

고관절 내외회전 가동범위 검사에 대한 범용플라스틱 측각기의 동시타당도와 임상적 유용성

김용욱[†]

전주대학교 의과대학 물리치료학과

Concurrent Validity and Clinical Usefulness of Universal Plastic Goniometer for Hip Internal and External Rotation Range Measurement

Yong-Wook Kim, PhD, PT[†]

Dept. of Physical Therapy, College of Medical Sciences, Jeonju University

Received: January 10, 2018 / Revised: January 14, 2018 / Accepted: February 7, 2018

© 2018 J Korean Soc Phys Med

| Abstract |

PURPOSE: The aim of this study was to evaluate the concurrent validity and clinical usefulness of the universal plastic goniometer to measure the range of motion of the internal and external rotation of the hip joint using the three dimensional motion analysis which can analyze the joints and segment movements in the most objective and quantitative method.

METHODS: Clinical and kinematic data were collected from thirty individuals using a universal plastic goniometer and a ten camera motion analysis system. Passive hip rotation range was obtained three trials for left and right hip joints using two measure methods simultaneously.

RESULTS: There were significant differences between all matching measures of the two measures of internal and external rotation of the hip joint ($p < .05$). The relationship between the two tests for all measurements of the internal and external rotation of the hip was statistically significant with correlation coefficient form $r = .87$ to $.96$. ($p < .01$).

CONCLUSION: Clinical measurement of the internal and external rotation of the hip using a universal plastic goniometer is effective to assess the hip condition. However, application of universal plastic goniometer requires careful attention in more accurate evaluation and research verification of the internal and external rotation of hip joint.

Key Words: 3D motion analysis, Goniometry, Hip joint, Range of motion

[†]Corresponding Author : Yong-Wook Kim
ptkim@jj.ac.kr, <http://orcid.org/0000-0002-0311-9766>

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.

I. 서론

고관절 내외회전의 정상적 가동범위는 척추, 골반 및 하지의 이상적인 정렬과 보행과 같은 일상적 동작을

위해 매우 중요한 역할을 한다(Dujardin 등, 1995; Watelain 등, 2001). 고관절 내회전과 외회전의 정상적 가동범위는 각각 약 45°이며, 전체 고관절의 회전 가동범위는 연령과 성별에 따라 약간의 차이가 있으나 약 90°~100°로 알려져 있다(Cibulka, 2004). 전체 고관절 내외회전 가동범위의 비정상적 감소 혹은 증가와 고관절 내외회전 가동범위 사이의 불균형은 넓다리뼈머리의 과도한 전방전위(anteversion) 혹은 후방전위(retroversion)를 일으키며, 전체 고관절치환술(total hip replacement)과 같은 고관절 성형술의 원인이 되기도 한다(Akiyama 등, 2016; Kouyoumdjian 등, 2012; Shoji 등, 2015). 고관절 내외회전의 가동범위 불균형에 영향을 미치는 요인은 고관절 내외회전 근육의 길이 차이와 골격계 문제 등을 들 수 있으며, 대부분의 원인이 습관적이고 반복적인 비정상적 앉기, 서기 및 눕기 등의 비정상적 자세와 보행에서 기인한다(Cibulka, 2004; Nyland 등, 2004).

고관절 가동범위의 정확한 검사를 목적으로 신뢰도와 타당도를 검증한 측정법들은 범용 플라스틱 측각기(universal plastic goniometer; UPG)를 이용하는 방법(Cibulka 등, 2010; Kim 등, 2018; Kouyoumdjian 등, 2012; Nussbaumer 등, 2010), 경사계(inclinometer)를 이용하는 방법(Krause 등, 2015; Bagwell 등, 2016), 비디오 촬영법(Damsted 등, 2015; Norris와 Olson, 2011) 등이 있다. 이 중 UPG를 이용한 가동범위의 측정은 검사 시간과 장소의 제한이 거의 없으며, 평가비용 면에서 효율성이 높아 임상에서 가장 선호하는 검사이다. 그러나, UPG를 사용한 고관절 내외회전의 가동범위 검사에 대한 임상적 유용성과 타당성을 검증한 연구는 드물고, UPG 검사의 신뢰도와 타당도를 검증한 연구에서도 긍정적인 결과를 보고한 연구(Holm 등, 2000; Grossman 등, 2008)와 부정적인 결과를 보고한 연구(Clapper와 Wolf, 1988; Nussbaumer 등, 2010)가 서로 다른 결과를 보고하고 있는 실정이다. 또한 고관절 내외회전 가동범위에 대한 UPG 검사의 임상적 유용성과 동시타당도를 알아본 대부분의 연구가 경사계나 2차원 이하의 측정 장비를 이용하여 검증한 경우가 대부분이었다(Bierma-Zeinstra 등, 1998; Bagwell 등, 2016; Roach 등, 2013).

이처럼 고관절 내외회전의 정상적 가동범위의 정량

적이고 객관적인 측정은 고관절의 상태를 평가하는데 임상적에서 매우 중요한 의미가 있으나 대부분의 측정법이 UPG 방법에 의존하고 있어 이에 대한 타당도와 임상적 유용성을 명확히 검증하는 것이 필요하다. 따라서 본 연구의 목적은 관절과 분절의 움직임을 가장 객관적이고 정량적으로 분석하는 것으로 알려진 3차원 동작분석(3D motion analysis; 3DMA)을 사용하여 UPG방법의 고관절 내외회전의 가동범위 측정에 대한 동시타당도와 임상적 유용성을 알아보고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상자

본 연구는 건강상태가 양호한 성인 남자 22명과 여자 8명으로 총 30명의 연구대상자로 진행하였다. 모든 연구대상자에게 실험의 내용 및 과정 등을 상세히 설명하였고, 이를 듣고 대상자들이 연구에 자발적으로 참여하는데 동의하였으며 서면동의서를 제출하였다. 본 연구의 대상자 제외기준은 고관절 가동범위를 검사하기 어려운 정도의 신경계, 근골격계 혹은 호흡순환계통의 기능장애가 있는 자로 하였다. 본 연구는 연구윤리규정에 관한 헬싱키 선언의 원칙을 준수하였으며, 영국 센트럴 랭카셔대학교 연구윤리위원회의 연구 승인(STEMH 347) 하에 진행되었다.

2. 측정도구

고관절 내외회전에 대한 수동적 관절가동범위의 3DMA를 위한 측정 장비로 Qualisys Motion Capture 시스템(Qualisys, Gothenburg, Sweden)을 사용하였다. 본 연구에 사용된 Qualisys 시스템은 10대의 적외선 카메라(Oqus-7, Qualisys, Gothenburg, Sweden)를 연동시켜 실시간으로 동작을 분석하도록 구성되었다. 카메라를 통해 얻어진 관절가동범위에 대한 생체역학적 측정값은 중앙컴퓨터의 자료 처리 소프트웨어(QTM software, Qualisys, Gothenburg, Sweden)로 보내져 저장되었다. 3DMA 시스템의 보정(calibration)과 실험실 공간 좌표의 초기설정(lab origin)을 위해 T자형 750 mm 보정막대



Fig. 1. Measures of passive hip rotation range of motion using a plastic goniometer and cameras with fixations of the pelvic area.

가 사용되었으며, 적외선 카메라의 표본화 비율 (sampling rate)은 100 Hz이었다. 고관절의 내외회전 관절가동범위의 임상적 측정 도구로 12인치 UPG를 사용하였다.

3. 측정방법

고관절 내외회전의 수동적 관절가동범위를 측정하기 위해 연구대상자를 검사대에 엎드려 누운 자세를 취하도록 하였다(Fig. 1). 이 자세에서 피검자의 무릎을 90°로 구부리고 이완하도록 요청한 후 검사자가 하퇴를 수동적으로 움직여 생체역학 및 임상적 고관절 내외회전의 가동범위를 동시에 측정하였다. 골반 움직임을 방지하기 위해 천골부위를 스트랩으로 고정하였으며, 오른쪽과 왼쪽의 고관절 내회전과 외회전에 대한 관절가동범위는 각각 3회 측정하였고, 그 평균값을 통계 분석에 사용하였다. UPG의 측정은 대학병원에서 13년의 임상경력을 가진 치료사에 의해 시행되었으며 오른쪽과 왼쪽 고관절에 대한 가동범위 측정은 무작위 순서로 진행하였다.

관절가동범위에 대한 생체역학적 동작분석 측정을 위해 수정된 하퇴모형(modified shank model)이 사용하였다(Collins 등, 2009). 이를 위해 12개의 14 mm 반사 마커(reflex marker)를 참가자의 하지에 부착하였으며, 부착위치는 수정된 하퇴모형에 따라 양측의 대퇴, 하퇴,

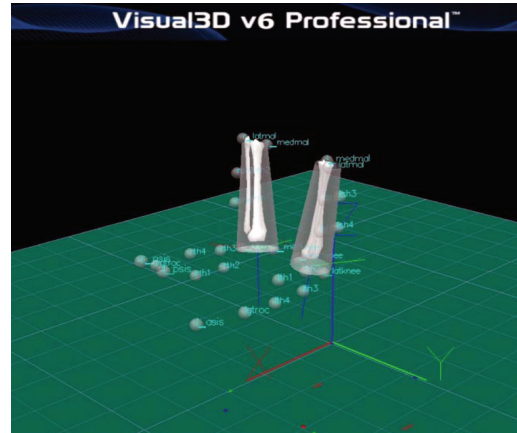


Fig. 2. Modified shank model with Calibrated Anatomical System Technique to measure hip internal and external rotation using a Visual3D program.

및 발목의 관절과 분절(segment)에 부착하였다(Fig. 2). 수정된 하퇴모형은 4개의 반사 마커를 플라스틱 판에 하나의 군집 마커(cluster marker)로 제작하여 대퇴와 하퇴의 중앙부에 부착하여 실험 중 반사 마커의 소실 및 탈착 등으로 인한 동작분석 자료의 손실을 최대한 막을 수 있어 안정적인 분석자료를 얻을 수 있는 장점이 있다(Collins 등, 2009). 대퇴 및 하퇴의 군집 마커는 분절 중앙부 부근에 위치시켜 부착하나 양쪽 분절에 카메라 인식의 혼선을 피하기 위해 오른쪽과 왼쪽 분절에 비대칭으로 위치시켜 적용하였다. 적외선 카메라로부터 1차 수집된 모든 마커의 움직임에 대한 운동학적(kinematics) 3DMA 정보는 QTM 소프트웨어를 통해 Visual3D 최종 분석을 위한 c3d 파일로 제작되었다. 각 대상자의 고관절 가동범위 동작에 대한 모든 c3d 파일은 최종적인 통계처리 자료 등을 얻기 위해 Visual3D 동작 분석 프로그램(C-Motion, Rockville, MD, USA)을 통해 처리되었다. 카메라로 수집된 운동학적 자료는 Visual3D 프로그램에서 6 Hz의 차단주파수(cut-off frequency)를 통해 저역통과필터링(low-pass filtering)되었다.

4. 분석방법

3DMA을 통한 생체역학적 측정값을 통해 UPG 측각기를 이용한 고관절 내외회전 가동범위 측정값의 임상

Table 1. Repeated measure ANOVA comparing hip rotation ranges under the test conditions and hip sides (N=30)

Variable	Level	F	p
Internal rotation (degree)	Test conditions	29.29	.00
	Hip sides	2.05	.17
	Conditions*sides	.45	.51
External rotation (degree)	Test conditions	9.50	.01
	Hip sides	10.42	.01
	Conditions*sides	.12	.73
Internal/External rotation ratio	Test conditions	31.79	.00
	Hip sides	6.99	.02
	Conditions*sides	1.51	.24

적 유용성과 동시타당도를 알아보기 위해 피어슨 상관 검정(Pearson's correlation test)을 사용하였다. 고관절 내외회전의 가동범위에 대한 좌우 측정값과 임상적, 생체 역학적 측정 방법 사이의 유의성을 검증하고자 2요인 반복측정분산분석(two-way repeated measures ANOVA)을 사용하였으며, 측정방법에 따라 대응되는 두 가지 측정치에 대한 비교는 대응표본 t 검정(paired t-test)을 사용하였다. 본 연구의 통계 분석은 SPSS window용 (version 23.0)을 사용하였으며, 유의수준(α)은 .05로 하였다.

III. 연구결과

적정 연구대상자의 표본수를 알아보기 위해 G*power 3.1을 사용하여 효과크기 .8, 검정력 .08, 유의수준 .05를 유지하는 적정 표본수는 22명으로 나타났으며, 탈락률을 고려하여 30명을 연구대상자로 선정하였다. 연구대상자의 평균 연령, 신장, 체중은 각각 30.9 ± 11.5 세, 174.2 ± 9.5 cm, 71.8 ± 12.2 Kg이었다.

반복측정 분석을 통한 고관절 내외회전의 임상적 검사와 3DMA를 활용한 생체역학적 검사 사이에서는 고관절 내외전($F=29.29$), 외회전($F=9.50$), 회전 비율($F=31.79$) 모두에서 두 검사 간 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p < .01$)(Table 1). 오른쪽과 왼쪽 고관절 사

이의 차이에서는 내외전에서는 유의한 차이가 없었으나($F=2.05$; $p > .05$), 외회전($F=10.42$; $p < .01$)과 내외회전 비율($F=6.99$; $p < .05$)에서는 유의한 차이가 있었다(Table 1). 모든 고관절 내외회전 변수에서 검사조건과 고관절 양측 사이의 상호작용에 의한 유의한 차이는 없었다($p > .05$)(Table 1).

두 가지 검사에 따른 고관절 내외회전 가동범위와 그 비율에 대한 평균값과 대응표본 t 검정에 대한 결과는 Table 2와 같다. 두 검사 사이의 고관절 내외회전의 모든 대응 변수들 간 유의한 차이가 있었다($p < .05$)(Table 2). 구체적으로 고관절 외회전에서는 3DMA 측정값이 UPG 측각기 측정값보다 유의하게 작았고, 고관절 내회전에서는 3DMA 측정값이 UPG 측각기 측정값보다 유의하게 유의하게 크게 나타났다(Table 2).

고관절 내외회전의 모든 측정값에 대한 두 가지 검사 사이의 상관관계는 상관계수가 $r = .87$ 에서 $r = .96$ 으로 두 가지 검사 사이에 통계적으로 유의한 양의 상관관계를 보였다($p < .01$).

IV. 고찰

본 연구는 근골격계의 이학적 검사상 중요한 부분을 차지하는 고관절의 내회전과 외회전의 관절가동범위

Table 2. Mean and standard deviation (SD) values of hip rotation range between tests (N=30)

Variable	Goniometer	Motion analysis	t-value	p
Right hip rotation range				
Internal Rotation (°)	45.36±13.58	38.69±12.17	4.04	.00
External Rotation (°)	39.08±12.47	42.18±11.58	-2.79	.01
Internal/External Ratio	1.29±.68	1.04±.68	3.97	.00
Left hip rotator range				
Internal Rotation (°)	41.14±13.12	36.12±13.69	3.06	.01
External Rotation (°)	44.39±11.10	47.89±11.51	-2.68	.02
Internal/External Ratio	1.00±.60	.85±.59	3.56	.00

의 측정에 있어 가장 흔히 사용되는 UPG의 임상적 유용성과 타당성을 알아보기 위해 시행되었다. 고관절은 하지와 골반대를 연결하는 중요한 해부학적 역할을 담당하며, 상체로부터 발생하는 체중을 하지로 전달할 뿐만 아니라 뛰거나 걸을 때 지면으로부터 발생하는 다양한 지면반발력(ground reaction force)을 상쇄하는 중요한 역할을 한다(Wolf 등, 2013; Rowley와 Richards, 2015). 본 연구에서는 고관절의 내외회전의 관절가동범위를 측정하는 방법으로 UPG와 3DMA를 사용하였다. UPG는 관절의 가동범위와 정렬 상태를 평가하는 임상적 평가도구로서 측정이 매우 간편하고, 평가시간과 비용 면에서 매우 효율적인 측정도구이지만 그 신뢰도와 타당도에 대해서는 서로 상반되는 보고가 많았다(Clapper와 Wolf, 1988; Grossman 등, 2008; Holm 등, 2000; Nussbaumer 등, 2010). UPG의 타당성과 임상적 유용성을 검증한 기존 연구에서 다양한 결과가 보고된 이유는 연구대상자, 측정도구, 및 측정자의 숙련도 등이 다양했기 때문으로 사료된다. 본 연구에서는 UPG의 타당도를 알아보고자 현재까지 개발된 동작분석 도구 중 가장 객관적이며 정량적인 측정이 가능한 3DMA 장비를 사용하였고, 15년 이상의 임상경력을 가진 치료사가 UPG를 통한 관절가동범위를 측정하여 임상적 유용성을 검증하였다.

본 연구의 결과 모든 고관절 내외회전 가동범위 측정값에서 검사 간 유의한 차이가 있었다(Table 1)(Table 2). 오른쪽과 왼쪽 고관절의 내회전에서 UPG와 3DMA 측정값 사이의 평균 각도 차이의 범위는 약 5.02°~6.67°

로 나타났으며, 고관절 외회전의 평균 각도 차이 범위는 약 3.1°~3.5°였다(Table 2). Nussbaumer 등(2010)은 15명의 고관절 충돌증후군(femoroacetabular impingement) 환자와 15명의 건강인을 대상으로 고관절 가동범위에 대한 UPG의 타당성과 검사-재검사 신뢰도를 검증하였다. 그들은 UPG의 타당도 검증을 위해 전자기 추적 시스템(electromagnetic tracking system; ETS)을 사용하였으며, 연구결과 모든 고관절 가동범위에서 ETS 측정값과 UPG 측각기 측정값 사이에 유의한 차이가 있었고, 차이의 범위는 약 2.0°에서 18.9°로 보고하였다(Nussbaumer 등, 2010). 이는 본 연구의 결과와 매우 유사한 결과를 보였으나, 본 연구와 비교하여 기존 연구에서 측정 도구간 측정값 차이의 범위가 더 넓게 나타난 이유는 기존연구의 연구대상자가 15명으로 비교적 적었고, 타당성을 검증하는데 사용한 측정도구의 차이, 측각기 검사자의 숙련도 차이 때문으로 사료된다. 본 연구에서 사용된 3DMA의 수정된 하퇴모델은 4개 반사마커가 하나의 클러스터를 구성하는 군집마커로 제작되어 양측 대퇴와 하퇴의 중앙부에 부착하고 고관절의 내외회전을 측정하였기 때문에 보다 정밀한 측정이 가능했다(Collins 등, 2009; Kim 등, 2018). 본 연구의 결과에서 UPG 측정값이 고관절 내회전에서 3DMA 측정값보다 높게 나타났으며, 고관절 외회전에서는 낮게 나타나 검사법에 따른 일관된 양상을 보이지는 않았다. 이는 3DMA 측정법을 기준으로 보았을 때 UPG 측정의 불안정성을 보여주는 결과로 사료된다. 고관절 내외회전의 비율은 임상에서 매우 중요한 지표이다(Cibulka, 2004; Kim 등,

Table 3. Pearson's correlation values of hip rotation range between tests (N=30)

Variable	Correlation value	p
Right hip rotation range		
Internal Rotation (°)	.87	.00
External Rotation (°)	.93	.00
Internal/External Ratio	.93	.00
Left hip rotator range		
Internal Rotation (°)	.87	.00
External Rotation (°)	.89	.00
Internal/External Ratio	.96	.00

2018). 고관절 내회전과 외회전의 비율은 정상적인 경우 1에 근접해야 하며, 1보다 크면 클수록 고관절의 과도한 전방전위를 나타내며, 1보다 작을수록 후방전위를 의미한다(Cibulka, 2004; Cibulka 등, 2010). 비록 본 연구에서 고관절 내외회전 가동범위의 두 가지 측정법 사이의 각도 차이가 통계학적으로 유의하지만 평균 6.67° 이하로 매우 큰 차이를 보이지는 않았으나, 고관절 내외회전의 비율 차이는 상대적으로 큰 값을 보였다. 따라서 고관절의 이학적 검사를 통한 근골격계의 이상유무에 대한 정밀한 평가나 연구 검증을 시행할 때는 측정방법과 도구 등의 선택에 있어 신중한 고려가 필요할 것으로 사료된다. 고관절 내외회전 가동범위에 대한 UPG와 3DMA 검사 측정값 사이의 상관관계는 $r=.87-.96$ 으로 높은 양의 상관관계를 보였다($p<.01$)(Table 3). 상관관계 검증을 통해 비록 3DMA를 통한 동시타당도 검증에서는 유의한 차이를 보였으나, 임상에서 쉽고 간편하게 환자의 관절가동범위를 평가하고 관리하는데 있어 UPG 검사는 효율성을 갖는 것으로 나타났다.

본 연구는 연구대상자 확보의 어려움 등으로 고관절에 이상이 있는 다양한 환자를 대상으로 연구를 진행하지 못해 연구결과를 일반화하는데 제한이 있다. 또한 연구방법 상 대상자와 검사의 편이를 위해 다양한 검사 도구와 검사 자세를 통한 관절가동범위의 측정을 시행하지 못한 단점이 있다. 따라서 향후 연구에서는 다양한 형태의 고관절 질환자를 대상으로 다양한 측정도구와 검사시행 자세를 달리하여 UPG와 같은 임상적 검사도구의 유용성과 효율성을 검증하는 것이 필요할 것이다.

V. 결론

본 연구는 건강한 성인 남녀 30명을 대상으로 고관절의 내외회전 가동범위의 측정에서 UPG의 타당도와 임상적 유용성을 알아보려고 시행되었다. 연구 결과, UPG를 이용한 고관절 내외회전의 모든 측정값에서 3DMA 측정값과 비교해 유의한 차이가 있었으며, 고관절 내외회전 가동범위의 UPG와 3DMA의 대응되는 모든 측정값 사이에서 높은 양의 상관관계를 보였다. 따라서 UPG를 활용한 고관절 내외회전의 임상적 측정은 쉽고 간단히 환자의 상태를 파악하는데 있어 효율적이거나 이학적 검사를 통한 보다 정밀한 평가와 연구 검증에서 UPG의 활용은 고려가 필요할 것이다.

References

- Akiyama K, Nakata K, Kitada M, et al. Changes in axial alignment of the ipsilateral hip and knee after total hip arthroplasty. *Bone Joint J.* 2016;98-B:349-58.
- Bagwell JJ, Bauer L, Gradoz M, et al. The reliability of FABER test hip range of motion measurements. *Int J Sports Phys Ther.* 2016;11(7):1101-5.
- Bierma-Zeinstra SM, Bohnen AM, Ramlal R, et al. Comparison between two devices for measuring hip joint motions. *Clin Rehabil.* 1998 Dec;12(6):497-505.
- Cibulka MT. Determination and significance of femoral neck

- anteversion. *Phys Ther.* 2004;84:550-8.
- Cibulka MT, Strube MJ, Meier D, et al. Symmetrical and asymmetrical hip rotation and its relationship to hip rotator muscle strength. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2010;25(1):56-62.
- Clapper MP, Wolf SL. Comparison of the reliability of the Orthoranger and the standard goniometer for assessing active lower extremity range of motion. *Phys Ther.* 1988;68(2):214-8.
- Collins TD, Ghoussayni SN, Ewins DJ, et al. A six degrees-of-freedom marker set for gait analysis: repeatability and comparison with a modified Helen Hayes set. *Gait Posture.* 2009;30(2):173-80.
- Damsted C, Nielsen RO, Larsen LH. Reliability of video-based quantification of the knee- and hip angle at foot strike during running. *Int J Sports Phys Ther.* 2015; 10(2):147-54.
- Dujardin F, Selva O, Mejjad O, et al. Intra and inter individual variations of pelvic mobility in normal adult walk. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1995; 81:592-600.
- Grossman G, Waninger KN, Voloshin A. Reliability and validity of goniometric turnout measurements compared with MRI and retro-reflective markers. *J Dance Med Sci.* 2008;12(4):142-52.
- Holm I, Bolstad B, Lütken 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.
- Kim Y, Richards J, Lidtke RH, et al. Characteristics of clinical measurements between biomechanical responders and non-responders to a shoe designed for knee osteoarthritis. *Gait Posture.* 2018;59:23-7.
- Kouyoumdjian P, Coulomb R, Sanchez T, et al. Clinical evaluation of hip joint rotation range of motion in adults. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2012;98:17-23.
- Krause DA, Hollman JH, Krych AJ, et al. Reliability of hip internal rotation range of motion measurement using a digital inclinometer. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015;23(9):2562-7.
- Norris BS, Olson SL. Concurrent validity and reliability of two-dimensional video analysis of hip and knee joint motion during mechanical lifting. *Physiother Theory Pract.* 2011;27(7):521-30.
- Nyland J, Kuzemchek S, Parks M, et al. Femoral anteversion influences vastus medialis and gluteus medius EMG amplitude: composite hip abductor EMG amplitude ratios during isometric combined hip abduction-external rotation. *J Electromyogr Kinesiol.* 2004; 14:255-61.
- Nussbaumer S, Leunig M, Glatthorn JF, et al. Validity and test-retest reliability of manual goniometers for measuring passive hip range of motion in femoroacetabular impingement patients. *BMC Musculoskelet Disord.* 2010;31(11):194.
- Roach S, San Juan JG, Suprak DN, et al. Concurrent validity of digital inclinometer and universal goniometer in assessing passive hip mobility in healthy subjects. *Int J Sports Phys Ther.* 2013;8(5):680-8.
- Rowley KM, Richards JG. Increasing plantarflexion angle during landing reduces vertical ground reaction forces, loading rates and the hip's contribution to support moment within participants. *J Sports Sci.* 2015; 33(18):1922-31.
- Shoji T, Yasunaga Y, Yamasaki T, et al. Low femoral antetorsion and total hip arthroplasty: a risk factor. *Int Orthop.* 2015;39:7-12.
- Watelain E, Dujardin F, Babier F, et al. Pelvic and lower limb compensatory actions of subjects in an early stage of hip osteoarthritis. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001;82:1705-11.
- Wolf O, Mattsson P, Milbrink J, et al. Effects of postoperative weight-bearing on body composition and bone mineral density after uncemented total hip arthroplasty. *J Rehabil Med.* 2013;45(5):498-503.