

엉덩관절 수술 환자에서 스마트폰을 이용한 관절가동범위 측정의 신뢰도 및 타당도 연구

박선욱·김명수·배효선·차용호[†]
삼성서울병원 물리치료실

The Reliability and Validity of Hip Range of Motion Measurement using a Smart phone Operative Patient

Sun-Wook Park, PT, MS, Myoung-Soo Kim, PT, Hyo-Sun Bae, PT, Yong-Ho Cha, PT, MS[†]
Department of Physical therapy, Samsung Medical Center

Received: February 23, 2015 / Revised: February 23, 2015 / Accepted: March 18, 2015

© 2015 J Korean Soc Phys Med

| Abstract |

PURPOSE: The aims of this study were to assess the intra-tester and inter-tester reliability and validity of hip range of motion using a smart phone in hip operative patients.

METHODS: Twenty-five patients (eight total hip arthroplasty and seventeen femur neck fracture) participated in this study. The range of motions in active and passive hip flexion, abduction and external rotation were measured with a goniometer and smart phone over two times by two observers. The intra-tester and inter-tester reliability were evaluated using the intraclass correlation coefficient (ICC_{2,1}). The validity was measured by Pearson's correlation coefficient

RESULTS: The intra-observer reliability was good in all measured items (ICC>0.78). The inter-observer reliability was high with ICC (>0.90). All correlation coefficients of

smart phone and goniometer was greater than 0.85 and showed a significant positive correlation ($p<0.01$).

CONCLUSION: The range of motion measurement with a smart phone showed acceptable reliability. Therefore, it could be convenient and have economical benefits to measure the range of motion of the hip joint using a smart phone.

Key Words: Hip joint, Range of motion, Reliability and Validity, Smart phone

I. 서론

엉덩관절(hip joint)의 관절범위 측정은 엉덩관절 수술 후에 결과를 평가하는 몇 가지 변수 중 중요한 요소이다(Johnston 등, 1990). 엉덩관절의 수술, 관절염, 외상, 과사용 증후군과 같은 질환은 엉덩관절의 운동범위를 제한시키게 되므로 정확한 관절범위의 측정은 이러한 질병의 경과를 평가하고 앞으로의 필요한 중재를 결정하는데 중요하다(Bierma-Zeinstra 등, 1998). 또한 엉덩관절 수술 후 관절범위 측정은 결과 평가의 지표가 될

[†]Corresponding Author: physiotherapist@hanmail.net

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.

수 있다(Holm 등, 2000).

각도계(goniometer)는 일반적으로 임상에서 가장 많이 사용되고, 경제적이며, 휴대하기 좋은 관절가동범위 측정도구이다. 각도계는 단순하게 관절가동범위를 측정할 수 있고 어떤 데이터 감소 과정 없이 즉각적으로 관절범위를 측정할 수 있다는 장점이 있지만, 가장 중요한 단점은 시작자세와 회전의 중심축, 평행 상태를 오직 시각적 짐작으로 평가해야 하고 관절이 움직이는 동안 고정 팔(reference arm)을 유지하기가 어렵다는 점이다(Lea와 Gerhardt, 1995). 이런 각도계의 불편함을 극복하기 위하여 다양한 디지털 경사계 장비를 통한 관절범위 측정이 계속 연구되어 왔다(De Winter 등, 2004; Green 등, 1998; Hoving 등, 2002; Kolber 등, 2011).

현대 사회에서 스마트폰은 세계적으로 가장 대중적인 전자기기이며 다양한 분야에서 그 기능을 인정받고 있다. 스마트폰은 이미 다양한 센서를 내장하고 있고 이러한 센서를 바탕으로 여러 건강 분야에서 활용되고 있으며 이러한 기능들을 이용하여 즉각적으로 자신의 의학적인 상태를 피드백해줄 수 있는 장점이 있다(Wu, 2012). 최신 스마트폰에는 자이로 센서(gyro-sensor) 시스템이 장착되어 있어 다양한 분야에서 기울기와 경사도를 측정하는데 활용되고 있다(Shin 등, 2012).

최근 스마트폰을 사용한 관절범위에 대한 연구로는 어깨 관절(Shin 등, 2012; Cools, 2014, Wemer 등, 2014), 무릎관절(Milanese, 2014), 목(Quek, 2014), 허리(Bedekar, 2014) 등 다양한 관절에서 활발하게 이루어지고 있으며 전반적으로 높은 수준의 신뢰도와 타당도가 있음을 보여주고 있다. 또한 Charlton(2014) 등은 스마트폰을 이용한 정상인의 엉덩관절 가동범위에 대한

연구를 통해 스마트폰이 엉덩관절 가동범위 측정에 사용할 수 있음을 입증하였다.

따라서 본 연구는 엉덩관절 수술환자를 대상으로 관절가동범위를 측정하여 임상적으로 스마트폰이 관절범위 측정도구로서 적절한지를 평가하기 위하여 신뢰도와 타당도를 알아보려고 한다.

II. 연구 방법

1. 연구대상

본 연구에는 서울S병원에 입원중인 환자로 엉덩관절 수술 후 입원 중인 25명(평균 나이 73.0세, 남자 6명, 여자 19명)이 참여하였다. 대상자는 근위부 넓다리뼈(femur) 골절로 인해 정형외과에서 수술을 받은 환자로 내 고정술(internal fixation)이 17명이었고 인공관절 수술이 8명이었다. 검사를 시행할 수 없을 만큼 통증이 심한 자, 검사를 위한 의사소통이 불가능한 자, 다른 신경학적 질병이 있는 자는 대상자에서 제외하였다. 본 연구에 참여한 연구대상자들은 실험 참여 전에 연구의 목적과 방법에 대해 충분한 설명을 들었으며, 이에 따라 자발적으로 실험 참여에 동의하였다. 연구대상자들의 일반적인 특성은 Table 1에 제시되어 있다.

2. 실험방법

1) 측정도구

관절가동범위를 측정하기 위하여 각도계(Goniometer, JAMAR, USA)와 스마트폰 갤럭시(Galaxy S3; Samsung

Table 1. General characteristics of subjects

(n=25)

	Male(n=6)	Female(n=19)
	Mean±SD	Mean±SD
Age(years)	69.81±9.12	74.11±10.73
Weight(Kg)	59.93±3.21	53.54±6.32
Height(cm)	166.54±3.92	151.93±6.64
BMI	21.61±0.82	23.31±3.42

BMI : Body Mass Index

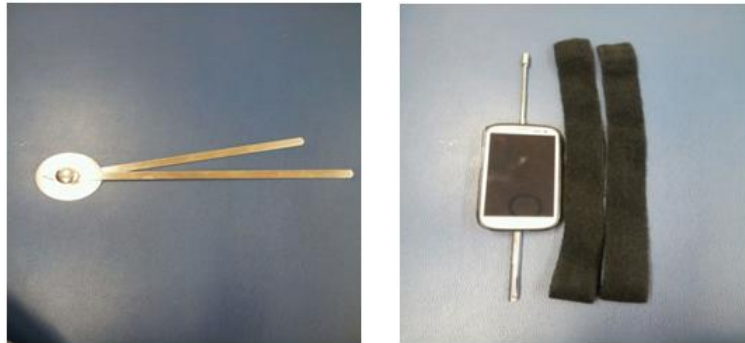


Fig 1. Goniometer and Smartphone Galaxy S3



Fig 2. Measurement of hip flexion(Left), abduction(middle) and external rotation(Right)

g, Korea)를 사용하였다. 각도계를 이용한 관절가동범위의 측정은 총 길이 29.3cm의 원형각도계로 2° 간격의 눈금이 매겨진 것을 사용하였다. 스마트폰을 이용한 각도측정은 Clinometer-level and Slope Finder(Plaincode Software Solutions, Stephanskirchen, Germany) 어플리케이션(application)을 이용하였고 정확한 고정을 위해 스트랩(strap)과 벨크로(belcro)를 사용하였다(Fig 1).

2) 측정방법

물리치료 임상경력 10년 이상의 두 명의 측정자가 각도계와 스마트폰을 이용하여 관절가동범위를 측정하였다. 엉덩관절 굽힘은 경사침대에 누운 상태에서 각도계의 축은 엉덩관절 외측에, 고정자는 수평면과 평행하게 하고 이동자는 대상자의 넓다리뼈와 평행하도록 일치시켜 측정하였다. 스마트폰은 넓다리뼈큰돌기(Greater trochanter)와 무릎관절 중양을 연결한 안테나를 맞춰 스마트폰을 부착 한 후 측정하였다. 엉덩관절 벌림은 선 상태에서 각도계의 축은 엉덩관절 전면에

고정자는 엉덩관절을 지나는 수직의 가상 선과 평행하게, 이동자는 대상자의 넓다리뼈의 중양에 놓고 측정하였다. 스마트폰은 엉덩관절과 무릎관절 중양이 연결되도록 안테나를 맞춘 다음 그 선위에 스마트폰을 부착한 후 측정하였다. 엉덩관절 바깥돌림은 앉은 상태에서, 축은 무릎 관절위에, 고정자는 수직면과 평행하게, 이동자는 대상자의 앞 정강이뼈(tibia)와 동일하게 측정하였고, 스마트폰은 무릎뼈(Patella) 중양과 발목이 연결되도록 안테나를 맞춰 스마트폰을 부착 한 뒤 측정하였다(Fig 2).

한 환자에게 측정자 A가 엉덩관절 가동범위를 능동과 수동으로 구분하여 각도계와 스마트폰을 이용해 각각 1차 측정하였다. 5분간 휴식 후, 측정자 B가 같은 방법으로 측정하였다. 30분 휴식 후 측정자 A와 B는 같은 방법으로 2차 측정을 실시하였다. 측정 시 마다 서로 다른 기록지를 이용하여 다른 측정자의 측정값을 알지 못하게 하였다.

3. 자료 분석

통계분석의 실행은 SPSS for windows 18.0을 사용하였다. 측정도구의 측정자내, 측정자간 신뢰도를 분석하기 위해서 급간내 상관계수(Intra-class correlation coefficients; ICC(2,1))를 사용하였고 측정오차 신뢰도는 표준오차 측정(standard error of measurement, SEM)을 이용하였다. 측정도구의 동시 타당도를 평가하기 위해 피어슨 상관계수(Pearson correlation)를 이용하였고, 유의 수준 $\alpha=0.01$ 로 하였다.

의 측정자내 신뢰도는 측정자 A의 수동 벌림(ICC=0.78)과 측정자 B의 수동 벌림과 수동 바깥돌림(ICC=0.79)을 제외하고 모두 높은 신뢰도 값을 보였다(ICC>0.80)(Table 2).

2. 측정자간 신뢰도

측정자 A와 측정자 B에 의해 2회 측정된 스마트폰의 능동 및 수동 엉덩관절의 굽힘, 벌림, 바깥돌림의 측정자간 신뢰도는 모든 측정 동작에서 높은 수준의 신뢰도 값을 보였다(ICC>0.90)(Table 3).

III. 연구 결과

1. 측정자내 신뢰도

측정자 A와 측정자 B에 의해 각각 2회 측정된 스마트폰의 능동 및 수동 엉덩관절의 굽힘, 벌림, 바깥돌림

3. 측정도구의 타당도

엉덩관절의 굽힘, 벌림, 바깥돌림에 대한 스마트폰과 각도계의 피어슨 상관계수는 엉덩관절의 능동굽힘, 수동굽힘, 능동 바깥돌림에서 매우 높은 상관관계를 보였고(>0.90), 능동벌림, 수동벌림, 수동 바깥돌림에서

Table 2. Intra-rater reliability of hip angle measured on smart phone (n=25)

Modality	Movement	Examine 1		Examine 2		SEM(°)
		ICC	95% CI	ICC	95% CI	
Smartphone	Flx a	0.92	0.81-0.96	0.93	0.83-0.97	3.30
	Flx p	0.90	0.77-0.96	0.90	0.77-0.95	2.94
	Abd a	0.80	0.55-0.91	0.83	0.62-0.93	1.63
	Abd p	0.78	0.50-0.90	0.79	0.53-0.91	1.69
	ER a	0.91	0.79-0.96	0.91	0.79-0.96	1.49
	ER p	0.84	0.63-0.93	0.79	0.53-0.91	1.58

ICC: Intraclass correlation coefficient, CI: Confidence interval, SEM: Standard error of measurement
Flx: Flexion, Abd: Abduction, ER: External rotation, a: Active, p: Passive.

Table 3. Inter-rater reliability of hip angle measured on smartphone (n=25)

Modality	Movement	Observer A			Observer B		
		ICC	95% CI	SEM(°)	ICC	95% CI	SEM(°)
Smartphone	Flx a	0.97	0.93-0.99	3.07	0.99	0.99-0.99	3.46
	Flx p	0.97	0.94-0.99	2.79	0.98	0.96-0.99	2.80
	Abd a	0.90	0.78-0.96	1.52	0.99	0.98-0.99	1.60
	Abd p	0.95	0.89-0.98	1.67	0.98	0.95-0.99	1.60
	ER a	0.98	0.95-0.99	1.46	0.97	0.93-0.97	1.60
	ER p	0.98	0.96-0.99	1.18	0.94	0.86-0.97	1.38

ICC: Intraclass correlation coefficient, CI: Confidence interval, SEM: Standard error of measurement
Flx: Flexion, Abd: Abduction, ER: External rotation, a: Active, p: Passive.

Table 4. Pearson correlation of mean hip angles between smart phone and goniometer (n=25)

Hip joint movement	active/passive	R
Flexion	active	0.92*
	passive	0.91*
Abduction	active	0.87*
	passive	0.88*
External Rotation	active	0.91*
	passive	0.85*

*: p < 0.01

높은 상관관계(>0.85)를 보였다(p<0.01)(Table 4).

IV. 고 찰

최근 스마트폰에는 다양한 건강 분야에서 활용될 수 있는 어플리케이션이 개발되고 있는데 특히 자이로 센서 시스템을 활용한 다양한 어플리케이션이 개발되어 기울기와 경사도를 측정하는데 사용되고 있다. 접근성과 편리성으로 인해 의료 환경에서 쉽게 스마트폰의 어플리케이션을 관절가동범위 측정에 이용할 수 있지만 최근 들어서야 관절가동범위의 측정에 대한 스마트폰 신뢰도 및 타당도와 관련된 연구가 활발하게 이루어지기 시작하였다. 그러나 아직 임상에서 환자를 대상으로 한 스마트폰의 신뢰도와 타당도에 대한 입증은 부족한 못한 실정이다.

스마트폰과 각도계로 어깨관절의 굽힘, 벌림, 바깥 돌림, 안쪽 돌림을 측정한 Shin 등(2012)에 의한 연구 결과에서 측정자내 신뢰도는 안쪽 돌림을 제외하고 0.70 (95%신뢰구간 0.63-0.68)이하였고, 측정자간 신뢰도는 0.90 (95%신뢰구간 0.79-0.89)이상이었다. 본 연구는 엉덩관절 수술 후 수동 및 능동 굽힘, 벌림, 바깥 돌림을 측정하였다. 각각 측정자내 신뢰도는 0.78 (95%신뢰구간 0.50-0.90)이상을 보였고, 측정자간 신뢰도는 0.90 (95%신뢰구간 0.78-0.96)이상을 보였다. Shin 등(2012)의 연구는 어깨관절의 관절가동범위를 측정하였고, 본 연구는 엉덩관절의 관절가동범위를 측정하였다. 두 연구 모두 신뢰할 만한 수준의 결과를 도출한 것으로 보아

스마트폰을 이용한 관절가동범위 측정이 각도계를 대체할 수 있을 것이라고 생각된다.

정상인의 엉덩 관절 가동범위 측정에 스마트폰을 사용한 Charlton 등(2014)의 연구에 의하면 측정자 내 신뢰도는 수동 벌림(ICC=0.68)과 수동 바깥 돌림(ICC=0.63)을 제외하고는 비교적 높은 신뢰도 수준을 보여주었는데(ICC>0.84) 이는 엉덩관절 수술 환자를 대상으로 한 본 연구에서도 수동 벌림(ICC=0.79) 수동 바깥 돌림(ICC=0.79)의 신뢰도가 다른 측정값들(ICC>0.80) 보다 낮게 나온 결과와 일치한다. 두 연구 모두 수동 벌림에서 다소 신뢰도가 낮게 나온 것은 스마트폰 어플리케이션으로 바로 누운 자세에서 엉덩관절 벌림을 측정하기가 불가능하기 때문에 옆으로 누운 자세나 선 자세에서 측정할 수 밖에 없다. 이 때 측정자가 수동적으로 자세를 고정하고 한 손으로 환자를 고정하고 다른 한 손으로 측정해야 하므로 신뢰도가 낮게 나온 것으로 생각된다. 또한 엉덩관절 수동 바깥 돌림은 두 연구 모두 앉은 자세에서 측정하였는데 바깥 돌림 시 측정하는 다리가 측정하지 않는 다리와 부딪히면서 측정값들의 오차가 발생된 것으로 생각된다. 그러나 본 연구에서는 엉덩관절 능동 벌림(ICC=0.83)과 능동 바깥 돌림(ICC=0.91)에서는 수동 측정 시 보다 다소 높은 신뢰 수준을 보여주었는데 이는 두 자세에서 스마트폰 관절가동범위 측정이 수동 보다는 능동 관절가동 범위 측정에서 상대적으로 유리할 수 있음을 보여준다.

타당도란 그 도구가 측정하고자 하는 것을 정확하게 측정하는가에 대한 평가이다(Portney 등, 2000). 상관성의 정도는 상관계수 값에 따라 그 관계를 매우 높은(exc

ellent) 상관관계(≥ 0.90), 높은(good) 상관관계(0.90-0.71), 양호한(moderate) 상관관계(0.70-0.50), 보통의(fair) 상관관계(0.50-0.30), 그리고 상관관계가 없다(little or none)(≤ 0.30)로 나타낸다(Fermanian, 1984). 본 연구에서는 스마트폰과 각도계의 상관계수는 엉덩관절의 능동 굽힘, 수동 굽힘, 능동 바깥돌림에서 매우 높은 상관관계를 보였고(≥ 0.90), 능동 벌림, 수동 벌림, 수동 바깥돌림에서 높은 상관관계(0.90-0.71)를 보였다. 이 결과는 스마트폰이 관절가동범위를 측정하기에 타당한 측정도구라는 것을 나타낸다. 또한 본 연구에서 스마트폰의 측정자간 신뢰도가 각도계의 측정자간 신뢰도보다 다소 높은 신뢰수준을 보였는데 이는 본 연구에서 사용된 스마트폰의 거치대와 이중 스트랩을 이용하여 스마트폰이 잘 고정되었고, 안테나를 이용하여 스마트폰이 랜드마크(landmark)의 가상선에 잘 위치되었기 때문이라 생각된다.

각도계를 사용하여 측정 시 측정자가 숙련된 사람이라 하여도 작고, 촘촘한 눈금자의 눈금을 읽는 시간이 필요한데 스마트폰을 사용할 경우 실시간으로 표시되는 각도를 숫자로 간단하게 읽을 수 있어 편의성이 증대될 수 있다. 또한 각도계를 사용 시 고정자와 이동자를 측정자가 이동시켜야 하고 그 과정에 고정자와 이동자의 고정된 지점이 변화되기 쉬워 정확한 측정에 불편함을 초래할 수 있다. 특히 수동 관절 가동범위 측정 시 환자의 상, 하지를 움직이면서 각도계를 움직여야 하기 때문에 한 사람의 측정자가 동시에 이러한 작업을 하기에는 관절에 따라 상당한 불편함이 많다. 또한 통증이 있는 환자의 경우 통증으로 인해 측정범위가 감소되어 측정 시 마다 오차가 발생될 것으로 생각된다. 하지만 스마트폰을 이용하여 측정 시 간단한 스트랩으로 부착할 경우 수동 범위 측정 시, 환자의 상, 하지를 이동시키면 측정값이 자동으로 추출되어 측정값을 읽기 쉽고 통증으로 인한 측정범위의 오차를 감소시킬 수 있기 때문에 기존 각도계에 비해 이득이 많을 것으로 생각된다.

본 연구에서 사용한 스마트폰의 어플리케이션(Clinometer-level and slope finder)은 기울기와 경사도를 측정하는 데 용이하였다. 그러나 경사 측정 시 45도 이하로

스마트폰이 수평으로 기울어질 경우 경사 측정모드에서 기울기 측정모드로 자동으로 변환된다는 단점이 있었기 때문에 관절가동 범위 측정 자세 선정이 기존 각도계에 비해 어려운 단점이 있었다. 그리고 각도가 숫자로 표시되어 측정값을 읽기 쉽다는 장점은 있었지만, 스마트폰 자체의 크기가 있기 때문에 손이나 발과 같은 작은 관절의 측정은 다소 어려운 점이 있을 것이라 사료된다.

대중적으로 많이 보급되어 있는 스마트폰이 관절가동범위를 신뢰성 있게 측정할 수 있다면 병원뿐만 아니라 개개인이 집에서 운동프로그램을 수행하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다. 스마트폰이 측정도구로서의 신뢰도를 얻기 위해 앞으로의 연구에서 환자를 대상으로 더 다양한 관절의 신뢰도 연구가 뒷받침되어야 할 것이다. 또한 어플리케이션의 업그레이드를 통하여 수직면에서만 뿐 아니라 다양한 각도에서 관절가동범위를 측정하기 위한 업그레이드 버전이 출시되어야 할 것이다.

V. 결 론

본 연구는 25명의 엉덩관절 수술 환자들을 대상으로 스마트폰을 이용하여 엉덩관절의 굽힘, 벌림, 바깥돌림에 대한 측정자간, 측정자내 신뢰도와 타당도를 알아보기 위해 시행되었다. 그 결과 측정자내 신뢰도는 0.78이상의 값을 보였고, 측정자간 신뢰도는 매우 높은 신뢰수준을 보였다($ICC > 0.90$). 또한 타당도는 상관계수가 0.85이상으로 높은 수준의 유의한 양의 상관관계를 보여주었다. 따라서 엉덩관절 관절가동범위 측정도구의 하나로 스마트폰 사용을 충분히 고려할 수 있을 것으로 사료된다.

References

- Bedekar N, Suryawanshi M, Rairikar S, et al. Inter and intra-rater reliability of mobile device goniometer in measuring lumbar flexion range of motion. *J Back Musculo skelet Rehabil.* 2014;27(2):161-6.
- Biema-Zeinstra SM, Bohnen AM, Ramlal R, et al. Comparison between two devices for measuring hip joint motions. *Clin Rehabil.* 1998;12(6):497-505.
- Charlton PC, Mentiplay BF, Pua YH, et al. Reliability and concurrent validity of a Smart phone, bubble inclinometer and motion analysis system for measurement of hip joint range of motion. *J Sci Med Sport.* 2015;18(3):262-7.
- Cools AM, De Wilde L, Van Tongel A, et al. Measuring shoulder external and internal rotation strength and range of motion: comprehensive intra-rater and inter-rater reliability study of several testing protocols. *J Shoulder Elbow Surg.* 2014;23(10):1454-61.
- De Winter AF, Heenskerk MA, Terwee CB, et al. Inter-observer reproducibility of measurements of range of motion in patients with shoulder pain using a digital inclinometer. *BMC Musculoskelet Disord.* 2004;14(5):18.
- Fermanian J. Measuring agreement between 2 observers: A quantitative case. *Rev Epidemiol Sante Publique.* 1984;32(6):408-13.
- Green S, Buchbinder R, Forbes A, et al. A standardized protocol for measurement of range of movement of the shoulder using the Plurimeter-V inclinometer and assessment of its intra-rater and inter-rater reliability. *Arthritis Care Res.* 1998;11(1):43-52.
- Holm I, Bolstad B, Lutken T, et al. Reliability of goniometric measurements and visual estimates of hip ROM in patients with osteoarthritis. *Physiother Res Int.* 2000;5(4):241-8.
- Hoving JL, Buchbinder R, Green S, et al. How reliably do rheumatologists measure shoulder movement? *Ann Rheum Dis.* 2002;61(7):612-6.
- Johnston RC, Fitzgerald RH, Harris WH, et al. Clinical and radiographic evaluation of total hip replacement. A standard system of terminology for reporting results. *J Bone Joint Surg Am.* 1990;72(2):161-8.
- Kolber MJ, Vega F, Widmayer K, et al. The reliability and minimal detectable change of shoulder mobility measurements using a digital inclinometer. *Physiother Theory Pract.* 2011;27(2):176-84.
- Lea RD, Gerhardt JJ. Range-of-motion measurements. *J Bone Joint Surg Am.* 1995;77(5):784-98.
- Milanese S, Gordon S, Buettner P, et al. Reliability and concurrent validity of knee angle measurement: Smart phone app versus universal goniometer used by experienced and novice clinicians. *Man Ther.* 2014;19(6):569-74.
- Portney LG, Watkins MP. *Foundations of Clinical Research: Applications to Practice*(2nd ed). New Jersey. Prentice Hall. 2000.
- Quek J, Brauer SG, Treleaven J, et al. Validity and intra-rater reliability of an android phone application to measure cervical range-of-motion. *J Neuroeng Rehabil.* 2014;11:65.
- 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.
- 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.
- Wu W, Dasgupta S, Ramirez EE, et al. Classification accuracies of physical activities using smartphone motion sensors. *J Med Internet Res.* 2012;14(5):e130.