

무릎관절 전치환술에 따른 하지의 관절 각도 변화

■ 김상영, 윤세원¹

포항의료원 물리치료실; ¹광주여자대학교 물리치료학과

Changes in Lower Extremity Joint Angles after Total Knee Replacement

Sang- Yeong Kim, PT, MS; Se-Won Yoon, PT, PhD¹

Department of Physical Therapy, Pohang Medical Center; ¹Department of Physical Therapy, Kwangju Women's University

Purpose : The purpose of present study is to evaluate the joint angles of legs in the standing posture for six patients with unilateral knee osteoarthritis.

Methods : The participants underwent unilateral total knee replacement. A motion analysis was used to measure the joint angles of the hip, knee, and ankle. The measurements were taken before the surgery, one week and two weeks after the surgery. Both sides of the legs were evaluated.

Results : This result showed that after a certain healing period, both hip joint angles showed a significant difference while there was no significant difference in the knee and ankle joint angles. After surgery, the angle of ankle dorsiflexion was smaller on the operated side than the opposite side compared to the pre-surgery measurements.

Conclusion : After surgery, the asymmetry in a standing position left unchanged due to contracture of the knee joint and tightness in the hamstring muscle. Therefore, when physiotherapists plan an initial exercise programs for TKR patients, it is essential to apply adequate exercises which consider the contracture of the leg joints.

Key words : Total knee displacement, Joint angle, Exercise

논문접수일 : 2013년 5월 27일

수정접수일 : 2013년 6월 4일

게재승인일 : 2013년 6월 17일

교신저자 : 윤세원, ptyoon2000@hanmail.net

1. 서론

퇴행성 무릎뼈관절염은 만성적 질환으로서 무릎관절에 통증과 기능장애를 유발하는 주요 원인이며,¹ 체중이 부하되는 관절에 퇴행성관절염이 발생할 경우 보행 패턴의 변화를 초래하고 보행의 변화는 다른 체중 부하 관절과 허리의 통증을 악화시킨다고 하였다.² 퇴행성관절염의 원인은 일차적으로 특발성(idiopathy)이고 이차적으로 외상, 선천적 질환 그리고 칼슘 침착 질환 등에 의해 발생되며,³ 전형적으로 손, 발, 무릎, 엉덩관절 그리고 척추 등에 많이 발생되어 통증, 뻣뻣함(stiffness), 약화(weakness), 불안정성(instability), 일상생활에서 신체 기능의 감소 등의 증상이 나타

나는 가장 일반적인 형태의 관절염(arthritits)이다.²

Messier 등⁴은 퇴행성 무릎뼈관절염 환자는 증상이 없는 대조군에 비해 침범된 하지와 침범되지 않은 하지 모두 유연성이 부족하고 보행하는 동안 무릎의 관절가동범위가 작았으며, 대조군에 비해 양쪽 다리의 근력이 약하다고 보고하였다. Huang 등⁵은 보행하는 동안 정상군과 퇴행성 무릎뼈관절염 환자를 비교한 결과 퇴행성 무릎뼈관절염 환자에서 질환이 있는 무릎관절에 체중 부하를 줄이기 위해 이마면과 시상면에서 보상적 보행 패턴을 나타낸다고 하였다. McGibbon과 Krebs⁶는 퇴행성 무릎뼈관절염 환자는 보행하는 동안 무릎관절의 부하를 줄이기 위해 넙다리네갈래근(quadriceps femoris)을 사용하지 않는다고 하였다. 그리고

Potter 등⁷은 가상의 무릎 굽힘 구축을 15°와 30°로 설정하여 선 자세에서 균형을 비교한 연구에서 무릎의 굽힘 구축은 선 자세에서의 균형을 변화시킨다고 하였다. 또한 Harato 등⁸은 무릎의 굽힘 구축은 선 자세에서 골반의 후방 경사를 증가시키고, 걷는 동안 체간을 구축이 있는 쪽으로 향하게 하며 골반의 전방 경사를 증가시킨다고 보고하였다.

무릎관절 전치환술의 목적은 통증의 완화, 안정성을 위한 관절 움직임을 제공 그리고 변형의 교정(correct)과 기능적 능력의 향상을 위해 시행한다.⁹ 그리고 Hatfield 등¹⁰은 무릎관절 전치환술을 시행한 환자를 대상으로 보행 시 부하와 무릎 동작(motion)의 수술 후 변화에 대한 연구에서 무릎관절 전치환술은 보행하는 동안 무릎의 운동학(kinematic)과 운동역학(kinetic)의 정상적인 패턴 회복에 영향을 주게 된다고 하였다.

Saari 등¹¹은 무릎관절 전치환술을 시행한 환자는 보행 시 엉덩관절과 무릎관절에 굽힘이 남아 있다고 하였으며, Harato 등¹²은 수술한 쪽 무릎 펴는 제한은 체중 부하 비대칭의 원인으로 반대쪽 하지에 체중 부하를 증가시키게 된다고 보고하였다. 그리고 Christiansen 등¹³은 무릎관절 전치환술을 시행한 환자를 대상으로 수술 전과 수술 1개월 후에 체중 부하의 비대칭을 비교한 연구에서 수술 이전의 습관적인 보상 움직임이 계속 남아 있는 것은 수술 후 비대칭적 체중 지지가 나타나는 주요 원인이 된다고 하였다. 또한 McClelland 등¹⁴은 무릎관절 전치환술 12개월 후 보행 속도를 측정하는 연구에서 환자는 무릎의 펴 부족으로 보행이 어렵다고 하였다.

본 연구는 퇴행성 무릎뼈관절염의 수술적 요법인 무릎관절 전치환술(TKR)을 시행한 환자군을 대상으로 동작 분석 장비를 이용하여 선 자세(standing position)에서 하지의 관절 각도를 측정하고, 경과 기간과 수술 측과 비수술 측에 따른 비교를 통해 무릎관절 전치환술을 시행한 환자의 수술 후 초기 상태에서 자세의 변화를 알아보았다.

II. 연구방법

1. 연구대상

2012년 6월11일부터 2012년 7월21일 까지 경북의 S 병원에서 퇴행성 무릎뼈관절염으로 한 쪽 관절에 무릎관절 전치환술을 시행한 21명을 대상으로 연구 목적 및 방법에 대하여 충분히 설명하고 동의서를 얻은 후에 연구를 시행하였다. 연구대상자는 보조 도구를 사용하지 않고 5m 이상 보행이 가능한 자, 본 실험에 참여할 것을 자발적으로 동의한 자, 의사소통과 이해가 가능한 자로 하였으며,

선정 과정에서 엉덩관절 또는 발목관절에 정형외과적 수술을 시행하였거나 신경근계 질환(neuromuscular disease) 또는 심혈관계 질환(cardiovascular disease)이 있는 환자는 제외하였다. 실험 측정은 모두 21명을 대상으로 시행하였으나 몸 상태의 악화로 중도에 측정을 포기한 경우와 조기에 퇴원한 경우 등으로 15명이 탈락되었고, 6명의 대상자가 최종 선정되었다. 연구대상의 일반적 인 특성은 <표 1>과 같다.

표 1. 연구대상자의 일반적인 특성

	나이(세)	신장(cm)	체중(kg)	성별
전체 대상자 (N=6)	69.3±6.8	148.1±3.5	60.7±9.4	여성

2. 경두개적 자극 방법

퇴행성 무릎뼈관절염으로 무릎관절 전치환술을 시행한 환자를 대상으로 수술 전과 수술 후 1주, 수술 후 2주에 각각 선 자세에서 하지의 관절 각도를 측정하기 위하여 동작분석기를 사용하였으며, 물리치료 후 측정을 시행하였다. 양쪽 하지에 표식자를 부착하고, 측정자가 중을 올리면 적외선 디지털 카메라가 설치된 측정 구간을 걷도록 하였다.

1) 측정방법

무릎관절 전치환술을 시행한 환자들의 하지 관절의 각도를 측정하기 위해서 삼차원 동작분석기 Smart-D (BTS S.P.A, 이탈리아)를 이용하였다. 측정에 사용되는 적외선 카메라의 촬영속도의 샘플링 비율은 250frames/sec, 오차 범위(spatial accuracy)는 0.2mm 이내이며, 보행이 이루어질 공간에 동작의 범위를 완전히 포함할 수 있도록 5.45m 거리의 측정 구간에 6대의 디지털 적외선 카메라를 설치하였다.

직경 2.5cm의 표식자(marker)를 한 명의 측정자가 대상자의 골반 및 양측 하지에 부착하였다. 부착지점은 좌우 위뒤엉덩뼈가시(posterior superior iliac spine)를 연결한 선의 중간 지점, 좌우 위앞엉덩뼈가시(anterior superior iliac spine, ASIS), 넓다리뼈 큰돌기 부위와 가쪽위관절 용기, 전체 넓적다리의 1/2 지점 그리고 종아리뼈(fibular)의 머리 부위와 정강뼈 1/2지점의 외측 부위, 종아리뼈의 가쪽복사(lateral malleolus)부위, 제 5 발허리뼈 머리(metatarsal bone head)의 윗면, 발꿈치 발꿈치뼈(calcaneous) 부위에 부착하였으며, 발꿈치뼈에 표식자는 서 있을 때만 붙이고 보행 시에는 표식자를 제거하였다.

관절의 각도를 측정하기 위해서는 가상의 마커를 생성하였다. 가상마커는 입력된 환자의 신체 상태와 DAVID Protocol의 계산에 의해 관절 내에 가상 마커를 지정한 값으로 이때 측정된 값의 +는 굽힘, -는 폼을 의미한다.

3. 자료분석

본 연구의 결과는 SPSS for windows ver. 12.0을 이용하여 측정된 모든 변인에 대하여 평균과 표준오차를 산출하고, 경과 기간별 수술 측과 비수술 측에 따른 하지 관절의 관절 각도의 변화는 이요인 반복측정분산분석(two way ANOVA with repeated measures)을 시행하였다. 유의수준 α 는 0.05로 하였다.

III. 결과

1. 경과 기간별 수술 측과 비수술 측에 따른 엉덩관절의 각도

엉덩관절의 관절 각도에서 수술한 쪽은 수술 전 $-3.85 \pm 11.72^\circ$, 수술 1주 후 $16.40 \pm 14.77^\circ$, 수술 2주 후 $5.85 \pm 7.83^\circ$ 로 굽힘 각도가 증가하는 양상을 나타냈고, 수술하지 않은 쪽에서도 수술 전 $-1.90 \pm 14.24^\circ$, 수술 1주 후 $13.85 \pm 13.71^\circ$, 수술 2주 후 $3.85 \pm 9.73^\circ$ 로 굽힘 각도가 증가하는 양상을 나타냈다(표 2).

이요인 반복측정분산분석 결과에서 경과 기간과 수술 측과 비수술 측의 상호작용은 유의하지 않았고, 경과 기간에 따른 엉덩관절 각도는 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$).

표 2. 수술 측과 비수술 측에 따른 엉덩관절의 각도

(단위: °)

	기간			p		
	수술 전	수술 1주 후	수술 2주 후	기간	부위	시간*부위
수술 측	-3.85 ± 11.72	16.40 ± 14.77	5.85 ± 7.83	0.010*	0.436	0.644
비수술 측	-1.90 ± 14.24	13.85 ± 13.71	3.85 ± 9.73			

평균±표준편차

* $p < 0.05$

2. 경과 기간별 수술 측과 비수술 측에 따른 무릎관절의 각도

무릎관절의 관절 각도에서 수술한 쪽은 수술 전 $1.82 \pm 9.82^\circ$, 수술 1주 후 $5.45 \pm 8.37^\circ$, 수술 2주 후 $1.53 \pm 11.03^\circ$ 로 굽힘 각도가 수술 1주 후 증가하다가 점차 감소하는 양상을 나타냈고, 수술하지 않은 쪽에서는 수술 전 $11.10 \pm 12.17^\circ$, 수술 1주 후 $6.25 \pm 13.25^\circ$, 수술 2주 후 $-1.03 \pm 8.45^\circ$ 로 굽힘 각도가 점차 감소하는 양상을 나타냈다(표 3).

이요인 반복측정분산분석 결과에서 경과 기간과 수술 측과 비수술 측의 상호작용은 유의하지 않았고, 수술 측과 비수술 측에 따른 각도 변화도 유의하지 않았다.

표 3. 수술 측과 비수술 측에 따른 무릎관절의 각도

(단위: °)

	기간			p		
	수술 전	수술 1주 후	수술 2주 후	기간	부위	시간*부위
수술 측	1.82 ± 9.82	5.45 ± 8.37	1.53 ± 11.03	0.374	0.230	0.423
비수술 측	11.10 ± 12.17	6.25 ± 13.25	-1.03 ± 8.45			

평균±표준편차

* $p < 0.05$

2. 경과 기간별 수술 측과 비수술 측에 따른 발목관절의 각도

발목관절의 관절 각도에서 수술한 쪽은 수술 전 $4.12 \pm 7.28^\circ$, 수술 1주 후 $0.72 \pm 6.89^\circ$, 수술 2주 후 $0.80 \pm 2.63^\circ$ 로 발등굽힘 각도가 감소하는 양상을 나타냈고, 수술하지 않은 쪽에서도 수술 전 $10.15 \pm 7.45^\circ$, 수술 1주 후 $4.92 \pm 10.68^\circ$, 수술 2주 후 $4.08 \pm 6.08^\circ$ 로 발등굽힘 각도가 감소하였고, 수술 한 쪽에서 발등굽힘 각도가 더 작은 양상을 나타냈다(표 4).

이요인 반복측정분산분석 결과에서 경과 기간과 수술 측과 비수술 측의 상호작용은 유의하지 않았고, 수술 측과 비수술 측에 따른 각도 변화도 유의하지 않았다.

표 4. 수술 측과 비수술 측에 따른 발목관절의 각도

(단위: °)

	기간			p		
	수술 전	수술 1주 후	수술 2주 후	기간	부위	시간*부위
수술 측	4.12 ± 7.28	0.72 ± 6.89	0.80 ± 2.63	0.272	0.151	0.815
비수술 측	10.15 ± 7.45	4.92 ± 10.68	4.08 ± 6.08			

평균±표준편차

IV. 고찰

퇴행성 무릎뼈관절염 환자를 대상으로 무릎관절 전치환술 시행 후 통증은 빠르게 감소되고,¹⁵ 수술 후 기능적인 부분은 개선되었다고 하였다.¹⁶ 그러나 Smith 등¹⁷은 수술 후에도 이전의 비정상적 체중 부하 패턴이 남아 있고 이는 무릎관절 전치환술 후 무릎 통증 발생의 원인이 된다고 하였으며, Liebensteiner 등¹⁸은 보행과 계단 오르기 등의 기능적인 부분에서 수술 후 변화가 없었다고 보고하였다.

Moffet 등¹⁹은 수술 후 첫 1년 안에 적당한 기능적 회복을 위해서는 아급성기 동안 집중적인 재활이 필요하다고 하였다. 본 연구는 수술 후 초기에 무릎관절 전치환술을 시행한 환자를 대상으로 수술 후 선 자세에서 하지의 관절 각도 변화를 알아보기 위해 시행하였다.

Haroto 등²⁰은 무릎관절 전치환술을 시행한 환자를 대상으로 각도계(goniometer)를 이용하여 선 자세에서 무릎관절 굽힘 각도를 측정하여 수술 전 15.6°, 수술 후 4일째 20°, 수술 후 16일째 14.3°로 시간에 따른 변화가 없다고 보고하였으며, 이는 이번 연구의 결과와 유사하였다. Kendall 등²¹은 서 있는 자세에서 무릎관절 굽힘은 엉덩관절 굴근의 긴장(tightness)에 의해 발생할 수 있다고 하였으며, Oatis²²는 엉덩관절과 무릎관절 그리고 발목관절에서의 굽힘 구축으로 선 자세에서 하지의 굽힘 된 자세가 나타나고 발목관절 발바닥쪽굽힘근의 긴장에 의해 무릎의 과범(hyperextension)이 발생할 수 있다고 하였다.

이러한 결과들로 미루어 볼 때 수술한 쪽 무릎관절의 각도 변화는 하지 관절의 구축이나 관절 주위 근육의 긴장(tightness) 등에 의해 무릎관절 전치환술 후 굽힘이 남아 있는 것으로 생각된다.

Harato 등¹²은 양측에 무릎뼈관절염이 있는 환자를 대상으로 한쪽에 무릎관절 전치환술을 시행한 후 서 있는 동안 체중 부하 상태를 알아본 결과 수술한 환자 중 20%에서 무릎의 펌 제한이 남아 있었고, 수술한 쪽의 펌 제한은 보행하는 동안 반대쪽 하지에 체중 부하를 가중시킨다고 하였다. Creaby 등²³은 퇴행성 무릎뼈관절염 환자는 보행 시 체간을 통증이 더 많은 쪽으로 기울이고, 통증이 더 많은 쪽의 무릎은 덜 구부린다고 하였다. 또한 Oatis²²는 발이 고정된 닫힌 사슬(closed chain)환경에서 한 관절의 움직임은 주변의 관절에 영향을 미치고 그 예로 디딤기(stance phase)의 무릎의 굽힘은 발목관절의 발등굽힘과 엉덩관절의 굽힘이 요구된다고 하였으며, Hwang 등²⁴은 선 자세의 안정성을 유지하기 위해서는 발목관절과 무릎관절 그리고 엉덩관절의 상호작용이 이루어져야 한다고 하였다. 이와 같이 선 자세에서 무릎관절의 각도는 발목관절의 각도 변화와 연관되기 때문에 수술 측 발목관절의 변화는 나타나지 않은 것으로 생각되며, 비수술 측 발목관절의 발등굽힘 각도가 더 크게 나타난 것은 체중 부하의 비대칭에 의해 나타난 것으로 생각된다.

Harato 등²⁰은 무릎관절 전치환술 후 초기에 통증이 유의하게 감소하고 서 있는 동안 수술한 쪽 무릎관절의 굽힘 각도가 점차 감소되었다고 하였다. 그리고 Gage 등²⁵은 무릎관절에서 부하의 감지 장애는 근육 활동성의 변화와 운동학(kinematic)의 변화에 영향을 줄 수 있다고 하였다. 그러므로 비수술 측 무릎관절의 굽힘 각

도와 양쪽 발목관절의 발등굽힘 각도가 경과 기간에 따라 줄어드는 것은 수술 후 무릎관절의 통증 감소로 인해 체중 부하의 비대칭이 개선된 것 때문인 것으로 생각된다. 또한 엉덩관절에서 나타난 수술 전과 후 각도의 변화도 선 자세에서 하지 관절의 닫힌 사슬의 영향을 고려해 볼 때 수술 전 통증에 의한 자세 비대칭과 수술 후 통증의 개선에 의해 나타난 것으로 생각된다. 그러나 수술 2주 후에 측정된 선 자세에서 하지 관절의 각도는 자세 비대칭이 남아 있는 것을 의미한다. 따라서 수술 후 초기에는 자세 비대칭을 줄이기 위해 이상적인 관절 정렬 범위를 고려하여 선 자세에서 엉덩관절과 무릎관절 그리고 발목관절의 각도를 확인해야 할 것으로 생각된다.

Valtonen 등²⁶은 무릎관절 전치환술 후 이동성의 제한과 기능 손상을 방지하기 위해 재활 기간 동안 하지의 근력 증진 등을 고려해야 한다고 하였고, Zeni 등²⁷은 보행 시 비대칭은 무릎관절 전치환술 후에도 지속되고 수술하지 않은 쪽에 대해 전치환술을 시행하는 요인이 되기 때문에 기능적 운동 중 체중 부하를 대칭적으로 하는 등 대칭적인 움직임 패턴을 회복하는 프로그램이 필요하다고 하였다.

이번 연구는 단일 기관에서 이루어졌고, 연구대상자가 적어서 이 결과를 확대 해석하기에는 제한점이 있다. 또한 향후 연구에서는 여러 기관에서 많은 표본을 이용하여 수술 후 초기에 선 자세의 관절 각도 도와 보행하는 동안 하지의 근활성화에 대한 다양한 연구와 수술 후 치료적 증재에 대해 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

V. 결론

무릎관절 전치환술 후 초기에 선 자세에서 하지 관절의 각도를 경과 기간과 수술 측과 비수술 측에 따라 측정하고, 수술 후 환자의 자세 변화를 알아보고자 하였다. 그 결과 수술 전 선 자세에서 무릎관절 비대칭이 수술 후에도 남아 있었으며, 이러한 현상은 수술 전 무릎관절 구축과 넓다리뒤근육의 긴장이 수술 후에도 계속 지속되는 것으로 생각된다. 따라서 무릎관절 전치환술(total knee replacement)을 시행한 환자에게 수술 후 초기 상태에서 물리치료 시 운동치료 계획을 수립할 때에는 하지 관절의 구축 및 근육의 긴장을 고려한 운동치료프로그램을 적용하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

Acknowledgement

본 논문은 김상영의 석사학위 논문 일부를 축약하였음.

참고문헌

1. Dieppe P, Basler HD, Chard J et al. Knee replacement surgery for osteoarthritis: Effectiveness, practice variations, indications and possible determinants of utilization. *Rheumatology (Oxford)*. 1999;38(1):73-83.
2. Hochberg MC, Silman AJ, Smolen JS et al. *Rheumatology, 2-volume set: Expert consult-enhanced online features and print, 5th ed.* Philadelphia, Mosby, 2011:1724.
3. Altman R, Asch E, Bloch D et al. Development of criteria for the classification and reporting of osteoarthritis. Classification of osteoarthritis of the knee. Diagnostic and therapeutic criteria committee of the american rheumatism association. *Arthritis Rheum*. 1986;29(8):1039-49.
4. Messier SP, Loeser RF, Hoover JL et al. Osteoarthritis of the knee: Effects on gait, strength, and flexibility. *Arch Phys Med Rehabil*. 1992;73(1):29-36.
5. Huang SC, Wei IP, Chien HL et al. Effects of severity of degeneration on gait patterns in patients with medial knee osteoarthritis. *Med Eng Phys*. 2008;30(8):997-1003.
6. McGibbon CA, Krebs DE. Compensatory gait mechanics in patients with unilateral knee arthritis. *J Rheumatol*. 2002;29(11):2410-9.
7. Potter PJ, Kirby RL, MacLeod DA. The effects of simulated knee-flexion contractures on standing balance. *Am J Phys Med Rehabil*. 1990;69(3):144-7.
8. Harato K, Nagura T, Matsumoto H et al. A gait analysis of simulated knee flexion contracture to elucidate knee-spine syndrome. *Gait Posture*. 2008;28(4):687-92.
9. Campbell, Cohoon W, Canale ST. *Campbell's operative orthopaedics, 10th ed.* St.Louis, Mosby, 2003:223.
10. Hatfield GL, Hubley-Kozey CL, Astephen Wilson JL et al. The effect of total knee arthroplasty on knee joint kinematics and kinetics during gait. *J Arthroplasty*. 2011;26(2):309-18.
11. Saari T, Tranberg R, Zugner R et al. Changed gait pattern in patients with total knee arthroplasty but minimal influence of tibial insert design: Gait analysis during level walking in 39 tkr patients and 18 healthy controls. *Acta Orthop*. 2005;76(2):253-60.
12. Harato K, Nagura T, Matsumoto H et al. Extension limitation in standing affects weight-bearing asymmetry after unilateral total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2010;25(2):225-9.
13. Christiansen CL, Bade MJ, Weitzenkamp DA et al. Factors predicting weight-bearing asymmetry 1month after unilateral total knee arthroplasty: A cross-sectional study. *Gait Posture*. 2012(in press).
14. McClelland JA, Webster KE, Feller JA et al. Knee kinematics during walking at different speeds in people who have undergone total knee replacement. *Knee*. 2011;18(3):151-5.
15. Fitzgerald JD, Orav EJ, Lee TH et al. Patient quality of life during the 12 months following joint replacement surgery. *Arthritis Rheum*. 2004;51(1):100-9.
16. Yoshida Y, Mizner RL, Ramsey DK et al. Examining outcomes from total knee arthroplasty and the relationship between quadriceps strength and knee function over time. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2008;23(3):320-8.
17. Smith AJ, Lloyd DG, Wood DJ. Pre-surgery knee joint loading patterns during walking predict the presence and severity of anterior knee pain after total knee arthroplasty. *J Orthop Res*. 2004;22(2):260-6.
18. Liebensteiner MC, Herten A, Gstoettner M et al. Correlation between objective gait parameters and subjective score measurements before and after total knee arthroplasty. *Knee*. 2008;15(6):461-6.
19. Moffet H, Collet JP, Shapiro SH et al. Effectiveness of

- intensive rehabilitation on functional ability and quality of life after first total knee arthroplasty: A single-blind randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil.* 2004;85(4):546-56.
20. Harato K, Otani T, Nakayama N et al. When does postoperative standing function after total knee arthroplasty improve beyond preoperative level of function? *Knee.* 2009;16(2):112-5.
21. Kendall FP, McCreary EK, Provance PG. *Muscles testing and function with posture and pain.* 5th ed. Lippincott Williams & Wilkins, 2005:80-3.
22. Oatis CA. *Kinesiology: The mechanics & pathomechanics of human movement.* Lippincott Williams & Wilkins, 2004:106-7.
23. Creaby MW, Bennell KL, Hunt MA. Gait differs between unilateral and bilateral knee osteoarthritis. *Arch Phys Med Rehabil.* 2012;93(5):822-7.
24. Hwang SJ, Woo YK, Jeon HS. Effects of immobilization of the ankle and knee joints on postural stability in standing. *Journal of the Korean Academy of University Trained Physical Therapists.* 2008;15(1):30-7.
25. Gage WH, Frank JS, Prentice SD et al. Postural responses following a rotational support surface perturbation, following knee joint replacement: Frontal plane rotations. *Gait Posture.* 2008;27(2):286-93.
26. Valtonen A, Poyhonen T, Heinonen A et al. Muscle deficits persist after unilateral knee replacement and have implications for rehabilitation. *Phys Ther.* 2009;89(10):1072-9.
27. Zeni Jr J, Logerstedt D, Flowers P et al. Rehabilitation to reduce secondary osteoarthritis after total knee arthroplasty. *Osteoarthritis and Cartilage.* 2012;20, Supplement 1(0):S264-S265.