

## 스마트폰 경사계를 사용한 엉덩관절 가동범위의 측정 신뢰도 연구

양희송<sup>1</sup> · 정찬주 · 유영대 · 배세현<sup>2\*</sup>  
<sup>1</sup>청암대학교 물리치료과, <sup>2\*</sup>동신대학교 물리치료학과

### Reliability Study of Hip Range of Motion Measurement by Smartphone Inclinometer

Yang Hoesong, PT, Ph.D<sup>1</sup> · Jeong Chanjoo, PT, Ph.D · Yoo Youngdae, PT, Ph.D  
Bae Seahyun, PT, Ph.D<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>*Dept. of Physical Therapy, Cheongam College*  
<sup>2\*</sup>*Dept. of Physical Therapy, Dongshin University*

#### Abstract

**Purpose** : The purpose of this study was to evaluate inter-tester reliability and Intra-tester reliability about range of motion(ROM) measurement of hip joint with smartphone inclinometer.

**Method** : Six observers performed goniometric and smartphone inclinometer measurements of various hip movements, including both active ROM for flexion, extension, external rotation, internal rotation. Measurements were performed in the right hip of fifty normal subjects. All measures were performed three times for evaluating reliability of observer. Inter- and intra-observer reliabilities were evaluated using the intraclass correlation coefficient(ICC).

**Result** : The results were as follows, inter-observer reliability ICC value showed .948-.974 in smartphone inclinometer. And showed .781-.827 in goniometer. Intra-observer reliability ICC value showed .653-.992 in smartphone inclinometer. And showed .613-.854 in goniometer.

**Conclusion** : Smartphone inclinometer are portable and widely available tools that are mostly reliable and valid for assessing active hip range of motion, with potential use when a goniometer is not available.

---

**Key Words** : goniometer, hip joint range of motion, reliability, smartphone inclinometer

\*교신저자 :

배세현 qbseadp@naver.com, 061-330-3632

논문접수일 : 2016년 5월 10일 | 수정일 : 2016년 6월 10일 | 게재승인일 : 2016년 6월 23일

## I. 서론

엉덩관절(hip Joint)은 절구모양의 골반과 둥근 공 모양의 넓다리뼈 머리가 볼기뼈의 절구오목에 연결되어 이루는 관절이다. 양쪽에 각각 하나씩 총 2개가 있고 상체를 통해 전달되는 체중을 지탱하고 보행과 달리기 등 다리의 운동이 다양하고 자유롭게 일어날 수 있도록 해주는 역할을 하고 있다. 볼-소켓 형태로 구성되어 있는 엉덩관절 주위에는 질긴 섬유조직의 인대가 뼈의 정렬이 어긋나지 않도록 고정하여 안전성이 뛰어나다(고재문 등, 2009).

인체 분절의 운동은 관절을 중심으로 외부의 힘 또는 근 수축에 의해 일어나는 뼈의 움직임이다. 이러한 운동은 굽힘, 폼, 벌림, 모음, 안쪽돌림, 가쪽돌림과 같은 용어들로 설명된다(채운원 등, 2009).

관절의 구조는 관절주변 연부조직의 유연성과 완전성, 두 뼈 사이에서 일어나는 모든 움직임에 영향을 준다. 이때 일어나는 완전한 움직임의 범위를 정상관절가동범위라 한다. 관절가동범위(Range of motion, ROM)는 관절범위와 근육범위의 상태를 가장 잘 나타낸다(박흥기 등, 2003). 따라서, 관절가동범위 측정은 환자의 평가에 있어서 중요한 평가이므로 환자의 성공적인 치료와 정밀한 평가를 위해 사용된다(de Winter 등, 2004).

또한, 임상에서 제한된 관절가동범위는 일반적 손상에 해당된다. 다양한 병리학 또는 손상은 제한된 관절가동범위의 결과로 볼 수 있으며 현재 정상 관절운동범위의 기능제한과 적절한 제한 치료를 위한 유효하고 신뢰성 있는 도구가 필요하다(Hyuk 등, 2006). 관절의 운동범위를 측정 및 평가하기 위한 방법으로는 시각적 측정, 고니오미터, 디지털 경사계 등을 사용하며 임상에서는 일반적으로 고니오미터를 사용한다(Hoving 등, 2002).

관절 운동범위의 측정은 측정도구의 신뢰도와 검사자간, 검사자내 신뢰도에 의해 주로 평가된다. 따라서 시행 오류를 줄이기 위해서 숙련된 평가자가 정해진 자세에서 같은 기술로 같은 시점에서 측정하는 것을 권하고 있다(Gajdosik & Bohannon, 1987).

최근 새로운 관절 운동 범위측정기구가 등장하고 있다. 이러한 기구들은 일반적으로 쓰이고 있는 고니오미터에 비해 비싼 가격과 임상에서 쉽게 쓸 수 없다는 단점을 가지고 있다(김경훈 등, 2006). 또한, 새로운 관절 운동 범위 측정 기구는 다양한 안정성 비교분석이 보고되지 않았다(Hyuk 등, 2006).

최근 스마트폰은 자이로스코프 기능을 갖추고 있어 다양한 경사측정(Inclinometric)기능을 수행할 수 있다. 스마트폰 경사계는 스마트폰의 자이로스코프 기능을 이용한 응용프로그램이다. 스마트폰 경사계는 임상에서 관절 운동범위를 측정하는데 있어 사용의 간편성과 낮은 비용을 이유로 검사자가 쉽게 접근할 수 있는 측정도구이다. 스마트폰 경사계는 고니오미터 측정방법과 비슷하며 단점을 극복하기 위해 제안되었으며 취급 용이성이 뛰어나다(Shin 등, 2012). 또한 우리나라의 스마트폰 사용자는 60 %를 넘어서면서 빠르게 성장하고 있다. 이러한 스마트폰을 활용하여 치료사나 환자들이 쉽고 간편하게 관절운동 범위를 측정하여 데이터화 하여 치료에 활용 할 수 있을 것이다. Shin 등(2012)은 스마트폰 경사계와 고니오미터가 비슷한 신뢰성을 가진다고 보고하였다. 그러나 환자의 상지(어깨)라는 관점에서만 연구 했다는 점에 국한된다. 따라서 본 연구는 스마트폰 경사계가 임상에서 상지뿐만 아니라 하지에서도 고니오미터를 대안할 수 있는지 알아보고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상

본 연구는 C대학교에 재학 중인 학생 남녀 50명을 대상으로 연구를 실시하였다. 대상자는 엉덩관절의 감염, 수술이나 외상과 같은 질병 병력이 없고, 최근 1개월 동안 엉덩관절의 무리한 활동을 하지 않았으며 본 연구에 대해 이해하고 참여에 동의한 자로 선정하였다. 대상자의 일반적 특징은 표 1에 나타났다.

표 1. 연구 대상자의 일반적 특징

성별(남/여)(n=50)	나이(years)	체중(kg)	신장(cm)
	M±SD	M±SD	M±SD
21/29	22.50±5.23	59.23±10.31	169.26±5.62

평균±표준편차

## 2. 측정도구

본 연구에 사용되는 고니오미터(Baseline CE, U.S.A)는 두 팔 고니오미터로 360~1°까지 표시되어 있으며, 임상에서 일반적으로 ROM을 측정하는 데 사용되는 장비이다(김경훈, 2006)(그림 1-A). 경사계 어플(Clinometer-level and slope finder, Plaincode Software Solutions, Stephanskirchen, Germany)은 스마트폰 LG-F160L 기종에 장착하여 사용하였다(그림 1-B).



그림 1-A



그림 1-B

## 3. 측정방법

모든 측정은 능동관절운동(Active-ROM)을 통해 측정되었고, 검사자의 신뢰성을 평가하기 위해 3번씩 시행하였다. 대상자는 검사자 6명에 의해 측정을 받은 후 매번 10분의 쉬는 시간을 가졌으며 검사자는 서로 상의 없이 실시하여 다른 검사자의 결과를 알지 못하게 실시하였다.

각 측정 동안 고니오미터 측정은 스마트폰 경사계로

측정 전에 실시하여 편견을 제거한 상태에서 측정값을 얻었다. 검사자는 측정방법과 측정 장비에 대한 사용법을 숙지하고 일주일간 측정 장비를 이용하여 충분한 측정연습을 실시하였다. 검사자간의 측정순서는 제비뽑기를 통한 무작위 선정방법을 이용하여 결정 하였다. 검사자간 신뢰도는 무작위 선정방법을 통해 결정 된 순서로 6명의 검사자가 각각 측정하여 구하였고, 검사자내 신뢰도는 한 검사자가 3회 반복 측정하여 구하였다. 측정 동작은 Norkin과 White(2003)의 방법을 따라 대상자의 오른쪽 엉덩관절 굽힘(Hip Flexion, Hip Flx.), 엉덩관절 펴기(Hip Extension, Hip Ext.), 엉덩관절 안쪽돌림(Hip Internal rotation, Hip I/R), 엉덩관절 가쪽돌림(Hip External rotation, Hip E/R) 총 4동작을 측정하였다.

### 1) 스마트폰 경사계

스마트폰 경사계를 통한 Hip Flx. 측정은 바로 누운 자세에서 넓다리뼈 대전자의 하방 15cm 부분에 스마트폰 경사계를 부착시켜 시행하였다. 측정 동작은 골반을 고정시키고 무릎관절을 굴곡 시키며 몸쪽으로 끌어올리도록 하였다(그림 2). Hip Ext. 측정은 엎드려 누운 자세에서 스마트폰 경사계를 Hip Flx.과 같이 넓다리뼈 큰돌기의 하방 15cm 부분에 부착시켜 시행하였다. 측정 동작은 골반을 고정시키고 무릎을 편 상태에서 다리를 수직으로 들어 올리도록 하였다(그림 3). Hip I/R 측정은 걸터앉은 자세에서 스마트폰 경사계를 무릎뼈 바로 아래 정강뼈 상부에 부착시켜 시행하였다. 측정동작은 골반과 넓다리뼈를 고정시킨 후 정강뼈를 체간 바깥으로 움직이게 하였다(그림 4). Hip E/R 측정도 Hip I/R과 같이 걸터앉은 자세에서 스마트폰 경사계를 무릎뼈 바로 아래 정강뼈 상부에 부착시켜 시행하였다. 측정동작은 골반과 넓다리뼈를 고정시킨 후 정강뼈를 체간 안으로 움직이게 하였다(그림 5).



그림 2. Hip flexion 측정 A: 스마트폰 경사계, B: 고니오미터

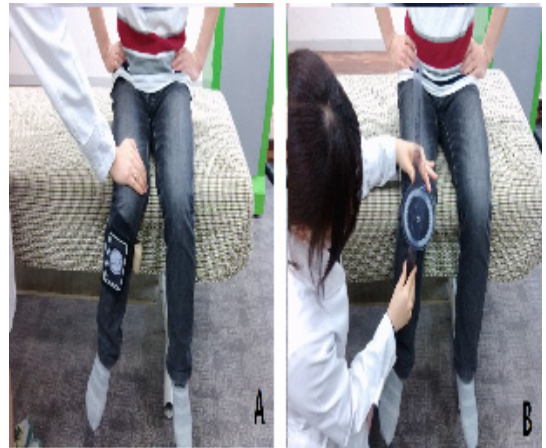


그림 4. Hip internal rotation 측정 A: 스마트폰 경사계, B: 고니오미터



그림 3. Hip extension 측정 A: 스마트폰 경사계, B: 고니오미터



그림 5. Hip external rotation 측정 A: 스마트폰 경사계, B: 고니오미터

## 2) 고니오미터

고니오미터를 통한 측정은 스마트폰 경사계 측정 동작과 동일하며 중심축, 고정팔, 운동팔은 다음과 같다. Hip Flx. 고니오미터의 중심축은 넓다리뼈 큰돌기, 고정팔은 체간과 평행하게, 운동팔은 넓다리뼈 바깥쪽 중심에 위치하게 하였다. Hip Ext.은 Hip Flx.과 동일하다. Hip I/R 고니오미터의 중심축은 무릎뼈, 고정팔은 정강뼈능선, 운동팔은 정강뼈능선에 위치하게 하였다. Hip E/R은 Hip I/R과 동일하다(그림 2-5).

## 4. 분석방법

모든 통계학적 처리는 SPSS 패키지 버전 18.0을 사용하였다. 신뢰도를 측정하기 위해 급간내 상관계수 (Intraclass correlation coefficients, ICC3,1)를 구하였다. 검사자간, 검사자내 값은 이차원 혼합 모형(two-way mixed model)을 이용하였다. 자료를 분석하여 검사자간 신뢰도와 검사자내 신뢰도를 구하였다. 검사자 내, 간 ICC값이 0.70~0.75이상일 경우 신뢰성을 가진다고 고려하였다 (Domholdt 등, 1993).

### Ⅲ. 연구결과

#### 1. 스마트폰 경사계 검사자간 신뢰도

스마트폰 경사계 측정 데이터의 검사자간 신뢰도는 동작별로 Hip Flx.은 .948, Hip Ext.은 .974, Hip I/R은 .971, Hip E/R은 .962의 결과를 나타냈다(표 2).

#### 2. 고니오미터의 검사자간 신뢰도

고니오미터 측정 데이터의 검사자간 신뢰도는 동작별로 Hip Flx.은 .827, Hip Ext.은 .781, Hip I/R은 .804, Hip E/R은 .807의 결과를 나타냈다(표 2).

표 2. 검사자간 신뢰도

측정도구	동작	급내 상관계수	95% 신뢰구간	
			하한값	상한값
스마트폰 경사계	Hip Flx.	.948	.935	.959
	Hip Ext.	.974	.967	.980
	Hip I/R	.971	.964	.978
	Hip E/R	.962	.952	.970
고니오 미터	Hip Flx.	.827	.788	.862
	Hip Ext.	.781	.735	.824
	Hip I/R	.804	.761	.843
	Hip E/R	.807	.765	.845

엉덩관절 굽힘(Hip Flx.), 엉덩관절 펴기(Hip Ext.), 엉덩관절 안쪽돌림(Hip I/R), 엉덩관절 가쪽돌림(Hip E/R)

#### 3. 스마트폰 경사계 검사자내 신뢰도

스마트폰 경사계 측정 데이터의 검사자내 신뢰도는 동작별로 Hip Flx.은 .653, Hip Ext.은 .992, Hip I/R은 .953, Hip E/R은 .933의 결과를 나타냈다(표 3).

#### 4. 고니오미터의 검사자내 신뢰도

고니오미터 측정 데이터의 검사자내 신뢰도는 동작별로 Hip Flx.은 .603, Hip Ext.은 .613, Hip I/R은 .854, Hip E/R은 .713라는 결과를 나타냈다(표 3).

표 3. 검사자내 신뢰도

측정도구	동작	급내 상관계수	95% 신뢰구간	
			하한값	상한값
스마트폰 경사계	Hip Flx.	.653	.599	.704
	Hip Ext.	.992	.990	.993
	Hip I/R	.953	.943	.961
	Hip E/R	.933	.920	.945
고니오 미터	Hip Flx.	.603	.544	.659
	Hip Ext.	.613	.566	.671
	Hip I/R	.854	.826	.878
	Hip E/R	.713	.666	.757

엉덩관절 굽힘(Hip Flx.), 엉덩관절 펴기(Hip Ext.), 엉덩관절 안쪽돌림(Hip I/R), 엉덩관절 가쪽돌림(Hip E/R)

#### IV. 고 찰

본 연구에서는 스마트폰 경사계를 이용하여 엉덩관절 ROM을 측정하였다. 스마트폰 경사계를 측정할 때 신뢰성에 영향을 미치는 많은 요인들이 있다. 선행연구에서는 측정하고자 하는 움직임의 복잡성, 측정 부위의 다양성, 능동적 움직임인지, 수동적 움직임인지, 같은 검사자에 또는 다른 검사자에 의해 행해지는 것인지 등 여러 요인에 따라 달라질 수 있다고 하였다(Stratford 등, 1984).

본 연구에서는 신뢰성에 영향을 줄 수 있는 자세, 측정위치, 시간 등의 요인들을 통제하여 검사자간, 검사자내의 신뢰성을 구하였다. 대상자가 같은 동작을 각 검사자들에 대해 여러 번 반복하므로 시간이 지날수록 관절 운동범위의 변화가 있을 수 있다(Shin 등, 2012). 이 요인은 검사자간에 신뢰도를 저하시키는 원인이 되므로, 이를 방지하기 위해서 10분간의 휴식기를 가지고 3번 반복 측정했다. 스마트폰 경사계의 수평에서의 측정불가로 인해 엉덩관절의 모음, 벌림은 측정하는데 한계가 있어, 이 연구에서는 엉덩관절 움직임 Hip Flx, Hip Ext, Hip I/R, Hip E/R으로 총 4개를 측정하였다.

각 관절별 검사자간 신뢰도를 급간내 상관계수로 분석한 결과는 위에 제시된 표1, 2와 같다. 분석에는 급내 상관계수(Intraclass Correlation Coefficient, ICC)를 이용하였다(Van den Beld 등, 2006). 이러한 급내 상관계수는 0에서 1사이의 범위에 있으며, 구한 값이 .750 이상이면 신뢰도가 좋은 것이라 판단하고 값이 .750 이하인 경우에는 신뢰도가 중중도라 할 수 있다(이충휘 등, 2002). Domholdt(1997)는 급내 상관계수 값을 5단계로 분류하였는데 값이 1~.900의 경우를 신뢰도가 “매우 높다”로, .890~.700의 경우를 “높다”로, .690~.500을 “중등도”로, .490~.260 사이를 “낮다”로, .250이하를 “매우 낮다”라고 해석하였다. 본 연구에서는 더 세분화된 결과를 얻기 위해 5단계로 분류하였다.

동작별 결과를 보면 Hip Flx. 동작의 스마트폰 경사계와 고니오미터의 검사자간 신뢰도는 .896과 .827로 스마트폰 경사계는 매우 높은 신뢰도가 나타났고 고니오미터는 높은 신뢰도가 나타났다. 이에 대한 검사자내 신뢰도는 스마트폰 경사계와 고니오미터가 .653과 .603으로 두 장비 모두 중중도의 신뢰를 보이지만 스마트폰 경사계의

신뢰도가 더 높았다. Hip Ext. 동작의 스마트폰 경사계와 고니오미터의 검사자간 신뢰도는 .974와 .781로 스마트폰 경사계는 매우 높은 신뢰도가 나타났고 고니오미터는 높은 신뢰도가 나타났다. 이에 대한 검사자내 신뢰도는 스마트폰 경사계와 고니오미터가 .992와 .313으로 스마트폰 경사계는 매우 높은 신뢰도가 나타났고 고니오미터는 낮은 신뢰도가 나타났다. Hip I/R 동작의 스마트폰 경사계와 고니오미터의 검사자간 신뢰도는 .995와 .804로 스마트폰 경사계는 매우 높은 신뢰도가 나타났고 고니오미터는 높은 신뢰도가 나타났다. 이에 대한 검사자내 신뢰도는 스마트폰 경사계와 고니오미터가 .953과 .854로 스마트폰 경사계는 매우 높은 신뢰도가 나타났고 고니오미터는 높은 신뢰도가 나타났다. Hip E/R 동작의 스마트폰 경사계와 고니오미터의 검사자간 신뢰도는 .962와 .807으로 스마트폰 경사계는 매우 높은 신뢰도가 나타났고 고니오미터는 높은 신뢰도가 나타났다. 이에 대한 검사자내 신뢰도는 스마트폰 경사계와 고니오미터가 .933과 .713으로 스마트폰 경사계는 매우 높은 신뢰도가 나타났고 고니오미터는 높은 신뢰도가 나타났다.

Kolber 등(2011)은 상지에 병변이 없는 30명을 대상으로 2명의 검사자가 신뢰도 연구를 실시하였다. 그 결과 검사자간 신뢰도가 .58에서 .95, 검사자내 신뢰도가 .83에서 .94로 본 연구의 검사자간 신뢰도 .948에서 .974보다 신뢰도가 낮았고, 검사자내 신뢰도 .653에서 .992로 본 연구보다 높았다. Mullaney 등(2010)은 상지 병변 환자를 대상으로 검사자 2명이 신뢰도 연구를 실시하였다. 그 결과 경사계 검사자내 신뢰도가 .91에서 .99로 검사자간 신뢰도 .31에서 .93으로 검사자내 신뢰도가 높았다. 그러나 본 실험에서는 스마트폰 경사계 검사자간 신뢰도가 .948에서 .974로, 검사자내 신뢰도가 .653에서 .992로 검사자간 신뢰도가 더 높았다. 이러한 차이들은 연구대상자, 측정 관절 그리고 검사자의 수 차이로 발생된 것으로 생각된다.

엉덩관절은 단순관절이 아닌 복잡관절이며 또 능동적으로 움직임을 취하기 때문에 측정 시 고정되어 있어야 할 부분에서 변화를 보정하는 보상운동이 검사자간에 편차를 증가 시키는 요인으로 작용했을 가능성이 있다(Cuthbert & Goodheart, 2007). 또한, 이 연구에서 스마트폰 경사계, 고니오미터 모두 높은 신뢰도를 보이고 있으나 상대적으로 스마트폰 경사계의 신뢰도가 고니오미터보다



## 참고문헌

높게 나타났으며, 이를 통해 스마트폰 경사계에 의해 측정되어질 때가 더 높은 신뢰성을 보인다는 것을 알 수 있다. 그러므로 스마트폰 경사계로 측정된 ROM은 고니오미터와 상호 교환적으로 이용되어질 수 있다. 즉, 대용으로 쓰일 수 있다는 측면에서 의미를 부여 할 수 있다.

스마트폰 경사계를 사용하여 얻을 수 있는 장점은 다음과 같다. 고니오미터 눈금보다 스마트폰 경사계의 모니터 숫자를 보는데 익숙하기 때문에 읽기 오류를 최소화하는 것을 기대할 수 있다. 보통 고니오미터 측정을 수행하는 동안 요구되는 가상의 수직선을 설정하지 않아도 되어 에러를 최소화 할 수 있다(Shin 등, 2012). 또한, 임상에서 스마트폰 경사계에 대한 추가 공간이 필요하지 않다. 단순히 환자의 팔에 스마트폰 경사계를 부착하고, 대상자의 양 손을 자유롭게 사용하기 때문이다(Mullaney 등, 2010). 환자는 또한 집에서 자신에게 스마트폰 경사계를 부착 할 수 있어서 측정 장치가 존재하는 특정 장소를 방문 할 필요가 없다(Mullaney 등, 2010; Cadogan 등, 2011; Kolber 등, 2011). 또 다른 큰 장점은 환자가 고가의 기기를 구입할 필요 없이 ROM을 모니터링 할 수 있다는 것이다.

본 연구의 제한점은 20대 정상 성인을 대상으로 엉덩관절 만을 측정하였기 때문에 질환을 가지는 대상자에게 활용하기는 어려운 점이 있다 그러므로 추후 질환을 가지는 대상자에게 스마트 경사계를 적용하는 연구가 필요하다.

## V. 결론

스마트폰 경사계와 고니오미터로 측정된 엉덩관절 운동범위의 신뢰도를 알아 본 결과 높음에서 매우 높은 수준의 신뢰도가 보여 지므로, 스마트폰 경사계를 이용한 관절 운동범위 측정값은 고니오미터와 상호 교환적으로 이용되어질 수 있을 것이다. 추후 연구에는 환자를 대상으로 스마트폰 경사계를 적용한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

- 고재문, 구자영, 심재환 등(2009). 사람해부학. 서울, 현문사, pp.166-167.
- 김경훈, 이해동, 이성철(2006). 하지 관절 운동범위에 대한 고니오미터 측정이 가지는 신뢰성. 한국체육측정평가학회지, 8(2), 13-25.
- 박흥기, 김근조, 주무열(2003). 한국인의 고관절 회전 가동 범위의 측정 및 비교 고찰. 대한정형물리치료학회지, 9(1), 39-52.
- 이충휘(2005). 물리치료사와 작업치료를 위한 연구방법론. 서울, 계축문화사. pp.395.
- 채운원, 유환석, 김경윤 등(2009). 근골격계의 구조와 기능: 인체운동학. 서울, 현문사, pp.275-277.
- Cadogan A, Laslett M, Hing W, et al(2011). Reliability of a new han-held dynamometer in measuring shoulder range of motion and strength. Man Ther, 16(1), 97-101.
- Cuthbert SC, Goodheart GJ Jr(2007). On the reliability and validity of manual muscle testing: a literature review. Chiropr Osteopat, 15(4), doi: 10.1186/1746-1340-15-4.
- de Winter AF, Heemskerk MA, Terwee CB, et al(2004). Inter-observer reproducibility of measurements of range of motion in patients with shoulder pain using a digital inclinometer. BMC Musculoskelet Disord, 5(18), doi:10.1186/1471-2474-5-18.
- Domholdt E(1993). Physical therapy research: Principles and applications. Philadelphia, WB Saunders.
- Gajdosik RL, Bohannon RW(1987). Clinical measurement of range of motion. Review of goniometry emphasizing reliability and validity. Phys Ther, 67(12), 1867-1872.
- Hoving JL, Buchbinder R, Green S, et al(2002). How reliably do rheumatologists measure shoulder movement?. Ann Rheum Dis, 61(7), 612-616.
- Hyuk B, Kim SW, Kim KS, et al(2006). Comparison of inclinometer with universal goniometer in evaluating cervical and lumbar spine and shoulder range of motion.

- The Acupuncture, 23(1), 15-23.
- Kolber MJ, Vega F, Widmayer K, et al(2011). The reliability and minimal detectable change of shoulder mobility measurements using a digital inclinometer. *Physiother Theory Pract*, 27(2), 176-184.
- Mullaney MJ, McHugh MP, Johnson CP, et al(2010). Reliability of shoulder range of motion comparing a goniometer to a digital level. *Physiother Theory Pract*, 26(5), 327-333.
- Norkin C, White D(2003). *Measurement of joint motion: a guide to goniometry*. 3<sup>rd</sup> ed, Philadelphia, Pennsylvania: F.A. Davis Co.
- Shin SH, Ro DH, Lee OS, et al(2012). Within-day reliability of shoulder range of motion measurement with a smartphone. *Man Ther*, 17(4), 298-304.
- Stratford P, Agostino V, Brazear C, et al(1984). Reliability of joint angle measurements: A discussion of methodology issues. *Physiother Can*, 36, 5-9.
- van den Beld WA, van der Sanden GA, sengers RC, et al(2006). Validity and reproducibility of hand-held dynamometry in children aged 4-11 years. *J Rehabil Med*, 38(1), 57-64.