

대퇴골의 기계적 축을 이용한 원위 대퇴부의 회전 정렬: 생체내 3차원 전산화 단층 촬영을 이용한 측정

Distal Femoral Rotational Alignment Based on Mechanical Axis of the Femur: A 3-Dimensional Computed Tomographic Scan in Vivo Assessment

김광균 • 이우석* • 허윤무 • 이진웅 • 이정범 • 채동식

건양대학교 의과대학 정형외과학교실, *연세대학교 의과대학 정형외과학교실

목적: 기계적 축에 수직으로 촬영한 단층 촬영 영상에서 원위 대퇴부의 회전 축들의 관계를 조사, 분석하고자 하였다.

대상 및 방법: 기계적 축에 수직으로 촬영된 삼차원 단층 촬영 영상 50예를 대상으로 원위 대퇴부의 해부학적 상과간 축, 수술적 상과간 축, 전후방 축, 실제 후과간 축간의 관계와 삼차원 재조합 대퇴골 영상에서 해부학적 상과간 축, 전후방 축, 실제 후과간 축과의 관계를 조사 하였다.

결과: 단층 촬영 영상에서 실제 후과간 축에 대해 해부학적 상과간 축, 수술적 상과간 축, 전후방 축이 이루는 각은 $6.34 \pm 1.23^\circ$, $2.43 \pm 1.56^\circ$, $96.52 \pm 1.77^\circ$ 였다. 해부학적 상과간 축에 대한 전후방 축 및 수술적 상과간 축이 이루는 각은 $90.19 \pm 1.61^\circ$, $3.91 \pm 0.90^\circ$ 였다. 삼차원 재조합 모델에서 실제 후과간 축에 대해 해부학적 상과간 축 및 전후방 축이 이루는 각은 $6.29 \pm 1.86^\circ$, $93.33 \pm 3.76^\circ$ 였다. 해부학적 상과간 축에 대한 전후방 축이 이루는 각은 $87.04 \pm 4.11^\circ$ 였다.

결론: 기계적 축에 수직으로 촬영한 단층 촬영 영상을 이용하여 원위 대퇴부의 회전 축을 측정하는 방법은 재현성이 있는 방법이며, 특히 해부학적 상과간 축을 이용한 측정방법이 전후방 축에 비해 정확한 측정 방법으로 생각된다.

색인단어: 슬관절 전치환술, 해부학적 상과간 축, 수술적 상과간 축, 전후방 축, 후과간 축

서 론

환자의 골질, 술 후 감염, 환자의 전신 상태 등 여러 요소가 슬관절 치환술의 수술 후 결과에 영향을 미친다. 특히 변형된 하지의 기계적 축을 정상 범위로 회복하고 삽입물을 정확하게 치환하는 것은 삽입물의 수명, 운동 범위, 동통에 중요한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.¹⁾ 원위 대퇴부의 측상면에서 삽입물의 부정확한 회전 정렬은 슬부 전방 동통, 슬개골 탈구 등 대퇴-슬개 관절의 정렬에 문제를 일으킬 수 있고, 굴곡 시 내-외측 관절 간격의 불균형은 관절의 불안정, 관절 운동범위 감소, 치환물의 마모 및

조기 해리에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.¹⁻⁴⁾ 굴곡 시 관절 간격의 정확한 회복을 위한 대퇴 삽입물의 회전 정렬은 경골부의 절제면을 기준으로 내-외측 인대 장력을 이용하는 굴곡 신전 간격 방법(gap technique)과 원위 대퇴부의 상과간 축(transepicondylar axis), 전후방 축(Whiteside's line), 후과간 축(posterior condylar axis) 등 해부학적 지표를 기준으로 삽입물의 회전 정렬을 결정하는 측정 절제 기술(measured resection technique)이 있다.

네비게이션을 이용한 슬관절 치환술의 경우 하지의 기계적 축을 체내 혹은 체외 금속정의 삽입 없이 보다 정확하게 얻을 수 있고, 해부학적 지표를 디지털로 세밀하게 입력할 수 있게 되었다. 이에 술 전 및 술 후 원위 대퇴부의 해부학적 축을 보다 정확히 기계적 축으로 정렬된 상태에서 측정하는 방법 및 결과가 필요하게 되었다. 과거 대퇴 원위부의 회전 정렬을 측정하기 위해 뼈 계측기(osteometry), 단순 방사선을 이용한 방법, 방사선 투시검사(fluoroscopy) 등이 보급되었고 특히 Berger 등⁵⁾은 술 후 치환물의

접수일 2010년 11월 3일 게재확정일 2011년 1월 25일

교신저자 허윤무

대전시 서구 관저동로 158, 건양대학교병원 정형외과

TEL 042-600-6937, FAX 042-545-2373

E-mail huryum1973@hanmail.net

대한정형외과학회지 : 제 46권 제 6호 2011 Copyright © 2011 by The Korean Orthopaedic Association

"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."

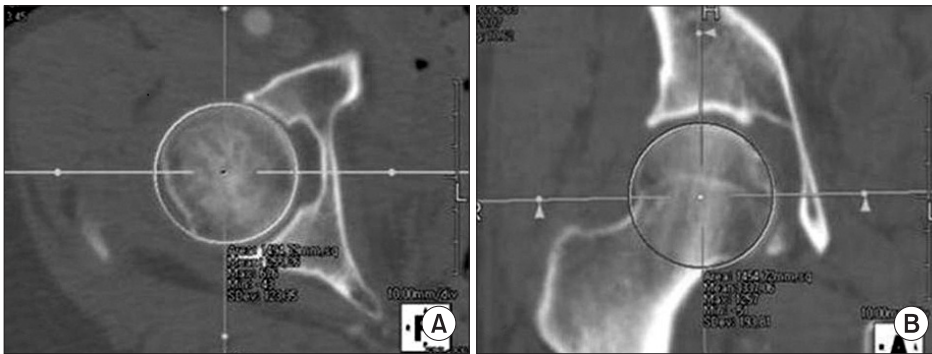


Figure 1. (A) The position of femoral head center (FHC) was determined by placing a circle onto the circumference of the femoral head on a set of axial and coronal section views, showing the largest bone contour of the femoral head. (B) The FHC locations were determined as the center of the circle that matched the largest bone contours.

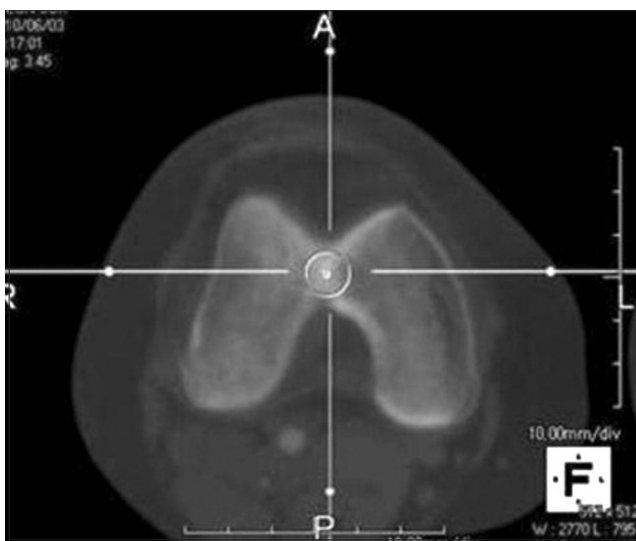


Figure 2. The intercondylar notch center was defined as the middle of the line connecting the narrowest anterior-to-posterior borders on an axial section of the distal femur.

회전 정렬을 보다 정확히 측정하고자 전산화 단층 촬영을 이용하였다. 그러나, 전산화 단층 촬영 및 자기 공명 영상을 이용한 측정은 하지의 위치, 대퇴부의 휘어짐 정도, 촬영자의 숙련도에 영향을 받기 때문에 결과의 재현성에 오류가 있을 가능성이 있다고 생각되었다. 이에 저자들은 기계적 축에 수직으로 촬영된 삼차원 전산화 단층 촬영 영상과 3D rendering 프로그램을 이용하여 대퇴 원위부의 회전 축들의 관계를 조사하고 이를 분석하고자 하였다.

대상 및 방법

2006년 1월부터 2010년 3월까지 촬영된 274예의 양측 하지 삼차원 단층 촬영 혈관 조영 영상(3-dimensional computed tomographic angiogram, 3D-CTA) 중 대퇴골 근위부나 원위부에 골절, 수술, 금속이 포함되어 있는 경우 등 전산화 단층 촬영 영상에서 정확히 해부학적 지표를 확인하기 어려운 경우 및 Kellgren-Lawrence 분류상 2단계 이상으로 퇴행성 변화가 진행된 경우는 제외하였다. 총 50예의 하지 삼차원 단층 촬영 혈관 조영 영상이

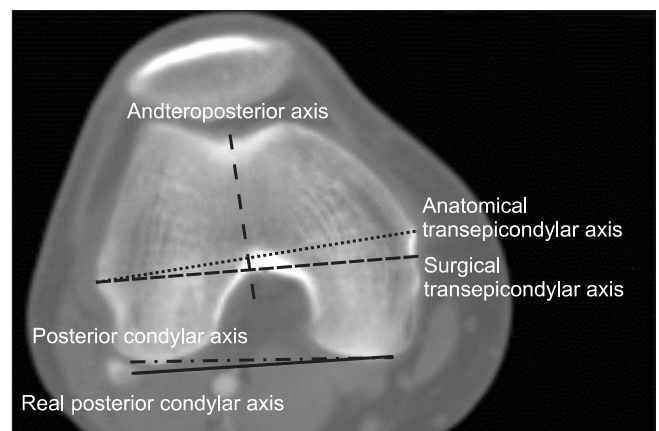


Figure 3. Construct of the reference axes on axial computed tomographic scan of the distal femoral condyle is shown.

포함되었으며, 이 중 38예가 남자, 12예가 여성이었고 평균 연령은 52.1세(33-74세)였다.

삼차원 단층 촬영 혈관 조영 영상은 골반부터 족부까지 1.5 mm 간격으로 촬영된 영상을 삼차원으로 재건한 영상이며, 이를 3D rendering 프로그램인 Aquaris NET® (TeraRecon, Inc. 2006, San Mateo, CA, USA)을 이용하여 혈관 및 골반골, 경골 이하 부위를 제거한 후 대퇴골만 얻었다. 대퇴골 모델을 대퇴골의 기계적 축에 직각으로 1.0 mm 간격으로 단층 촬영된 영상을 얻었다. 기계적 축의 기준은 삼차원으로 컴퓨터 단층 촬영 영상에서 축상면, 관상면에서 대퇴 골두 직경이 가장 큰 영상의 중심을 일치시켜 대퇴 골두의 중심으로 정하고, 원위 대퇴부의 기준점은 축상 영상에서 과간절흔이 사라지는 영상 바로 직전 영상에서 대퇴골과 간의 중심과 관상면에서 과간절흔의 중심을 통과하는 축이 일치하는 점을 정하여 원위 대퇴부의 기계적 축의 중심점으로 정하였다(Fig. 1, 2). 대퇴골의 기계적 축에 직각으로 1.0 mm 간격으로 촬영된 영상은 기하학적 계측을 위하여 DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine, American College of Radiology-National Electronic Manufacturing Association, 1993)파일로 PACS (Marosis m-view 5.0, MAROTECH, Seoul, Korea)에 저장하였다.

기계적 축에 수직으로 촬영된 단층 촬영 영상에서 해부학적 상

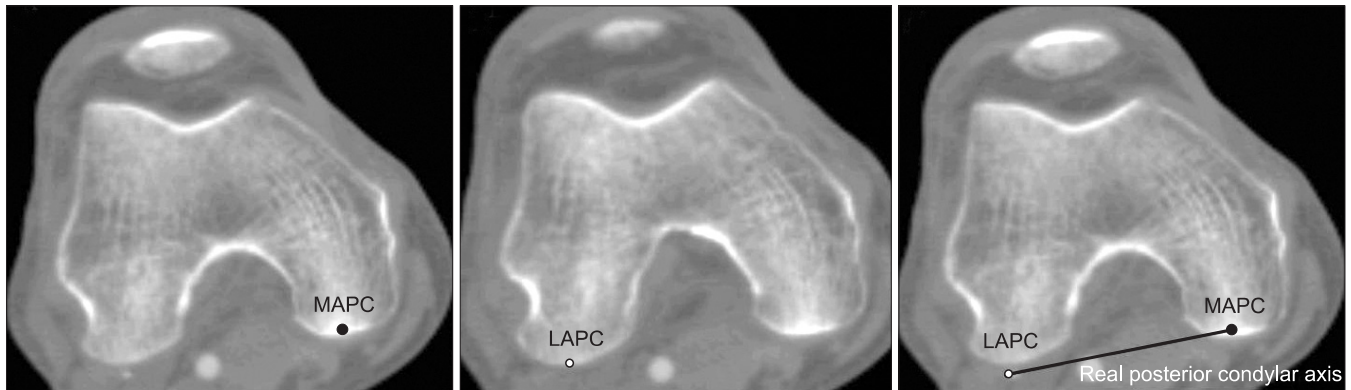


Figure 4. Real posterior condylar axis was drawn. As the most lateral posterior condyle and the most medial posterior condyle did not exist on the same plane, real posterior condylar axis was drawn on the most medial posterior condylar plane by superimposing the most lateral posterior condyle to the medial plane. MAPC, medial apex of posterior condyle; LAPC, lateral apex of posterior condyle.

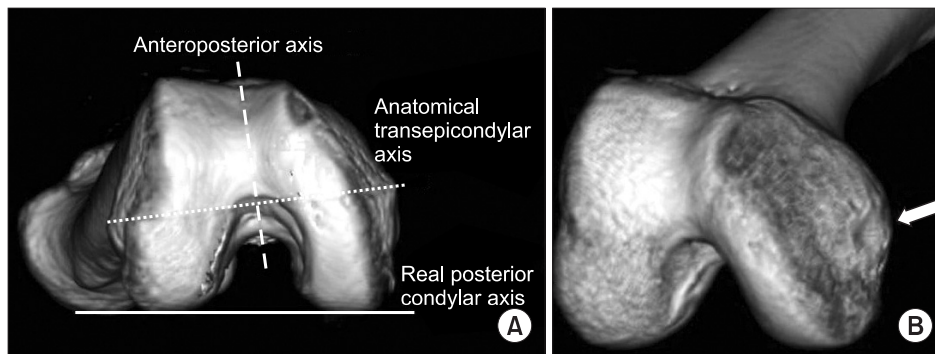


Figure 5. (A) Construct of the reference axes on 3-dimensional (3D) computed tomographic bone model of the distal femoral condyle is shown. 3D bone model was rotated until the center of femoral head was synchronized with the center of intercondylar notch. From caudocranial view, medial point of surgical transepicondylar axis was not detected because of hoarse-shoe shaped notch. (B) In obliquely rotated view, medial point of surgical transepicondylar axis is seen.

과간 축, 수술적 상과간 축, 전후방 축(Whiteside's line), 실제 대퇴 후과간 축(real posterior condylar axis, rPCA)을 측정하였다(Fig. 3). 실제 대퇴 후과간 축은 기존의 한 장의 단층 촬영 영상에서 선정 한 대퇴 후과간 축의 선정과 다르게 내측 후과의 가장 후방점과 외측 후과의 가장 후방점이 동일한 촬영 영상에 없는 경우에는 외측 후방 정점을 내측 후방과의 정점이 촬영된 영상으로 이동하여 중첩시켜 두 점을 연결하여 측정하였다(Fig. 4).

재조합 삼차원 대퇴골 모델을 대퇴 골두의 중심과 원위 대퇴과간 중심을 일치시키는 방법으로 탁자상 위치에서 기계적 축으로 정렬하였다. 기계적 축으로 재정렬된 삼차원 재조합 영상에서 해부학적 대퇴 상과간 축, 전후방 축, 실제 후과간 축과의 관계를 측정하였고, 수술적 대퇴 상과간 축은 측정할 수 없어 제외하였다(Fig. 5). 관찰자 1과 2는 정형외과 전공의로 각각 1주일 간격으로 측정하였다. 관찰자내 오류는 동일 대상을 관찰자가 첫 번째로 측정한 값과 두 번째로 측정한 값을 비교하였고, 관찰자간 오류는 각각의 대상에서 관찰자 1과 관찰자 2가 측정한 값을 비교하였다. 통계 프로그램으로 SPSS 16.0 (SPSS Inc. Chicago, IL, USA, 2007)을 사용하였고, 관찰자내 및 관찰자간의 재현성 및 오차를 산출하기 위해 ANOVA (Tukey's post hoc test) 및 paired *t*-test를 이용하였다. 또한 independent *t*-test를 통해 성별에 따른 기준 축

의 차이를 알아보았다.

결 과

단층 촬영 영상에서 실제 후과간 축에 대해 해부학적 상과간 축, 수술적 상과간 축, 전후방 축이 이루는 각은 $6.34 \pm 1.23^\circ$ ($3.1-10.5^\circ$), $2.43 \pm 1.56^\circ$ ($-2.5-6.7^\circ$), $96.52 \pm 1.77^\circ$ ($90.9-102.1^\circ$)였다. 해부학적 대퇴 상과간 축에 대한 전후방 축 및 수술적 대퇴 상과간 축이 이루는 각은 $90.19 \pm 1.61^\circ$ ($82.0-95.0^\circ$), $3.91 \pm 0.90^\circ$ ($2.1-7.5^\circ$)였다(Table 1). 재조합 삼차원 대퇴골 모델에서 실제 후과간 축에 대해 해부학적 대퇴 상과간 축 및 전후방 축이 이루는 각은 $6.29 \pm 1.86^\circ$ ($0.3-10.6^\circ$), $93.33 \pm 3.76^\circ$ ($83.6-99.9^\circ$)였다. 해부학적 상과간 축에 대한 전후방 축이 이루는 각은 $87.04 \pm 4.11^\circ$ ($74.5-95.0^\circ$)였다(Table 2). 단층 촬영 영상을 이용한 방법 및 삼차원 재조합 골 모델을 이용한 측정 방법에서 관찰자내 및 관찰자간 재현성이 있는 결과를 보였다(Table 3).

단층 촬영 영상으로 측정한 각도와 삼차원 재조합 영상으로 측정한 결과의 비교에서 실제 후과간 축에 대한 해부학적 상과간 축이 이루는 각도는 통계적으로 의미있는 차이는 없었고($p=0.750$), 실제 후과간 축에 대해 전후방 각이 이루는 각 및 해부

학적 상과간 축에 대해 전후방 축이 이루는 각은 통계적으로 의미 있는 차이를 보였다($p=0.000$, $p=0.000$).⁶⁻⁸⁾

실제 후과간 축과 고식적인 후과간 축의 측정 방법에 비해 $0.66 \pm 0.64^\circ$ ($0.00-1.90^\circ$) 외회전되어 있었고 외측 대퇴 후과의 후방정점이 내측 후과의 후방 정점보다 평균 2.06 ± 1.34 mm 원위부에 있었다. 실제 후과간 축과 고식적 후과간 축은 통계적으로 의미 있는 차이는 없었다($p=0.173$). 단층 촬영을 이용한 측정에서 성별에 대한 차이는 없었다(Table 4).

고 찰

슬관절 치환술에 있어 전산화 단층 촬영을 이용한 원위 대퇴부의 회전 축의 평가는 기계적 축에 수직으로 측정해야 술 전 계획 및

Table 2. Overview of the Angles* of Distal Femoral Rotational Alignment between the Surface Derived Axes on 3-Dimensional Bone Model

	A-TEA and rPCA	AP axis and rPCA	AP axis and A-TEA
Observer1-1 st	$6.52 \pm 1.57^\circ$	$93.20 \pm 4.23^\circ$	$86.67 \pm 4.04^\circ$
Observer1-2 nd	$6.79 \pm 2.19^\circ$	$92.83 \pm 4.05^\circ$	$86.04 \pm 4.70^\circ$
Observer2-1 st	$6.09 \pm 1.45^\circ$	$94.00 \pm 3.27^\circ$	$87.91 \pm 3.44^\circ$
Observer2-2 nd	$5.76 \pm 2.03^\circ$	$93.29 \pm 3.43^\circ$	$87.53 \pm 4.04^\circ$
Total	$6.29 \pm 1.86^\circ$	$93.33 \pm 3.76^\circ$	$87.04 \pm 4.11^\circ$

*Values are means±standard deviation; rPCA, real posterior condylar axis; A-TEA, anatomical transepicondylar axis; AP axis, anteroposterior axis (Whiteside's line).

Table 1. Overview of the Angles* of Distal Femoral Rotational Alignment among the Surface Derived Axes on Computed Tomograph

	A-TEA and rPCA	S-TEA and rPCA	AP axis and rPCA	A-TEA and S-TEA	AP axis and A-TEA
Observer1-1 st	$6.28 \pm 1.44^\circ$	$2.35 \pm 1.91^\circ$	$96.33 \pm 1.96^\circ$	$3.93 \pm 0.97^\circ$	$90.06 \pm 1.60^\circ$
Observer1-2 nd	$6.43 \pm 1.16^\circ$	$2.53 \pm 1.53^\circ$	$96.36 \pm 1.64^\circ$	$3.91 \pm 0.94^\circ$	$89.93 \pm 1.92^\circ$
Observer2-1 st	$6.30 \pm 1.26^\circ$	$2.24 \pm 1.45^\circ$	$96.62 \pm 1.83^\circ$	$4.06 \pm 0.87^\circ$	$90.32 \pm 1.45^\circ$
Observer2-2 nd	$6.35 \pm 1.04^\circ$	$2.61 \pm 1.28^\circ$	$96.78 \pm 1.67^\circ$	$3.74 \pm 0.82^\circ$	$90.43 \pm 1.40^\circ$
Total	$6.34 \pm 1.23^\circ$	$2.43 \pm 1.56^\circ$	$96.52 \pm 1.77^\circ$	$3.91 \pm 0.90^\circ$	$90.19 \pm 1.61^\circ$

*Values are means±standard deviation; rPCA, real posterior condylar axis; A-TEA, anatomical transepicondylar axis; S-TEA, surgical transepicondylar axis; AP axis, anteroposterior axis (Whiteside's line).

Table 3. Comparison of Measurement of Intra-Observer and Inter-Observer on 3-Dimensional Computed Tomographic Image

Measuring point	Comparison	Obs-trial	Obs-trial	Mean error±SD	p-value
A-TEA and rPCA	Intraobservers.	Obs1-1st	Obs1-2nd	$0.16 \pm 0.67^\circ$	0.921
		Obs2-1st	Obs2-2nd	$0.05 \pm 0.77^\circ$	0.997
	Interobservers.	Obs1	Obs2	$0.02 \pm 0.85^\circ$	0.999
S-TEA and rPCA	Intraobservers.	Obs1-1st	Obs1-2nd	$0.18 \pm 0.95^\circ$	0.939
		Obs2-1st	Obs2-2nd	$0.37 \pm 1.20^\circ$	0.633
	Interobservers.	Obs1	Obs2	$0.11 \pm 1.74^\circ$	0.985
A-TEA and S-TEA	Intraobservers.	Obs1-1st	Obs1-2nd	$0.02 \pm 0.56^\circ$	0.999
		Obs2-1st	Obs2-2nd	$0.32 \pm 0.90^\circ$	0.285
	Interobservers.	Obs1	Obs2	$0.13 \pm 1.45^\circ$	0.885
AP axis and A-TEA	Intraobservers.	Obs1-1st	Obs1-2nd	$0.13 \pm 1.45^\circ$	0.978
		Obs2-1st	Obs2-2nd	$0.11 \pm 0.79^\circ$	0.987
	Interobservers.	Obs1	Obs2	$0.26 \pm 1.14^\circ$	0.844
AP axis and rPCA	Intraobservers.	Obs1-1st	Obs1-2nd	$0.03 \pm 1.80^\circ$	0.999
		Obs2-1st	Obs2-2nd	$0.16 \pm 1.18^\circ$	0.971
	Interobservers.	Obs1	Obs2	$0.29 \pm 1.13^\circ$	0.852

Obs, observer; SD, standard deviation; rPCA, real posterior condylar axis; A-TEA, anatomical transepicondylar axis; S-TEA, surgical transepicondylar axis; AP axis, anteroposterior axis (Whiteside's line).

Table 4. Comparison of Reference Angles according to the Gender

Reference angles	Male (n=38)	Female (n=12)	Total (n=50)	p-value
A-TEA and S-TEA	3.92±0.81°	3.87±1.16°	3.91±0.90°	0.735
A-TEA and rPCA	6.37±1.29°	6.23±0.99°	6.34±1.23°	0.488
S-TEA and rPCA	2.45±1.53°	2.36±1.65°	2.43±1.56°	0.727
AP axis and A-TEA	90.24±1.48°	90.02±1.97°	90.19±1.61°	0.430
AP axis and rPCA	96.61±1.79°	96.26±1.71°	96.52±1.77°	0.232

rPCA, real posterior condylar axis; A-TEA, anatomical transepicondylar axis; S-TEA, surgical transepicondylar axis; AP axis, anteroposterior axis (Whiteside's line).

술 후 결과를 정확히 측정할 수 있다. Berger 등⁵⁾이 대퇴골 치환물의 회전 정렬을 계측하는 데 정확한 측정을 위해 전산화 단층 촬영을 이용하였고, 환자의 하지를 완전히 신전시킨 상태에서 기계적 축에 수직으로 촬영한 결과를 보고하였다. 기존의 보고들은 기계적 축에 수직인 축상면을 얻기 위해 관상면의 스카우트 영상에서 대퇴 및 경골을 기준으로 측정하나 전장의 스카우트 영상이 아닌 경우 오차가 발생할 수 있고, 촬영자의 숙련도에 따라 관상면 상에서 상과간 축을 설정할 때 발생하는 오류 및 시상면에서 수직으로 절단되지 않는 오류가 발생할 수 있다. 또한, 환자의 자세를 완전히 무릎을 신전시킨 후 슬개골이 정면을 향하게 한 후 고정하여 측정하는 방법이 보고되나, 슬관절의 굴곡 구축이나, 동통으로 신전이 안 되는 경우, 외회전 변형 등이 있는 경우는 측정 시 오차가 발생할 가능성이 있다. 그러나, 저자의 방법은 대상의 하지 위치를 자유로 한 상태에서 전산화 단층 촬영 영상을 얻고, 이를 컴퓨터 프로그램을 이용해 기계적 축에 수직으로 촬영된 영상을 얻을 수 있었다. 이는 촬영시 하지의 위치에 영향을 받지 않고 기계적 축을 기준으로 한 재현성 있는 영상을 얻을 수 있는 측정 방법이며, 대퇴골의 기계적 축에 대해 수직으로 구성된 영상이므로 보다 슬관절 치환술을 반영하는 측정 결과를 얻을 수 있다고 생각된다.

슬관절 치환술시 대퇴 삽입물의 회전 정렬의 기준으로 전후방 축(Whiteside's line), 해부학적 상과간 축, 수술적 상과간 축, 후과간 축 및 경골에 수직으로 절제한 절단면을 기준으로 내측 및 외측 관절 간격의 균형을 맞추는 데 이용한다. 이들 기준 축의 신뢰성에 대한 많은 연구가 이루어졌으나, 보고서 및 연구방법에 따라 다양한 결과가 보고되고 있다.⁹⁻²²⁾

저자들은 보다 재현성 있는 방법으로 원위 대퇴부의 회전 축들의 관계를 조사하여 분석하고자 하였다. 전후방 축에 대해 Arima 등¹⁵⁾은 Whiteside's line을 정의하였고, 이를 상과간 축이나 후과간 축보다 정확한 축으로 보고하였고, 특히 외반 변형된 슬관절에서는 임상적으로 더욱 신뢰할 수 있고 술 후 좋은 결과를 보였다고 보고하였다. 그러나, Nagamine 등²¹⁾은 내측 변형된 관절염의 경우 전후방 축이 외회전되어 후과간 축이 더욱 신뢰할 수 있다고 보고하였다. 저자들의 경우 이차원 단층 촬영 영상에서 측정한 전

후방 축과 해부학적 상과간 축이 이루는 각은 90.19±1.61°, 실제 후과간 축과 이루는 각은 96.52±1.77°로 표준 편차가 2° 이내로 재현성 있는 결과를 보였으나, 재조합 삼차원 대퇴골 모델에서 측정한 값은 각각 87.04±4.11°, 93.33±3.76°로 표준 편차가 2° 이상 이었고, 단층 촬영 영상과 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 저자의 연구는 상대적으로 관절염이 없는 환자를 대상으로 하였으나, 전후방 축은 실제 수술 중 지표로 사용하는 데 있어 오차의 가능성을 고려해야 할 것으로 생각된다.

상과간 축에 대해 Berger 등¹⁹⁾은 전산화 단층 촬영을 이용한 연구에서 외측 상과의 정점과 내측 상과의 정점 아래 구를 연결한 수술적 상과간 축을 제시하였고, 수술적 상과간 축이 해부학적 상과간 축보다 더욱 신뢰할 만하고 재현성 있는 축으로 보고하였다. Griffin 등²⁰⁾도 내측 상과의 경계연의 폭이 10 mm 이상 되는 말발굽 모양이기 때문에 경계연의 가운데 구를 이용하는 수술적 상과간 축을 이용하는 것이 더욱 신뢰성 있다고 보고하였다. 그러나, Yoshino 등²³⁾은 전산화 단층 촬영을 이용한 연구에서 내측 구는 관절염이 심한 경우 관찰하기 어려우며, 48예 중 30예에서만 측정되었고, 해부학적 상과간 축이 수술적 상과간 축보다 신뢰성 있는 축이라 보고하였다. 저자들의 연구에서 수술적 상과간 축과 실제 후과간 축으로 구성된 posterior condylar angle은 2.43±1.56°로 재현성이 있었고, 모든 예에서 수술적 상과간 축을 측정할 수 있었다. 저자들의 경우는 상대적으로 퇴행성 관절염이 없는 환자를 대상으로 했기 때문인 것으로 생각된다. 그러나, 수술적 상과간 축은 수술 중에는 내측 측부 인대 등 연부 조직에 싸여있기 때문에 측정에 오차가 발생할 수 있는 점을 고려해야 할 것으로 생각되며, 기계적 축으로 배열된 삼차원 재조합 영상에서는 해부학적 내상과의 말발굽 모양의 경계연 때문에 내측 구를 측정하지 못하여 정확한 측정이 불가능하였다(Fig. 5).

후과간 축에 대해 Moon 등²⁴⁾ 및 Victor¹⁾은 후과간 축을 가장 재현성 있는 축으로 보고하였으나, 후과간 축을 기준으로 외회전 정도를 결정하는 방법은 관절염에 따른 후과의 변화로 신뢰성에 대해 부정적인 보고가 많다.^{20,25)} 저자들의 경우는 퇴행성 변화가 없는 대상을 선정해서 측정값이 재현성이 있었다고 생각된다. 네 비게이션을 이용한 슬관절 치환술시 후방과에 격자 모양의 스타

일러스를 이용하여 후과간 축을 설정할 수 있다. 네비게이션을 이용한 수술시 스타일러스를 이용한 측정은 기계적 축에 수직인 동일 평면에 후방 정점이 존재하지 않을 수 있어 저자들은 실제 후과간 축을 측정하였다. 정점간의 거리는 평균 2.06 ± 1.34 였으며, 각도는 고식적인 측정방법과 $0.66 \pm 0.64^\circ$ 의 차이를 보였으나 통계적으로 의미는 없었다($p=0.173$).

Yoshioka 등¹⁶⁾과 Berger 등¹⁹⁾은 남녀간 posterior condylar angle의 차이가 있음을 보고하였으나, Griffin 등²⁰⁾은 남녀에서 차이가 없다고 보고하였고, 저자들의 경우에도 기준 축간의 관계에서 남녀간 차이는 없었다.

본 연구는 해부학적 지표에 대한 회전 정렬의 결과를 제시하였으나, 최근 네비게이션 시스템을 이용한 연구에서 슬관절 치환술시 해부학적 지표를 이용한 방법보다 굴곡 신전 간격 방법을 이용한 방법이 더욱 정확하다는 보고가 있다.^{18,24)} 그러나, 기준 축의 다양한 신뢰도뿐 아니라 수술시 출혈, 연부조직, 슬개골의 외측전 위등으로 해부학적 위치 정하기(pointing)에 오류가 발생할 수 있다고 생각된다. 이에 보다 좋은 결과를 얻기 위해서는 해부학적 지표를 이용하는 방법뿐 아니라 굴곡 신전 간격 방법을 함께 고려하는 것이 필요할 것으로 생각된다. 또한, 본 연구는 상대적으로 정상 대퇴골에 대한 결과이므로 실제 슬관절 치환술시 퇴행성 변화가 동반된 경우 이점을 고려해야 할 것으로 생각된다.

결 론

기계적 축에 수직으로 촬영한 단층 촬영 영상을 이용하여 원위 대퇴부의 회전 축을 측정하는 방법은 재현성이 있는 방법이라고 생각되며, 특히 해부학적 상과간 축을 이용한 측정방법이 전후방 축에 비해 정확한 측정 방법으로 생각된다.

참고문헌

- Victor J. Rotational alignment of the distal femur: a literature review. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2009;95:365-72.
- Abadie P, Galaud B, Michaut M, Fallet L, Boisrenoult P, Beau-fils P. Distal femur rotational alignment and patellar subluxation: a CT scan in vivo assessment. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2009;95:267-71.
- Newbern DG, Faris PM, Ritter MA, Keating EM, Meding JB, Berend ME. A clinical comparison of patellar tracking using the transepicondylar axis and the posterior condylar axis. *J Arthroplasty.* 2006;21:1141-6.
- Walde TA, Bussert J, Sehmisch S, et al. Optimized functional femoral rotation in navigated total knee arthroplasty considering ligament tension. *Knee.* 2010;17:381-6.
- Berger RA, Crossett LS, Jacobs JJ, Rubash HE. Malrotation causing patellofemoral complications after total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1998;(356):144-53.
- Kingsley PC, Olmsted KL. A study to determine the angle of anteversion of the neck of the femur. *J Bone Joint Surg Am.* 1948;30:745-51.
- Lee YS, Oh SH, Seon JK, Song EK, Yoon TR. 3D femoral neck anteversion measurements based on the posterior femoral plane in ORTHODOC system. *Med Biol Eng Comput.* 2006;44:895-906.
- Kim JS, Park TS, Park SB, Kim JS, Kim IY, Kim SI. Measurement of femoral neck anteversion in 3D. Part 1: 3D imaging method. *Med Biol Eng Comput.* 2000;38:603-9.
- Griffin FM, Insall JN, Scuderi GR. The posterior condylar angle in osteoarthritic knees. *J Arthroplasty.* 1998;13:812-5.
- Victor J, Van Doninck D, Labey L, Van Glabbeek F, Parizel P, Bellemans J. A common reference frame for describing rotation of the distal femur: a ct-based kinematic study using cadavers. *J Bone Joint Surg Br.* 2009;91:683-90.
- Yau WP, Leung A, Liu KG, Yan CH, Wong LL, Chiu KY. Interobserver and intra-observer errors in obtaining visually selected anatomical landmarks during registration process in non-image-based navigation-assisted total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2007;22:1150-61.
- Siston RA, Patel JJ, Goodman SB, Delp SL, Giori NJ. The variability of femoral rotational alignment in total knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 2005;87:2276-80.
- Jenny JY, Boeri C. Low reproducibility of the intra-operative measurement of the transepicondylar axis during total knee replacement. *Acta Orthop Scand.* 2004;75:74-7.
- Stoeckl B, Nogler M, Krismer M, Beimel C, de la Barrera JL, Kessler O. Reliability of the transepicondylar axis as an anatomical landmark in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2006;21:878-82.
- Arima J, Whiteside LA, McCarthy DS, White SE. Femoral rotational alignment, based on the anteroposterior axis, in total knee arthroplasty in a valgus knee. A technical note. *J Bone Joint Surg Am.* 1995;77:1331-4.
- Yoshioka Y, Siu D, Cooke TD. The anatomy and functional axes of the femur. *J Bone Joint Surg Am.* 1987;69:873-80.
- Servien E, Viskontas D, Giuffrè BM, Coolican MR, Parker DA. Reliability of bony landmarks for restoration of the joint line in revision knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2008;16:263-9.

18. Stiehl JB, Abbott BD. Morphology of the transepicondylar axis and its application in primary and revision total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*. 1995;10:785-9.
19. Berger RA, Rubash HE, Seel MJ, Thompson WH, Crossett LS. Determining the rotational alignment of the femoral component in total knee arthroplasty using the epicondylar axis. *Clin Orthop Relat Res*. 1993;(286):40-7.
20. Griffin FM, Math K, Scuderi GR, Insall JN, Poilvache PL. Anatomy of the epicondyles of the distal femur: MRI analysis of normal knees. *J Arthroplasty*. 2000;15:354-9.
21. Nagamine R, Miura H, Inoue Y, et al. Reliability of the antero-posterior axis and the posterior condylar axis for determining rotational alignment of the femoral component in total knee arthroplasty. *J Orthop Sci*. 1998;3:194-8.
22. Asano T, Akagi M, Nakamura T. The functional flexion-extension axis of the knee corresponds to the surgical epicondylar axis: in vivo analysis using a biplanar image-matching technique. *J Arthroplasty*. 2005;20:1060-7.
23. Yoshino N, Takai S, Ohtsuki Y, Hirasawa Y. Computed tomography measurement of the surgical and clinical transepicondylar axis of the distal femur in osteoarthritic knees. *J Arthroplasty*. 2001;16:493-7.
24. Moon YW, Seo JG, Lim SJ, Yang JH. Variability in femoral component rotation reference axes measured during navigation-assisted total knee arthroplasty using gap technique. *J Arthroplasty*. 2010;25:238-43.
25. Matsuda S, Miura H, Nagamine R, et al. Anatomical analysis of the femoral condyle in normal and osteoarthritic knees. *J Orthop Res*. 2004;22:104-9.

Distal Femoral Rotational Alignment Based on Mechanical Axis of the Femur: A 3-Dimensional Computed Tomographic Scan in Vivo Assessment

Kwang Kyoung Kim, M.D., Woo Suk Lee, M.D.*, Youn Moo Heo, M.D.,
Jin Woong Yi, M.D., Jung Bum Lee, M.D., and Dong Sik Chae, M.D.

*Department of Orthopedic Surgery, Konyang University College of Medicine, Daejeon, *Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea*

Purpose: To measure and to analyze the relationships among the rotational axes of the distal femoral region by means of 3-dimensional (3D) computed tomographic (CT) images taken perpendicularly to the mechanical axis and a 3D rendering program.

Materials and Methods: Fifty cases involving the lower extremity were included in this study, which used 3D computed tomographic angiograms. CT images of the perpendicular cross-sections to the mechanical axis of the femur were obtained by processing 3D recombinant images using Aquaris NET[®]. The following anatomical angles were obtained from axial imaging using the 3D reconstructed bone model: transepicondylar axis, surgical transepicondylar axis, anteroposterior axis, and real posterior condylar axis.

Results: In the tomographic images, the angles to the real posterior condylar axis formed by the anatomical femoral transepicondylar axis, the anatomical femoral transepicondylar axis, and the anteroposterior axis were $6.34 \pm 1.23^\circ$, $2.43 \pm 1.56^\circ$, and $96.52 \pm 1.77^\circ$, respectively. The angles to the anatomical femoral transepicondylar axis formed by the anteroposterior axis and the surgical femoral transepicondylar axis were $90.19 \pm 1.61^\circ$ and $3.91 \pm 0.90^\circ$, respectively. In the recombinant 3D femur model, the angles to the real posterior condylar axis formed by the anatomical femoral transepicondylar axis and the anteroposterior axis were $6.29 \pm 1.86^\circ$, and $93.33 \pm 3.76^\circ$, respectively. And, the angle for anteroposterior axis from anatomical transepicondylar axis was $87.04 \pm 4.11^\circ$.

Conclusion: The method of measuring the rotational axes of the distal femur using the CT image taken perpendicularly to the mechanical axis is considered reproducible. In particular, the measurement method using the anatomical transepicondylar axis is more accurate than that using the anteroposterior axis.

Key words: total knee arthroplasty, anatomical transepicondylar axis, surgical transepicondylar axis, Whiteside's line, posterior condylar axis

Received November 3, 2010 **Accepted** January 25, 2011

Correspondence to: Youn Moo Heo, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Konyang University Hospital, 158, Gwanjeodong-ro, Seo-gu, Daejeon 302-718, Korea

TEL: +82-42-600-6937 **FAX:** +82-42-545-2373 **E-mail:** hurym1973@hanmail.net