이용한 고유수용성 감각 측정방법과의 공준타당도도 높은 것을 확인할 수 있었다. 따라서 스마트폰을 이용한 고유수용성 감각 측정방법의 개발이 충분히 가능하다는 사실을 확인할 수 있었다.

References

- Baker V, Bennell K, Stillman B, et al. Abnormal knee joint position sense in individuals with patellofemoral pain syndrome. *J Orthop Res.* 2002;20(2):208-14.
- Bennell, Kim L, Hinman RS, et al. Relationship of knee joint proprioception to pain and disability in individuals with knee osteoarthritis. *J Orthop Res.* 2003;21(5):792-7.
- Bedekar N, Suryawanshi M, Rairkar S, et al. Inter and intra-rater reliability of mobile device goniometer in measuring lumbar flexion range of motion. *J Back Musculoskeletal Rehabil.* 2014;27(2):161-6.
- Boulos MNK, Wheeler S, Tavares C, et al. How smartphones are changing the face of mobile and participatory healthcare: an overview with example from eCAALYX. *BioMedical Engineering Online.* 2011;10(1):24.
- Bronner S, Agraharasamakulam S, Ojofeitimi S, et al. Reliability and validity of electrogoniometry measurement of lower extremity movement. *J Med Eng Technol.* 2010;34(3):232-42.
- Carey LM. Somatosensory loss after stroke. *Crit Rev Phys Rehabil Med.* 1995;7:51-91.
- Choi YH, You BG, Jung HB, et al. The Effects of Knee Joint Taping on The Lower Extremity Muscle Fatigue and Proprioception of the Normal Adult. *J Korean Soc Phys Ther.* 2002;14(4):323-30.
- Hoon JR, Stashimko, Nagae LM, et al. Sensory and motor

- deficits in children with cerebral palsy born preterm correlate with diffusion tensor imaging abnormalities in thalamocortical path ways. *Developmental Medicine & Child Neurology*. 2009;51(9):697-704.
- Hwang JS, Lee DS, Jo YJ, et al. Measurement of Proprioception of the Knee in Hemiplegic Patients using an Isokinetic Dynamo meter. *Journal of Rehabilitation*. 2010;34(1):27-33.
- Jordan J, Luta G, Renner J, et al. Knee pain and Knee Osteoarthritis Severity in Self-reported Task Specific Disability. *University of North Carolina School of Medicine*. 1997;24(7):1344-9.
- Kim DK, Go EH, Lee KS, et al. The Influences of Visual Information and Different Elevations of Medially Wedged Insoles on Knee Joint Proprioception in Healthy Persons. *Phys Ther Kor*. 2005;12(1):22-7.
- Kim JH, Go MJ, Hwang JH, et al. The Effects of Knee Pain on the Quadriceps Strength, Proprioception and Balance in Patients with Knee Osteoarthritis. *Journal of Sport*. 2013;31(1):1-6.
- Knoop J, Steultien MP, Van der LM, et al. Proprioception in knee osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage*. 2011; 19(4):381-8.
- Milanese S, Gordon S, Buettner P, et al. Reliability and concurrent validity of knee angle measurement: Smartphone app versus universal goniometer used by experienced and novice clinicians. *Man Ther*. 2014;19(6):569-74.
- Oh SJ, Yang SJ, Ha JG. The Effectiveness of Joint Position Sense Test in Evaluating the Proprioceptive Function after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Journal of Sports*. 2011;29(2):83-8.
- Ozdalga E, Ozdalga A, Ahuja N. The smartphone in medicine: a review of current and potential use among physicians and students. *Journal of Medical Internet Research*. 2012;14(5):128.
- Park SB, Gi HS, Jo DS, et al. The effects of muscle fatigue in the shoulder of the proprioceptive sense. *Journal of Rehabilitation*. 2010;34(1):54-8.
- Perlau R, Frank C, Fick G. The effect of elastic bandages of human knee proprioception in the uninjured population. *Am J Sports Med* 1995;23(2):251-5.
- Roberts D, Ageberg E, Andersson G. Clinical measurements of proprioception, muscle strength and laxity in relation to function in the ACL-injured knee. *Knee Surgery Sports Traumatol Arthrosc*. 2007;15(1):9-16.
- Shin SH, Ro du H, Lee OS, et al. Within-day reliability of shoulder range of motion measurement with a smartphone. *Man Ther*. 2012;17(4):298-304.
- Sin WS, Kim TH, Yang HS. The Influence of Different Quantitative Knowledge of Results on Performance Error During Lumbar Proprioceptive Sensation Training. *Phys Ther Kor*. 2004;11(3):11-8.
- Whetzel, Stevenson, Sharman, et al. The Effect of Ischemic Preconditioning on the Recovery of Skeletal Muscle Following to umiquet Ischemia. *Plast Reconstr Surg*. 1997;100(7):1767-75.
- Werner BC, Holzgrefe RE, Griffin JW, et al. Validation of an innovative method of shoulder range-of-motion measurement using a smartphone clinometer application. *J Shoulder Elbow Surg*. 2014;23(11):e275-e82.
- Yang JM, Kim SY. The effect of continuous Passive Motion and Continuous Active Motion on Joint Proprioception After Total Knee Replacement. *Korean Academy Physther Science*. 2010;17(2):41-52.
- Yu SS. The Effect of the Motor Learning through the Visual Information on Motor Performance and Adaptation of Muscles. *Master's Thesis*. Daegu University. 2010.
- Zhu R, Zhou Z. A real-time articulated human motion tracking using tri-axis inertial/magnetic sensors package, *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. 2004;12(2):295-302.