

대퇴골두 중심간 거리를 이용한 골수강외 슬관절 전치환술

An Extramedullary Femoral Alignment System in Total Knee Arthroplasty Using the Inter-Femoral Head Center Distance

서재곤 • 임지순 • 이현일 • 우경제

성균관대학교 의과대학 정형외과학교실 삼성서울병원

목적: 기존의 골수강외 정렬기법을 이용한 슬관절 전치환술은 대퇴골두의 중심을 수술 중 확인하는데 한계가 있어 대퇴삽입물의 관상면 정렬이 정확하지 않다는 문제점이 있었다. 본 연구에서는 새롭게 고안된 marker를 이용하여 슬관절 중심과 대퇴골두의 중심을 기계적 축에 일치시키는 방법을 사용하였고 이를 통하여 원위 대퇴골 절제 및 삽입물 정렬의 정확성이 향상되는지 평가하고자 하였다.

대상 및 방법: 2008년 10월부터 2009년 1월까지 156명 255예의 슬관절을 대상으로 하였다. 술 전 PACS system에서 양측 대퇴골두 중심간 거리를 측정하였으며, 이를 새롭게 고안된 Mechanical Axis Marker에 적용하여 환자에게 장착함으로써, 수술 시 기계적 축 상에서 슬관절의 중심과 대퇴골두의 중심, marker가 일직선상에 위치하도록 하였다. Marker가 실제 대퇴골두의 중심에 위치하는 지 20명의 환자에서 C-arm으로 직접 확인하였다. 술 후에는 대퇴삽입물의 관상면에서의 정렬을 보기 위해 PACS system으로 기계적 축에 대한 대퇴삽입물의 내외반각(frontal femoral component angle)을 측정하여 결과를 분석하였다. 이상적인 각에서 3° 이내의 오차를 우수, 3-5°를 양호, 5° 이상을 불량으로 정의하였다.

결과: 수술직전 C-arm으로 marker의 위치를 확인하였을 때 대퇴골두 중심과 marker의 금속 peg 간의 간격이 95%에서 5 mm 이내로 측정되어 높은 정확성을 보였다. 평균 기계적 축에 대한 대퇴삽입물의 내외반각은 $89.0^\circ \pm 1.1$ (range $86^\circ - 96.6^\circ$)였으며, 90.6%에서 우수(231예), 8.6%에서 양호(22예), 0.8%에서 불량(2예)을 보였다. 대퇴삽입물의 내외반각에 대한 두 측정자 간 intraclass correlation coefficient는 0.972로 높은 일치도를 보였다.

결론: 골수강외 정렬기법을 이용한 슬관절 전치환술시 Mechanical Axis Marker를 이용하여 대퇴골두의 중심을 용이하게 파악할 수 있으며 이를 이용하여 기계적 축을 추적함으로써 관상면상 대퇴삽입물 정렬의 정확성을 높일 수 있었다.

색인단어: 대퇴골두 중심간 거리, 기계적 축, 골수강외 정렬기법, 슬관절 전치환술

서 론

슬관절 전치환술의 장기 예후는 환자의 선정 및 적절한 치환물의 선택, 하지의 정렬, 고정 방법, 연부조직의 균형, 관절선 높이의 회복 등 여러 요소에 의해 결정된다.¹⁻⁵⁾ 특히 그 중 하지의 정렬은

슬관절 전치환술의 장기 예후에 있어 핵심적인 요소라 할 수 있다.^{3,5,6)} 치환물의 부적당한 정렬은 폴리에틸렌의 해리와 마모 및 재수술의 빈도를 증가시킬 수 있다. 그 동안 여러 연구들에서 다양한 하지 정렬의 허용범위들이 보고 되어왔다.^{7,8)} Insall은⁹⁾ 5° 이내의 오차를 '허용가능(tolerable)'이라고 하였으며, Jeffery 등¹⁰⁻¹³⁾은 기계적 축에 대해 $\pm 3^\circ$ 이내의 내외반이 가장 좋은 결과를 가져온다고 보고하였다.

원위 대퇴부의 정확한 골 절제는 하지의 전체적 정렬과 대퇴삽입물의 적절한 위치를 위해 매우 중요하다. 현재 원위 대퇴부의 골 절제를 위해서 골수강내 정렬 유도 방식과 골수강외 정렬 유도 방식의 두 가지가 쓰이고 있으며, 일부 연구자들은 골수강외 방식이 정확도에서 큰 차이가 없거나 더 우수함을 보고하는 저자들도 있어 왔으나,¹⁴⁻¹⁶⁾ 현재 대체적으로는 골수강내 정렬 유도 방

접수일 2009년 11월 16일 게재확정일 2010년 4월 20일

교신저자 임지순

서울시 강남구 일원동 50번지, 성균관대학교 의과대학 정형외과학교실 삼성서울병원

TEL 02-3410-3509, FAX 02-3410-0061

E-mail medisoona@naver.com

*본 논문의 요지는 2009년도 대한정형외과학회 추계학술대회에서 발표되었음.

식이 골수강의 정렬 방식보다 더 정확하고 간편한 방법으로 알려져 있다.¹⁷⁻²⁰⁾ 그러나 골수강내 정렬방식은 골수강을 침습함으로써 지방 색전증의 발생 및 혈액 손실이 크며,²¹⁻²³⁾ 하지 변형이 동반되거나 기존의 수술로 인한 긴 대퇴삽입물이 있는 경우 등에는 적용 될 수 없는 단점이 있다. 이러한 골수강내 정렬의 단점에도 불구하고 골수강의 정렬방식이 많이 사용되어지지 못하는 이유는 대퇴골두의 중심을 찾는 데 제한점이 있어 관상면상에서의 대퇴삽입물 정렬이 부정확하기 때문이었다. 이러한 단점을 극복하고자 대퇴골두의 중심을 정확히 찾기 위한 노력들이 있어 왔으며,^{6,24)} 또한 수술 중 방사선을 이용하는 방법도 사용 되어 왔으나 이들은 많은 시간이 소비되며, 비용 면에서 유리하지 못하며, 추가적인 방사선 노출이라는 단점들이 있다.

이에 저자들은 골수강의 정렬방식으로 수술 시 대퇴골두의 중심을 수술 중 표시해주는 새로운 marker (마커)를 고안해 냈으며, 이 marker를 이용하여 슬관절 중심과 대퇴골두의 중심을 기계적 축에 일치 시키는 방법을 사용하면 골수강의 정렬방식의 정확성을 향상시킬 수 있다는 가설을 세웠다. 이를 증명하기 위하여 대퇴삽입물의 관상면 정렬에 대한 후향적 연구를 통해 그 정확성을 평가하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 대상

2008년 10월부터 2009년 1월까지 156명 255예의 퇴행성 골관절염을 앓고 있는 슬관절을 대상으로 하였다. 55명은 단측에 대해 수술을 시행 받았으며, 100명은 양측에 대해 수술을 받았다. 평균 연령은 67세였고, 여자 131명, 남자 25명이었다. 수술 전 평균 신체 질량지수(body mass index)는 27.4였으며 지혈대 시간(tourniquet time)은 평균 63.2분이었다(Table 1). 수술에 사용한 치환물은 전 예에서 Scorpio[®] PCS (Stryker)였다.

2. 수술 전 준비

수술 전 장하지 전후면 X선 촬영(long bone AP)을 시행하였고 이때 카세트와 환자와의 거리는 2.0 m로 일정하게 고정시킨 후 촬영하였다. PACS system (GE Medical, Centricity version 2.0)에서 양측

대퇴골두 중심간 거리(Inter-femoral Head Distance, IHD)를 측정하였으며 이때 좌우 양측이 대칭적인지 확인하기 위하여 각 대퇴골두 중심에서 치골 결합의 중심에 이르는 길이를 PACS system으로 각각 측정하여 오차가 크지 않은지 확인하였다. 슬관절 굴곡 구축이 양측 대퇴골두의 중심간 거리의 측정에 영향을 미칠 수 있어 5명의 정상 지원자(volunteer)를 대상으로 0°, 15°, 30° 슬관절을 굴곡한 채로 장하지 전후면 촬영을 시행한 후 PACS system에서 양측 대퇴골두의 중심간 거리를 측정하여 이를 비교하고자 하였다.

대퇴골두 중심간 거리를 새롭게 고안된 marker (이후 Mechanical Axis Marker라 표기)에 적용하여 환자에게 장착함으로써, 수술 시 기계적 축 상에서 슬관절의 중심과 대퇴골두의 중심, Marker가 일직선상에 위치하도록 하였다. Mechanical Axis Marker는 긴 플라스틱 관에 눈금으로 길이가 mm 단위로 표시되어 있으며, 그 위에 금속으로 된 peg가 붙어있어 이 금속부분을 눈금 위에서 움직여 측정된 길이에 위치 후 고정할 수 있게 되어 있다. 또한 수술 중에는 이 peg를 축지하여 지표(landmark)로 삼을 수 있게 하였다 (Fig. 1A, B).

마취된 환자의 골반부위의 전상장골극(anterior superior iliac spine, ASIS) 하방으로 대퇴골두 중심간 거리를 표시한 Mechanical Axis Marker를 장착했으며, 환자의 골반은 양측에서 금속 지지대(kidney bar)를 이용하여 움직이지 않도록 단단하게 고정하였다. Mechanical Axis Marker를 실제 대퇴골두 높이에 설치한다면 수술 중 슬관절 굴곡시 고관절이 2차적으로 굴곡될 때 대퇴부에 걸려 위치가 변동될 수 있으므로 실제 대퇴골두의 위치보다 더 근위부인 전상장골극 하방에 부착하였다. Mechanical Axis Marker는 기계적 축 상에서 슬관절의 중심과 일직선상에 위치하므로 좌우가 아닌 상하로의 기계적 축 상에서의 위치 이동은 최종적으로 관상면 정렬에 영향을 주지 않는다. Mechanical Axis Marker를 환자의 몸에 견고히 고정하기 위하여 Mechanical Axis Marker에 연결된 줄을 통하여 일차적으로 환자의 몸을 감싸서 묶은 후 적절한 위치에서 흔들리지 않게 줄과 환자의 피부 및 marker와 환자 사이를 플라스터로 여러 부위에서 고정하였고, 앞서 설치한 금속 지지대와 Mechanical Axis Marker를 플라스터로 팽팽하게 연결하여 비만한 환자의 경우에도 연부 조직때문에 Mechanical Axis Marker가 흔들거리는 것을 최소화하고자 하였다. 이때 Mechanical Axis Marker가 정확히 몸의 중심에 올 수 있도록 양측 전상장골극 및 Sawant²⁴⁾가 제안한 대략적 대퇴골두의 위치를 참고하여 최종적으로 고정하였다. Sawant²⁴⁾가 제안한 대퇴골두의 위치는 전상장골극과 치골결절(pubic tubercle)을 연결한 선과 대퇴동맥의 교차점 외측 1.5 cm으로, 이를 참고하기 위해 수술 전날 도플러(doppler) 초음파를 이용해 대퇴동맥의 주행과 전상장골극과 치골결절까지의 연결선을 환자의 골반부위 피부에 미리 표시해 두었다(Fig. 1C, D). 이 때 Sawant의 방법으로 유추한 대퇴골두

Table 1. Demographic and Intraoperative Data of the Patients

Age (years)*	67.3 (44-87)
Body mass index*	27.4 (17.2-37.6)
Varus deformity (degrees)*	10.2 (-11.5-34.9) [†]
Tourniquet time (minutes)*	63.2 (34-97)
Postoperative blood loss (ml)*	678 (0-2320)

*Values are average (range), [†]Negative means valgus angle.

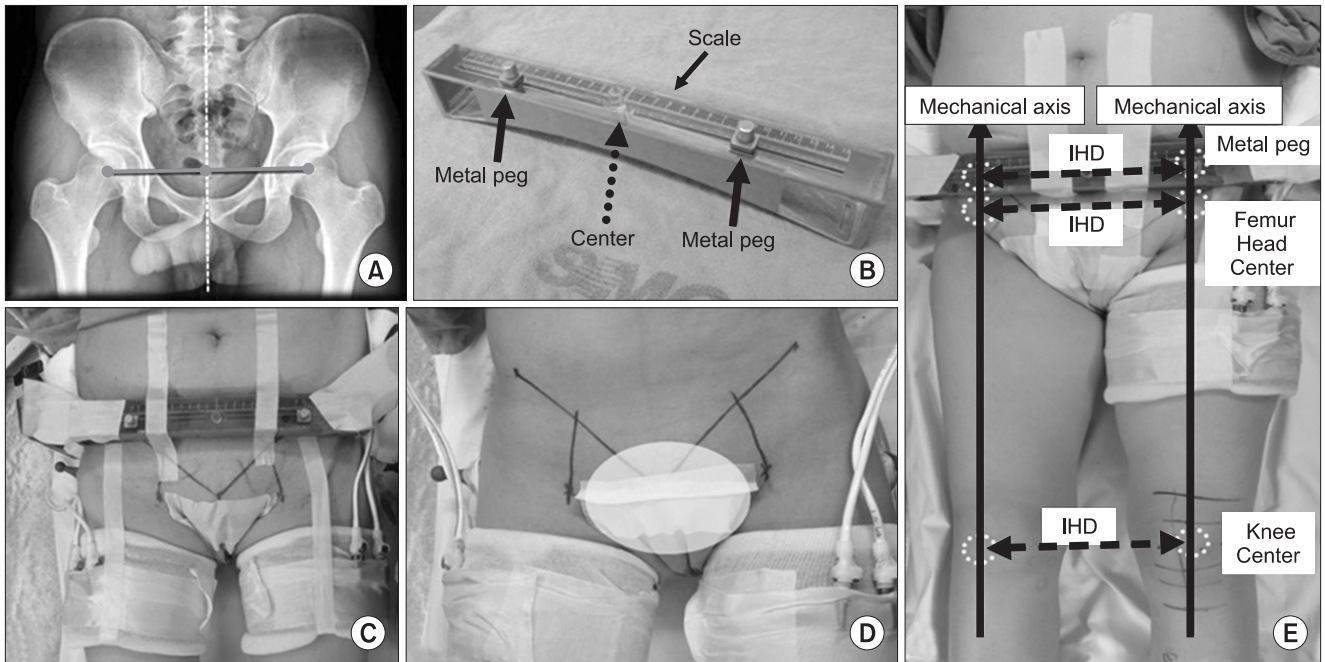


Figure 1. Mechanical axis is extramedullarily aligned using Mechanical Axis Marker. (A) X-ray shows the inter-femoral head center distance. (B) The Mechanical Axis Marker: the plastic rod and metal pegs were used to simulate inter-femoral head center distance. Black solid arrows indicate metal pegs. (C) The Mechanical Axis Marker was equipped to patients. (D) The lines indicating inguinal ligaments and the flow of femoral artery are drawn pre-operatively. (E) The mechanical axis which is the line between Metal peg (estimated femoral head center) and knee center is easily recognized during operation using this device. IHD, inter-femoral head distance.

위치와 Mechanical Axis Marker의 위치는 대부분 일치하였으나 일부 불일치 하는 경우 Mechanical Axis Marker가 제시한 대퇴골두를 기준으로 수술을 진행하였는데 이는 Sawant 방법은 대퇴동맥의 주행이 개인차가 커서 오차가 생길 수 있기 때문이었다. 불일치하는 경우 대퇴동맥의 주행은 Mechanical Axis Marker가 몸의 중심에 위치할 수 있게 하는 지표(landmark)로 이용하였다.

골수강외 정렬 기법의 시상면(sagittal) 정렬을 맞추기 위한 외부 해부학적 지표로는 대전자의 전측 경계 부위를 사용하였고 이를 수술 중에 쉽게 측지하기 위하여 대전자부 전측 경계 부위 표면에 심전도 전극(EKG lead)을 부착하고 이 전극의 금속 부위에 결합하게 고안하여 제작한 볼(Fig. 1D)을 붙인 후 플라스틱으로 재차 고정하여 흔들리지 않게 하였다. 이는 수술 중에 쉽게 측지 가능하여 시상면 정렬의 기준으로 쉽게 이용될 수 있었다.²⁵⁾

수술 시행 초기 20명의 환자에게는 Mechanical Axis Marker의 금속 peg이 대퇴골두의 중심을 정확히 표시하는지 확인하기 위하여 장착이 모두 끝난 후 C-arm을 이용하여 대퇴골두 및 Mechanical Axis Marker에 수직으로 촬영을 하였다. 이 영상을 PACS system에 저장하여 대퇴골두의 중심으로부터 금속 peg까지의 거리를 측정하였다.

장착이 모두 끝난 후 슬관절 전치환술을 위한 drape을 시행하였다.

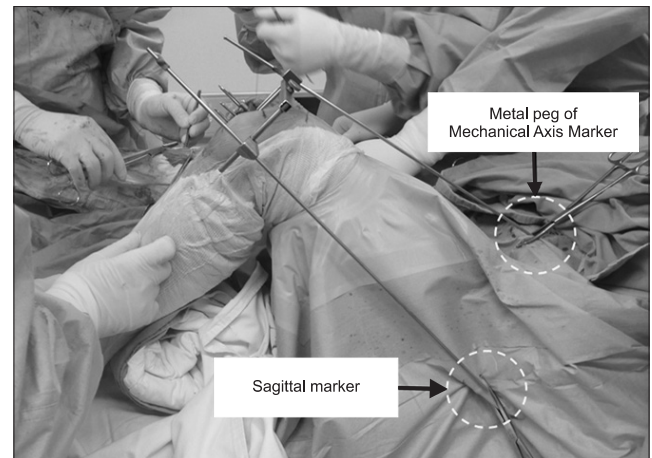


Figure 2. Extramedullary alignment method using Mechanical Axis Marker, sagittal marker and two guide rods during operation.

3. 수술 방법

슬관절 전치환술은 한 술자에 의해 시행되었으며, 수술 중 Mechanical Axis Marker의 금속 peg을 drape 위로 측지하여 골수강외 관상면 정렬 막대의 기준점으로 삼았다(Fig. 1C, E). 슬관절 신전 상태에서 하지가 중립 위치일 때 슬관절의 중심과 대퇴골두

의 중심, Mechanical Axis Marker의 금속 peg은 기계적 축 상에서 일직선상에 위치하게 된다(Fig. 1E).

시상면의 정렬을 위하여는 대전자부 전측 경계 부위에 장착한 볼과 외측 상과를 잇는 선(palpable sagittal axis)을 수술 중에 실시간으로 확인하여 그 기준으로 삼았다. Palpable sagittal axis는 실제 시상면 기계적 축에 2.4° 굴곡되어 있으며 대퇴골의 시상면 굴곡(bowing)에도 큰 영향을 받지 않아 수술 중 일정하게 시상 정렬을 맞출 수 있는 것으로 보고된 바 있다.²⁵⁾

대퇴 원위부 절골 정렬자(femoral distal cutting block)를 설치하기 직전 관상면과 시상면에 적용 가능한 2개의 지침자(rod)를 이용하여 관상면으로는 기계적 축, 시상면으로는 palpable sagittal axis에 수직으로 골절제가 이루어질 수 있게 정렬을 맞춘 후 절골 정렬자를 설치한 후 골절제 및 수술을 진행하였다(Fig. 2).

4. 수술 후 평가

술 후에는 대퇴삽입물의 관상면에서의 정렬을 보기 위해 술 후 2개월에 검사한 기립 장하지 전후면 방사선 사진상에서 PACS system으로 기계적 축에 대한 대퇴삽입물의 내외반각(frontal femoral component angle)을 측정하였다(Fig. 3). 대퇴삽입물의 시상면 정렬을 보기 위해 외측 방사선 사진상에서 감마 각도(γ angle, sagittal femoral component angle)를 측정하였다.

대퇴삽입물의 내외반각의 측정은 정확도를 높이고, 측정하는 사람에 따른 오차를 평가하기 위해 2명의 정형외과 슬관절 분야 전문가에 의해 각각 시행되었으며, 그 결과는 PASW 17.0 통계 프로그램을 이용하여 intraclass correlation coefficient를 분석함으로써 일치도를 평가 하였다. 같은 측정자가 2번 측정하여 측정자 내의 일치도(intra-observer reliability)도 평가하였다. 감마 각도는 1명의 정형외과 슬관절 분야 전문가에 의하여 1회만 측정되었다.

측정된 대퇴삽입물의 내외반각은 Jeffery 등¹⁰⁻¹³⁾이 보고했던 예후와 관련 있는 이상치(outlier)의 범위에 따라 3그룹으로 나누어, 기계적 축에 대해 대퇴삽입물이 이루는 내외반 각이 이상적인 각

인 90°에서 3° 이내의 오차에 있는 경우를 우수, 3-5° 차이를 양호, 5° 이상 차이를 불량으로 정의하였다.

결 과

장하지 전후면 방사선 촬영시 슬관절 굴곡 구축의 정도에 따라 양측 대퇴골두 중심간 거리 측정에 오차가 발생할 수 있어 오차의 정도를 파악하기 위한 예비 실험 결과 슬관절 굴곡 각도에 따른 대퇴골두 중심간 거리의 차이는 평균 1.64 mm였고 가장 차이가 많이 나는 경우는 4.7 mm로 측정되었다.

Mechanical Axis Marker의 정확성을 확인하기 위하여 C-arm을 이용하여 Mechanical Axis Marker의 금속 peg와 대퇴골두 중심의

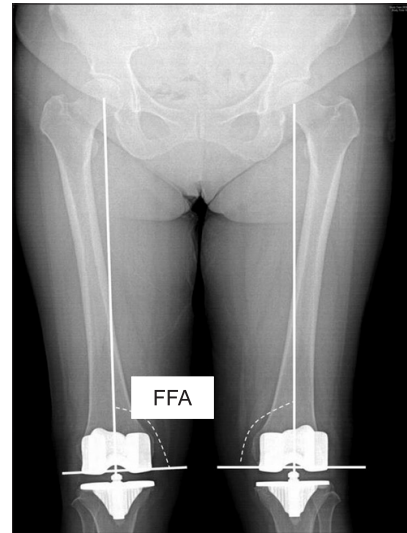


Figure 3. A radiograph showing the mechanical axis in the coronal plane. The alignment of the coronal femoral components was measured by the intersection of a line drawn across the base of each component and the mechanical axis. FFA, frontal femoral angle.

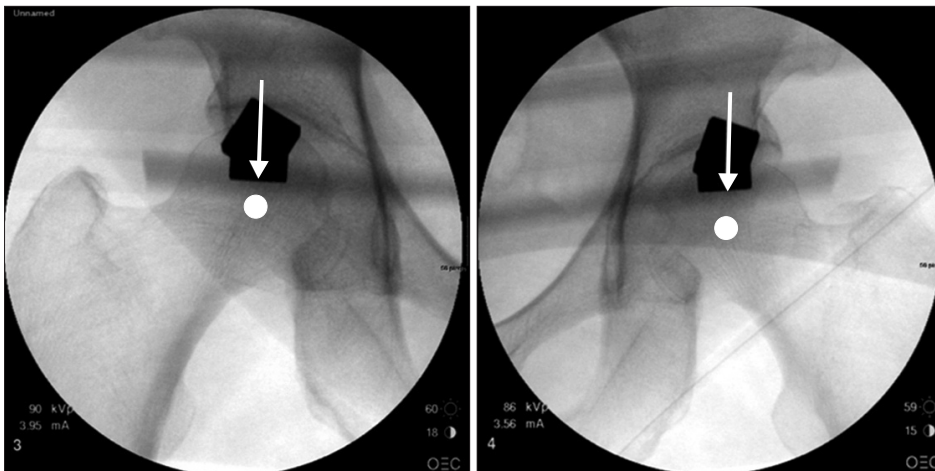


Figure 4. Accuracy of Mechanical Axis Marker was validated using C-arm. Representative pictures are shown among 20 patients.

위치를 비교하였을 때, 20명 중 19명(95%)에서 금속 peg와 대퇴골두 중심은 같은 수직선상에 위치하였으며 그 간격이 5 mm 이내로 측정되었고 나머지 한 명만이 7 mm의 간격을 보여 그 정확성이 우수한 것으로 판단되었다(Fig. 4). 또한 좌우 대퇴골두 위치가 비대칭인 경우 오차가 발생할 수 있어 이를 확인하기 위하여 모든 환자에서 좌우 대퇴골두 중심에서 치골 결합의 중심까지의 거리를 측정하였을 때 양측 거리의 차이가 평균 2.3 mm (표준 편차 1.44 mm)로 크지 않을 것을 확인할 수 있었다.

255예의 평균 대퇴삽입물의 내외반각은 $89.0^{\circ} \pm 1.1$ (range 86° – 96.6°)였으며, 90.6%에서 우수(231예), 8.6%에서 양호(22예), 0.8%에서 불량(2예)을 보였다. 불량 2예는 모두 95° 이상의 외반을 보였다. 측정자간 차이를 분석한 일치도 검사에서는 intraclass correlation coefficient가 0.9720 (95% confidence interval: 0.9643–0.9780)으로 두 측정자간 높은 일치도를 보이는 것으로 나왔다. 같은 측정자가 2번 측정한 값의 차이를 분석한 일치도 검사에서 intraclass correlation coefficient는 0.9560 (95% confidence interval: 0.9421–0.9653)으로 측정되었다.

시상면의 대퇴삽입물의 정렬을 보는 감마 각도는 평균 $2.17^{\circ} \pm 1.81$ (범위 0.08° – 8.80°)로 측정되었다. 감마 각도에 대하여는 측정자간 및 측정자내 일치도 검사를 시행하지 않았다.

고 찰

본 연구를 통하여 Mechanical Axis Marker가 대퇴골두의 중심을 적은 오차 범위 내에서 표시하여 줄 수 있음을 확인하였고 이를 수술 중 이용하여 대퇴삽입물의 관상면 정렬을 기계적 축에 일치하도록 대퇴골 원위부 골절제를 실시한 결과, 99.2%의 중례에서 ‘양호’ 이상의 우수한 결과를 얻을 수 있었다.

슬관절 전치환술의 성공에 관여하는 여러 요소 중 가장 중요한 것은 하지의 적절한 정렬 상태이며 특히 관상면상에서의 대퇴-경골각은 슬관절 전치환술의 장기 추시 결과에 가장 큰 영향을 주는 인자로 알려져 있다.²⁶⁾ 일반적으로는 기계적 축에 대해 $\pm 3^{\circ}$ 이내의 내 외반이 가장 좋은 결과를 가져오는 것으로 알려져 있으며,^{10–13)} 원위 대퇴부의 정확한 골 절제는 하지의 전체적 정렬과 대퇴삽입물의 적절한 위치를 위해 매우 중요하다. 현재 원위 대퇴부의 골 절제를 위해서 골수강내 정렬 유도 방식과 골수강외 정렬 유도 방식의 2가지가 쓰이고 있으며, 골수강내 정렬 유도 방식이 골수강외 정렬 방식보다 더 선호되고 있는데 이는 수술 중 대퇴골두의 중심을 찾기 위한 술기가 번거롭기 때문이라고 사료된다.^{17–20)} 본 연구에서는 이러한 단점을 극복하고자 골수강외 정렬기구의 목표를 대퇴골두를 찾는 것이 아닌 기계적 축을 추적하는 방식으로 수정하였다. 술 전에 검사한 골반 방사선 사진상 양측 대퇴골두 중심간의 거리를 측정하였으며, 이를 Mechanical Axis Marker의 금속 peg에 표시하여 몸의 중심에 올려 놓고 양 슬관절의 중심 간격을 대퇴골두 중심 간격만큼 설정해 놓으면, 슬관절의 중심과 대퇴골두의 중심, Mechanical Axis Marker의 금속 peg은 기계적 축 상에서 일직선상에 위치하게 된다. 설치 과정에서 Mechanical Axis Marker가 몸의 중심에서 약간 벗어난다 하더라도 평균 한국인 대퇴골의 길이²⁷⁾와 본 연구에서 측정한 대퇴골두 중심과 Mechanical Axis Marker의 평균거리를 기준으로 했을 때 관상면상 3° 이상의 정렬의 차이를 보이려면 삼각함수로 계산 시 양측으로 각각 약 30 mm 이상을 벗어나야 한다(Fig. 5). 따라서 Mechanical Axis Marker의 장착 시 물론 몸의 중심선에 정확히 위치해야 하지만 좌우로 3 cm 이내의 오차는 허용범위 내에 든다 할 수 있다. 본 연구에서는 Mechanical Axis Marker가 정확히 몸의 중심에 올 수 있도록 이 marker를 환자의 골반에 플라스틱을

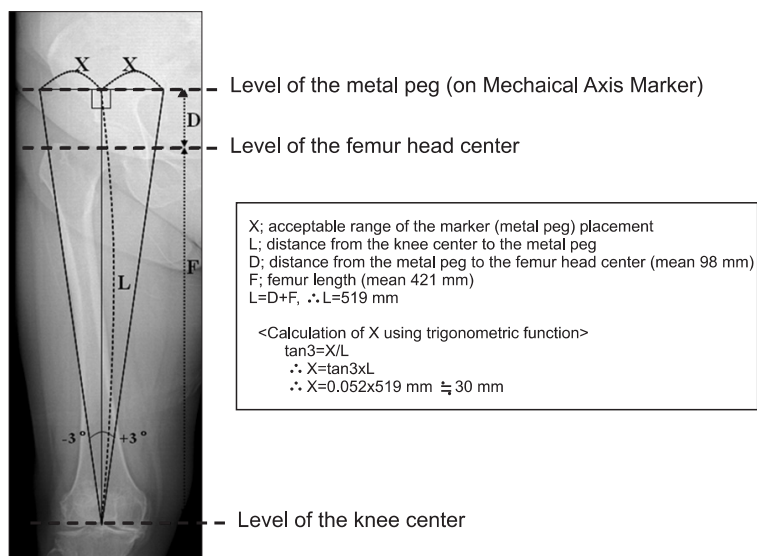


Figure 5. Acceptable range of error in Mechanical Axis Marker placement.

이용해 임시로 고정된 상태에서 양측 전상장골극을 술 자의 모지와 인지로 감싸듯 전 후 양측의 모지 말단이 가리키는 Mechanical Axis Marker 위의 눈금을 읽어 양측이 같은 부위에 위치하게 장착 하였으며, 이때 Sawant 등²⁴⁾이 제안한 대략적 대퇴골두의 위치를 참고하여 최종적으로 고정하였다. 또한 이를 실제로 확인하기 위하여 일부 환자에서 C-arm으로 수술 시작 직전 확인하였을 때 95%에서 5 mm 이내의 오차를 보였으며 5 mm의 오차는 위 계산식을 이용할 때 0.6°의 정렬 차이를 보여 Marker의 정확성을 확인할 수 있었다.

진행된 퇴행성 관절염 환자들은 드물지 않게 슬관절 굴곡 구축이 있어 장하지 전후면 방사선 촬영시 굴곡 구축의 정도에 따라 양측 대퇴골두 중심간 거리에 오차가 발생할 수 있다. 오차의 정도를 파악하기 위하여 5명의 정상 지원자(volunteer)를 대상으로 0°, 15°, 30° 슬관절을 굴곡한 채로 장하지 전후면 촬영을 시행한 예비 실험 결과 슬관절 굴곡 각도에 따른 대퇴골두 중심간 거리의 차이는 평균 1.64 mm였고 가장 차이가 많이 나는 경우는 4.7 mm로 이 정도의 오차는 이미 언급했듯이 정확성에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

골수강외 방식은 골수강을 침습하지 않는 비침습적 방법으로 골수강내 방식에 비하여 출혈이나 지방 색전증, 술 후 저산소증, 술 중 골절 가능성의 빈도가 낮게 보고되고 있다. 본 연구에서 골수강내 술식과 골수강외 술식을 직접적으로 비교하지는 않았지만 본 논문의 저자가 2006년부터 2007년까지 629명 937예의 슬관절 전치환술을 골수강외 정렬 방식으로 수술한 후 최장 6개월간 합병증을 추시 관찰하였을 때 지방 색전증이나 폐색전증은 한 건도 보고되지 않았음을 미루어 볼 때 골수강외 정렬 방식이 안전한 방식임을 예측할 수 있다.²⁷⁾

최근 최소 침습 인공 관절 치환술, 로봇 및 컴퓨터 수술의 발전과 더불어 이러한 시술에 대한 환자들의 적극적인 요구 그리고 수술 후 빠른 회복에 대한 기대 등에 부응하여 네비게이션 기기를 이용한 골수강외 정렬 유도 방식을 이용한 수술이 시행되고 있으나, 이는 비용과 수술 시간의 증가 등의 이유로 보편적으로

쓰이고 있지는 않다.^{28,29)} Engh과 Petersen¹⁹⁾은 골수강내 정렬 유도 방식의 정확성을 87.5%, 골수강외 정렬 유도 방식의 정확성을 68.8% 라고 보고하였고, Brys 등¹⁸⁾은 골수강외 정렬 방식의 정확성을 44%라고 보고하기도 하였다. Tillett 등²⁰⁾에 의하면 골수강내 방식은 92%, 골수강외 방식은 80%에서 만족할 만한 정렬을 얻었다고 하였으나, 이 차이가 통계학적으로 유의하지 않았다고 하였다. Cates 등¹⁶⁾은 경험이 풍부한 술자에게 골수강외 방식은 매우 편리한 방법이지만, 보통의 술자에게 골수강외 방식은 많은 변이성(variability)으로 인해 매우 어려운 술기라고 말하기도 하였고, 이전의 많은 보고들이 골수강외 방식의 부정확성이나 부정확한 원위 대퇴골 절제를 보고하고 있으나, 이는 통계학적 유의성을 찾기 어려운 적은 수의 환자 군이 원인이거나, 하지 전체가 아닌 슬관절 전후면 사진만으로 하지의 정렬을 평가 하였기 때문이었다. Engh과 Petersen¹⁹⁾은 골수강내 정렬 유도 방식에서 골수강외 정렬 유도 방식보다 더 높은 정확성을 보고하였으나, 적은 수의 슬관절을 대상으로 하였기 때문에 통계학적 유의성을 얻지는 못하였다. 본 연구에서는 156명에서 255예의 슬관절을 대상으로 하여 기립 장하지 전후면 촬영상 대퇴삽입물의 정렬을 연구하였다. 모집단이 되는 골수강외 정렬 방식으로 수술한 슬관절의 수가 이전의 연구들보다 대규모라는 점에서 가치가 있을 것으로 사료된다. 결과에서 90.6%에서 우수(231예), 8.6%에서 양호(22예)로, 0.8%에서 불량(2예)을 보였다. 이는 기존의 골수강외 기법의 결과들에 비교해 고무적인 결과라 할 수 있으며 기존 골수강외 기법들에 비하여 대퇴골두의 중심을 찾는 방법이 더 수월하고 정확하기 때문인 것으로 사료된다. 과거 골수강내 정렬 유도 방식과 골수강외 정렬 유도 방식의 성적을 본 연구와 비교하였을 때 모집단의 수도 월등히 많았으며 결과의 정확성도 비슷하거나 더 우수한 것을 확인하였다(Table 2).

255예 중 2예인, 5°가 넘어가는 이상치(outlier)는 모두 약간의 외반 정렬을 보이고 있었다. 이상치(outlier)가 생긴 이유는 술전 Mechanical Axis Marker가 정확히 장착되지 않았거나 또는 Mechanical Axis Marker의 위치는 정확했다 하더라도 수술 중 절

Table 2. Reference Review for Accuracy of Frontal Femoral Angle in accordance with Alignment Methods

Alignment methods	Case number	Surgery-performed year	Mean angle*	Range	Good outcome (%)†	Reference
IM‡	40	N.D.§	N.D.	N.D.	87.5	Engh et al. ¹⁹⁾
IM	125	1990-1991	91	86-96	85.6	Cates et al. ¹⁶⁾
IM	235	1995-1991	90.4	N.D.	77	Jenny et al. ³¹⁾
EM	32	N.D.	N.D.	N.D.	68.6	Engh et al. ¹⁹⁾
EM	75	1990-1991	90	84-95	72	Cates et al. ¹⁶⁾
EM	255	2008-2009	89.0	86-96.6	90.6	This article

*Mean frontal femoral component angle, †Good outcome means percentage of patients who have frontal femoral component angle within $\pm 3^\circ$,

‡Intramedullary guide, §Not documented, ||Extramedullary guide.

골 및 대퇴삽입물의 최종 삽입 시 오차가 생겼을 가능성도 있을 것으로 사료된다. Mechanical Axis Marker의 장착에 오차가 생길 수 있는 원인으로는 1) 부적절한 방사선 촬영으로 대퇴골두 중심간 거리 측정에 오차가 있는 경우, 2) 비만 환자 등의 경우에서 몸의 중심선에서 대칭적으로 Mechanical Axis Marker를 장착하지 못한 경우, 3) 처음 고정이 적절하였다 하더라도 수술 중 그 위치의 고정이 적절하지 못하여 흔들리는 경우를 가정할 수 있으며 이를 앞으로도 보완하여야 할 것으로 사료된다.

저자들은 이전의 연구³⁰⁾에서 80예의 골수강의 정렬방식과 80예의 골수강내 정렬방식을 비교하여 골수강의 정렬방식에서 92%에서 $\pm 3^\circ$ 이내의 좋은 정렬을 보였음을 보고한 바 있다. 당시 연구에서는 골수강의 정렬방식에 대퇴골의 역학적 축과 직각을 이루는 대퇴골 원위부 내·외측의 condylar plateau line (CPL)을 정하고 이 두 선 간의 차이(CPL gap)를 이용하여 기계적 축을 추적하는 방식을 사용하였다. 당시의 기법은 오차를 줄이기 위하여 연골을 제거하여 연골하골을 노출시켜야 하는 과정이 필요하였으나 Mechanical Axis Marker를 사용하는 기법에서는 생략 가능하여 실제 적용시 더 쉽고 수술 시간도 단축되는 효과가 있었다. 이전의 연구³⁰⁾에서 피부절개로부터 봉합까지 걸린 수술 시간이 평균 69분이었으며 금번 연구에서는 피부절개로부터 compressive dressing까지 걸린 토니켓 시간이 평균 63분으로 수술 시간이 단축되었다. 또한 피부 절개를 시작하기 전 이미 정확한 대퇴골두의 위치가 파악된 후 표시되어 있는 상태로 수술이 진행되었고 대퇴골두의 위치에 대한 신뢰도가 높아 실제 수술 시 적용이 더 쉬운 경향을 보였다. 그 결과에 있어서도 이전 연구보다 3배 이상 많은 255예의 슬관절을 대상으로 했음에도 90.6%의 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구의 가장 큰 제한점은 기존의 골수강내 정렬 방식과 직접적으로 비교를 한 대조군 연구가 아니라는 점으로 골수강의 정렬 방식의 정확성, 수술 소요 시간 및 합병증 발생 빈도의 차이에 대한 정확한 비교를 위하여는 향후 무작위 전향적 대조군 연구가 필요할 것으로 사료된다. 두번째 제한점으로는 Mechanical Axis Marker로 찾은 대퇴골두의 위치의 정확성을 수술 시행 초기 20명의 환자에서만 C-arm으로 확인하였다는 점으로 Mechanical Axis Marker의 정확성을 좀 더 명확히 밝히기 위하여는 좀 더 많은 수의 환자를 대상으로 검증 과정이 필요할 것으로 사료되었다.

결 론

골수강의 정렬기법을 이용한 슬관절 전치환술시 대퇴골두 중심간의 거리를 Mechanical Axis Marker에 대입하여 적용하는 방식으로 기계적 축을 추적함으로써 관상면상 대퇴삽입물 정렬의 정확성을 높일 수 있다. 이 방법은 기존의 골수강의 정렬방식에서 대퇴골두를 찾는데 많은 시간이 소비되고, 비용 면에서 유리하지

못하며, 추가적인 방사선에 노출된다는 단점들을 극복할 수 있어, 골수강의 기법을 이용하는데 유용한 방식으로 사용될 수 있다.

지방 색전증과 출혈 등의 합병증이 우려되거나, 골수강내 정렬 방식으로는 불가능한 심한 골 변형이 동반된 경우에 Mechanical Axis Marker를 사용하여 골수강의 정렬방식으로 슬관절 전치환술을 시행함으로써 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- Bai B, Baez J, Testa N, Kummer FJ. Effect of posterior cut angle on tibial component loading. *Arthroplasty*. 2000;15:916-20.
- Mihalko WM, Krackow KA. Posterior cruciate ligament effects on the flexion space in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 1999;360:243-50.
- Matsuda S, Miura H, Nagamine R, et al. Posterior tibial slope in the normal and varus knee. *Am J Knee Surg*. 1999;12:165-8.
- Laskin RS. Total knee arthroplasty using an uncemented, polyethylene tibial implant. A seven-year follow-up study. *Clin Orthop Relat Res*. 1993;288:270-6.
- Andriacchi TP. Biomechanics and gait analysis in total knee replacement. *Orthop Rev*. 1988;17:470-3.
- Matsuda Y, Ishii Y, Ichimura K. Identifying the center of the femoral head using ultrasonography to assess the higher accuracy of femoral extramedullary guides in TKA. *J Orthop Sci*. 2004;9:6-9.
- Ritter MA, Herbst SA, Keating EM, Faris PM, Meding JB. Long-term survival analysis of a posterior cruciate-retaining total condylar total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 1994;309:136-45.
- Hvid I, Nielsen S. Total condylar knee arthroplasty. Prosthetic component positioning and radiolucent lines. *Acta Orthop Scand*. 1984;55:160-5.
- Insall JN. *Surgery of the knee*. New York: Churchill Livingstone; 1984. 587-696.
- Jeffery RS, Morris RW, Denham RA. Coronal alignment after total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br*. 1991;73:709-14.
- Rand JA, Coventry MB. Ten-year evaluation of geometric total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 1988;232:168-73.
- Bargren JH, Blaha JD, Freeman MA. Alignment in total knee arthroplasty. Correlated biomechanical and clinical observations. *Clin Orthop Relat Res*. 1983;173:178-83.
- Lotke PA, Ecker ML. Influence of positioning of prosthesis in total knee replacement. *J Bone Joint Surg Am*. 1977;59:77-9.

14. Baldini A, Adravanti P. Less invasive TKA: extramedullary femoral reference without navigation. *Clin Orthop Relat Res.* 2008;466:2694-700.
15. Yoo JH, Han DY, Han CD, et al. Intramedullary and extramedullary combined alignment system for tibial component placement in total knee arthroplasty. *J Korean Knee Soc.* 2004; 16:118-24.
16. Cates HE, Ritter MA, Keating EM, Faris PM. Intramedullary versus extramedullary femoral alignment systems in total knee replacement. *Clin Orthop Relat Res.* 1993;286:32-9.
17. Dennis DA, Channer M, Susman MH, Stringer EA. Intramedullary versus extramedullary tibial alignment systems in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 1993;8:43-7.
18. Brys DA, Lombardi AV Jr, Mallory TH, Vaughn BK. A comparison of intramedullary and extramedullary alignment systems for tibial component placement in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1991;263:175-9.
19. Engh GA, Petersen TL. Comparative experience with intramedullary and extramedullary alignment in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 1990;5:1-8.
20. Tillett ED, Engh GA, Petersen T. A comparative study of extramedullary and intramedullary alignment systems in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1988;230:176-81.
21. Kandel L, Vasili C, Kirsh G. Extramedullary femoral alignment instrumentation reduces blood loss after uncemented total knee arthroplasty. *J Knee Surg.* 2006;19:256-8.
22. Kumar N, Saleh J, Gardiner E, Devadoss VG, Howell FR. Plugging the intramedullary canal of the femur in total knee arthroplasty: reduction in postoperative blood loss. *J Arthroplasty.* 2000;15:947-9.
23. Markel DC, Femino JE, Farkas P, Markel SF. Analysis of lower extremity embolic material after total knee arthroplasty in a canine model. *J Arthroplasty.* 1999;14:227-32.
24. Sawant MR, Murty A, Ireland J. A clinical method for locating the femoral head centre during total knee arthroplasty. *Knee.* 2004;11:209-12.
25. Seo JG, Kim BK, Moon YW, et al. Bony landmarks for determining the mechanical axis of the femur in the sagittal plane during total knee arthroplasty. *Clin Orthop Surg.* 2009;1:128-31.
26. Teter KE, Bregman D, Colwell CW Jr. The efficacy of intramedullary femoral alignment in total knee replacement. *Clin Orthop Relat Res.* 1995;321:117-21.
27. Shin YH, Kim MH, Ko JS, Park JA. The safety of simultaneous bilateral versus unilateral total knee arthroplasty: the experience in a Korean hospital. *Singapore Med J.* 2010;51:44-9.
28. Novak EJ, Silverstein MD, Bozic KJ. The cost-effectiveness of computer-assisted navigation in total knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89:2389-97.
29. Stulberg SD, Yaffe MA, Koo SS. Computer-assisted surgery versus manual total knee arthroplasty: a case-controlled study. *J Bone Joint Surg Am.* 2006;88 Suppl 4:47-54.
30. Seo JG, Moon YW, Kim YS. A comparison of extramedullary and intramedullary femoral component alignment guide systems in TKA. *J Korean Knee Soc.* 2006;18:47-54.
31. Jenny JY, Boeri C, Ballonzoli L. Coronal alignment of the lower limb. *Acta Orthop.* 2005;76:403-7.

An Extramedullary Femoral Alignment System in Total Knee Arthroplasty Using the Inter-Femoral Head Center Distance

Jai-Gon Seo, M.D., Ji-Soon Lim, M.D., Hyun-Il Lee, M.D., and Kyung-Jea Woo, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, Korea

Purpose: Total knee arthroplasty using the extramedullary technique for alignment has some difficulty for detecting the center of the femoral head intra-operatively. In this study we tried to evaluate the usefulness and accuracy of a newly developed Mechanical Axis Marker that synchronizes the center of the knee joint and femoral head with the mechanical axis for the distal femoral cutting and femoral prosthesis alignment.

Materials and Methods: Between October 2008 and January 2009, 255 knees in 156 patients underwent total knee arthroplasty. We measured the distance between each centers of the femoral head using the PACS system and we applied the distance to the newly developed Mechanical Axis Marker. Subsequently, we applied the new marker to patients to align the centers of knee, the femoral head and the marker in line with the mechanical axis intra-operatively. The accuracy of the marker was validated with C-arm fluoroscopy pre-operatively in 20 patients. Post-operatively we measured and analyzed the frontal femoral component angle to evaluate the coronal alignment of the femoral implant. The accuracy was rated as excellent when the alignment was $<3^\circ$, as good when the alignment was $3-5^\circ$, and as poor when the alignment was $>5^\circ$.

Results: The pre-operative validation study with the C-arm fluoroscopy showed that the distance between the femoral head center and the metal peg of the marker was within 5 mm in 95% of the patients, which implied acceptable accuracy. The average frontal femoral component angle against the mechanical axis was $89.0^\circ \pm 1.1$ (range $86^\circ-96.6^\circ$). The proportion of excellent, good, and poor alignments was 90.6% (231 cases), 8.6% (22 cases), and 0.8% (2 cases), respectively. The intraclass correlation coefficient between the two observers for the frontal femoral component angle was 0.972 which showed high concordance.

Conclusion: Our results indicate that the extramedullary technique assisted by our new Mechanical Axis Marker can easily identify the center of femoral head and improve the accuracy of frontal femoral component alignment with the proper mechanical axis.

Key words: distance between the centers of the femoral head, mechanical axis, extramedullary alignment technique, total knee arthroplasty

Received November 16, 2009 Accepted April 20, 2010

Correspondence to: Ji-Soon Lim, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, 50, Irwon-dong, Gangnam-gu, Seoul 135-710, Korea

TEL: +82-2-3410-3509 FAX: +82-2-3410-0061 E-mail: medisoona@naver.com