



# 하지 각 변형에 대한 임상적 및 방사선적 평가

정창훈<sup>✉</sup> · 노종호

가톨릭대학교 의과대학 부천성모병원 정형외과학교실

## Clinical and Radiological Analysis of Angular Deformity of Lower Extremities

Changhoon Jeong, M.D.<sup>✉</sup>, Jong Ho Noh, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, Bucheon St. Mary's Hospital, College of Medicine, The Catholic University of Korea, Bucheon, Korea

### ✉Correspondence to:

Changhoon Jeong, M.D.  
 Department of Orthopedic Surgery,  
 Bucheon St. Mary's Hospital, College  
 of Medicine, The Catholic University of  
 Korea, 327 Sosa-ro, Bucheon 14647,  
 Korea  
 Tel: +82-32-340-7089  
 Fax: +82-32-340-2671  
 E-mail: changhoonj@gmail.com

Financial support: None.

Conflict of interests: None.

The alignment of lower extremities is an important consideration in many clinical situations, including fracture reduction, high tibia osteotomy, total knee arthroplasty, and deformity correction. Mal-alignment of lower extremities is not only a simple cosmetic problem, but it can also produce pain, limp, and early degenerative arthritis. An assessment of lower extremity alignment, including its location and magnitude of deformity, can be achieved via mal-alignment test and mal-orientation test, using a lower extremity standing full-length radiography. Proper evaluation allows the surgeon to determine an effective treatment plan for deformity correction.

**Key Words:** Deformity, Lower extremity

## 서 론

하지 변형(deformity)을 이해하기 위해서는 하지가 정상에 비해 변형이 있는가? 변형이 있다면 어느 위치에, 어느 정도 있는지에 대해 평가해야 한다. 하지 변형의 종류는 하지 부동(leg length discrepancy), 각 변형(angulation), 회전 변형(rotation) 및 전위 변형(translational deformity) 등이 있다. 변형의 원인은 선천성, 외상, 감염, 종양, 신경학적 이상, 골이형성증(skeletal dysplasia), 골이영양증(skeletal dystrophy) 및 퇴행성 관절염 등이 있다.<sup>1-3)</sup> 하지의 변형이 있어 하지의 정렬 이상(mal-alignment) 및 관절면 방향이상(mal-orientation)이 있는 경우는 미용적 문제뿐 아니라 임상적으로 파행 및 통

증이 발생되며 조기 관절염을 유발할 수 있다.<sup>4,5)</sup> 따라서 하지 변형에 대한 적절한 교정 치료가 필요하며 치료 계획을 세우기 위해서는 정확한 평가가 선행되어야 한다. 그리고 하지 정렬에 대한 이해는 골절 정복 및 슬관절 치환술 등의 경우에도 매우 중요한 고려 대상이 된다.<sup>4)</sup> 이에 저자들은 하지 변형 중 흔한 변형 중 하나인 각 변형에 대한 임상적 및 방사선적 평가에 대하여 살펴보고자 한다.

### 1. 용어 정의 및 정상 매개 변수(normal parameter and terminology)

하지의 변형을 이해하기 위해서는 하지의 정상 정렬과 방

향에 대한 정의, 그리고 이를 표현하는 여러 매개변수(parameters)에 대한 정의 및 정상 범위를 알고 있어야 한다.

**정렬(alignment):** 하지의 정상적인 정렬은 고관절, 슬관절 및 족관절의 중심점이 일직선(collinearity)을 이룬다.

**관절 방향(joint orientation):** 해부학적 축(anatomic axis) 또는 역학적 축(mechanical axis)과 관절 방향선(joint orientation line)이 이루는 각도.

**해부학적 축(anatomic axis):** 장관골의 중앙 골간선(mid-diaphyseal line)을 말한다. 변형이 없는 정상 대퇴골 및 경골의 해부학적 축은 각각 단일 직선(single straight line)상에 있으나 변형이 있는 경우는 근위 및 원위 분절이 각각 독립된 해부학적 축을 갖는다.

**역학적 축(mechanical axis):** 근위 관절의 중심점(joint center point, JCP)과 원위 관절의 중심점을 연결하는 선이다. 관상면(frontal plane)에서 대퇴골과 경골의 역학적 축이 이루는 각은 정상이  $1.3^{\circ} \pm 2.0^{\circ}$ 이며, 해부학적 축이 이루는 각은  $6^{\circ}$  외반이다. 경골의 역학적 축과 해부학적 축은 거의 일치하며 해부학적 축-역학적 축간각(anatomic-mechanical angle, AMA)은  $0^{\circ}$ 이다. 대퇴골은 역학적 축과 해부학적 축이 원위부에서 만나며 정상 AMA는  $7^{\circ} \pm 2^{\circ}$ 이다.

**관절 중심점:** Moreland 등<sup>6)</sup>의 보고에 의하면 관상면에서 고관절의 중심점은 대퇴골 두의 중앙이고 슬관절인 경우 원위 대퇴골(femoral condyle)의 중앙 또는 경골 극(spine)의 중앙점이다. 족관절의 중심점은 또는 경골 천장 또는 거골의 중앙이다.

**관절 방향선(joint orientation lines):** 특정 면에서의 관절의 방향을 표현하는 선을 관절 방향선이라 한다. 관상면에서 족관절의 관절 방향선은 경골천장(tibia plafond) 또는 거골(talus) 천장(dome)을 연결하는 선이다. 시상면에서는 원위 경골의 전방순(anterior lip)과 후방순(posterior lip)을 연결하는 선이다. 관상면에서 슬관절의 방향선은 근위 경골의 내, 외측 고평부(plateaus)를 연결하는 선과 원위 대퇴골의 내, 외과의 원위 단을 연결하는 선이다. 시상면에서 슬관절의 방향선은 근위 경골 고평부를 따라 그은 선이며 대퇴골 과가 전후방에서 골간단(metaphysis)과 만나는 두 점을 연결하는 선이다. 성장정지(growth arrest) 등이 있어 이 선을 사용하기 어려운 경우는 원위 대퇴골 관절 방향선으로 Brumensaat 선을 사용하기도 한다. 고관절에서 대퇴골 두는 원형이기 때문에 대퇴경부를 연결하는 선과 대전자를 사용한다. 관상면에서는 대퇴골 두의 중심점과 대전자 상단을 연결하는 선 또는 대퇴경부의 중심선과 대퇴골 두의 중심점을 연결하는 선을

관절 방향선으로 사용한다.

**관절 방향각(joint orientation angle):** 관상면과 시상면에서 역학적 축과 해부학적 축이 각각 관절 방향선과 이루는 각을 관절 방향각이라고 한다. 이 각도의 명칭은 여러 저자들에게 의해 다양하게 불렸으나 Paley 등<sup>7)</sup>은 관절 방향각을 다음과 같은 순서로 알파벳 약자를 사용하여 명명(nomenclature)하여 단순화하였으며 현재 많이 사용되고 있다. 역학적 축(mechanical, m), 해부학적 축(anatomic, a)과 이루는 각을 우선 표시하고, 외측각(lateral, L), 내측각(medial, M), 전방각(anterior, A) 및 후방각(posterior, P)을 표시하고 근위부(proximal, P), 원위부(distal, D), 그리고 대퇴골(femur, F), 경골(tibial, T) 순으로 표시하였다. 예를 들어 mL DFA는 역학적 축(m), 외측(L), 원위(D) 대퇴골(F), 각도(angle, A) (mechanical lateral distal femoral angle)이며 관상면에서 원위 대퇴골의 슬관절 방향선과 역학적 축이 이루는 외측 각을 말한다. 관절 방향각의 정상범위는 여러 저자들<sup>6-10)</sup>에 의해서 보고되고 있는데 나이, 성별, 키(height) 및 인종에 따라 다양하기 때문에 반대편 하지가 정상인 경우 반대 하지를 기준으로 평가하는 유용한 방법이 된다(Table 1, Fig. 1).

**관절선 합제각(joint line convergence angle, JLCA):** 한 관절의 두 개의 관절 방향선이 이루는 각도이다. 일반적으로 슬관절과 족관절의 정상 JLCA는  $0^{\circ} - 2^{\circ}$ 이다.

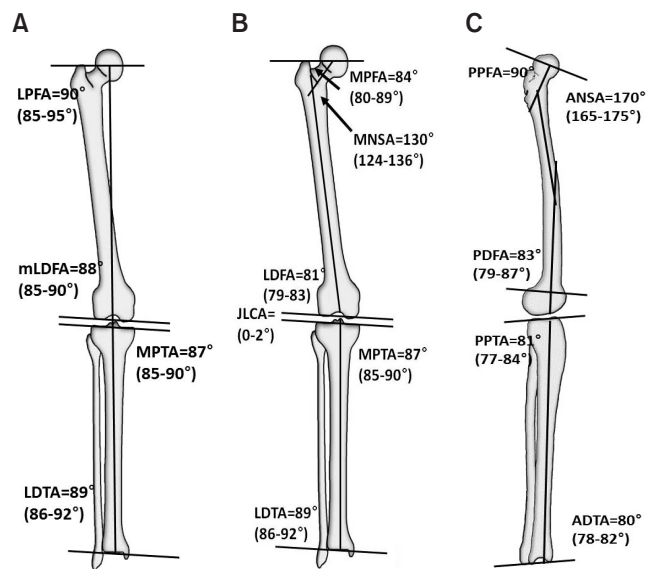
**관절 중심 거리(joint center distance, JCD):** 관상면에서 해부학적 축이 관절 방향선과 만나는 점에서 관절중심점(JCP)과 거리를 해부학적 축-관절 중심 간 거리(anatomic axis to joint center distance, aJCD)라고 한다. 슬관절에서 경골의 aJCD는  $10 \pm 5$  mm이며 족관절에서는  $4 \pm 4$  mm이다(Fig. 2).

**해부학적 축-관절 모서리간 거리 및 비율(anatomic axis to joint edge distance or ratio, aJED, aJER):** 시상면에서 해부학적 축과 관절 방향선이 만나는 점에서 관절의 전방 모서리까지의 거리를 해부학적 축-관절 모서리간 거리(anatomic axis to joint edge distance, aJED)라고 하며 aJED를 관절면 전체길이를 나눈 비율을 해부학적 축-관절 모서리간 비율(anatomic joint edge ratio, aJER)이라고 한다(Fig. 3).

**역학적 축 편차(mechanical axis deviation, MAD):** 하지의 역학적 축은 대퇴골 두의 중심점과 족관절 중심점을 연결한 선으로 정의하는데 일반적으로 이 선은 슬관절의 중심점을 지나거나 약간 내측을 지난다. 하지의 역학적 축과 슬관절 중심점까지 거리를 MAD라고 하며 정상범위는 Paley 등<sup>7)</sup>의 연구에 의하면  $9.7 \pm 6.8$  mm이다. MAD 15 mm 이상 내측편

**Table 1.** Normal Values for Joint Orientation Angles in Lower Extremity

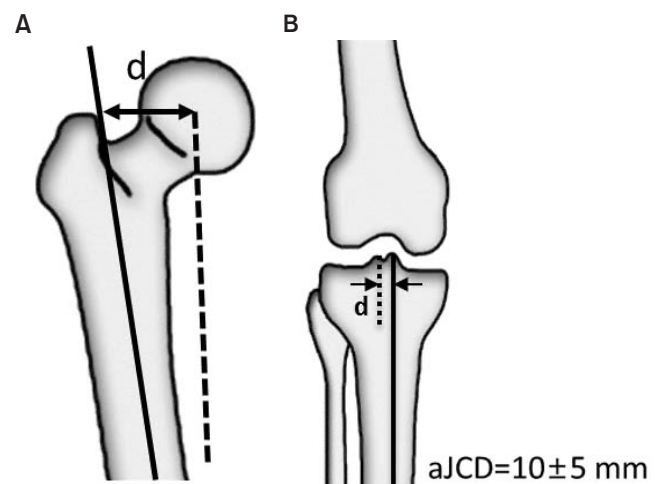
Bone-Plane	Component	Mean value (°)	Normal range (°)
<b>Femur-Frontal</b>			
Anatomic medial proximal femoral angle (aMPFA)	Anatomic axis	84	80-89
Mechanical lateral proximal femoral angle (mLPFA)	Mechanical axis	90	85-95
Neck shaft angle (NSA)	Anatomic axis	130	124-136
Anatomic lateral distal femoral angle (aLDFA)	Anatomic axis	81	79-83
Mechanical lateral distal femoral angle (mLDFA)	Mechanical axis	88	85-90
<b>Femur-Sagittal</b>			
Posterior distal femoral angle (PDFA)	Mid-diaphyseal line	83	79-87
<b>Tibial-Frontal</b>			
Medial proximal tibial angle (MPTA)	Mechanical axis	87	85-90
Lateral distal tibial angle (LDTA)	Mechanical axis	89	88-92
<b>Tibial-Sagittal</b>			
Posterior proximal tibial angle (PPTA)	Mid-diaphyseal line	81	77-84
Anterior distal tibial angle (ADTA)	Mid-diaphyseal line	80	78-82



**Fig. 1.** Nomenclature of the frontal plane joint orientation angle relative to the mechanical axis (A) and anatomic axis (B). (C) Nomenclature of the sagittal plane joint orientation angle relative to the anatomic axis. LPFA: lateral proximal femoral angle, mLDFA: mechanical lateral distal femoral angle, MPTA: medial proximal tibial angle, LDTA: lateral distal tibial angle, MPFA: medial proximal femoral angle, MNSA: medial neck shaft angle, LDFA: lateral distal femoral angle, JLCA: joint line convergence angle, PPFA: posterior proximal femoral angle, ANSA: anatomic neck shaft angle, PDFA: posterior distal femoral angle, PPTA: posterior proximal tibial angle, ADTA: anterior distal tibial angle.

차를 보이면서 하지 정렬이 내반(varus) 변형, MAD가 슬관절 중심점에서 외측편차를 보이면서 하지 외반(valgus) 변형이 있음을 알 수 있다(Fig. 4).<sup>7)</sup>

각 변형의 회전 중심(center of rotation of angula-



**Fig. 2.** Anatomic axis to joint center distance (aJCD) of the hip joint of the hip (A) and tibia (B). Bold line: anatomic axis, Dot line: joint center point. d: distance.

tion, CORA): 변형 골의 근위 축과 원위 축이 만나는 점을 CORA라고 하며 두 축이 만나서 이루는 각도가 각 변형의 정도이다. 만일 CORA가 골성 변형의 첨부(apex)에 있고 관절 방향선이 정상이면 단일첨단(uniapical) 변형이다. 만일 CORA가 변형의 첨부에 있지 않거나 관절 방향각이 비정상이면 제2차 CORA가 존재하는 다첨단(multiapical) 변형이거나 전위 변형(translational deformity)이 있는 경우이다. 만일 CORA가 골 변형 외부에 있을 때는 다첨단 변형일 가능성이 매우 높다(Fig. 5).<sup>11,12)</sup>

이분 선(bisector line): 근위 및 원위 축이 이루는 각도를

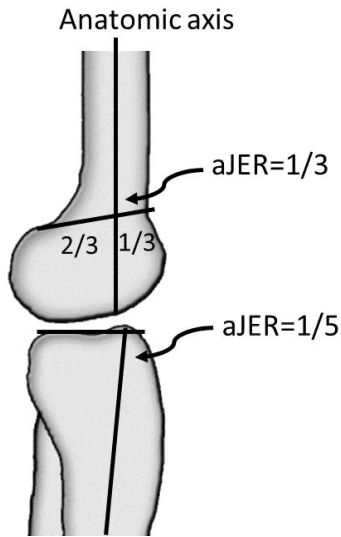


Fig. 3. Anatomic axis to joint edge ratio (aJER) of the distal femur and proximal tibia.

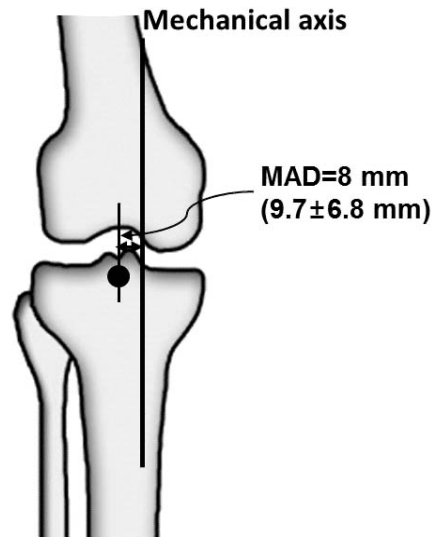


Fig. 4. Mechanical axis deviation (MAD).

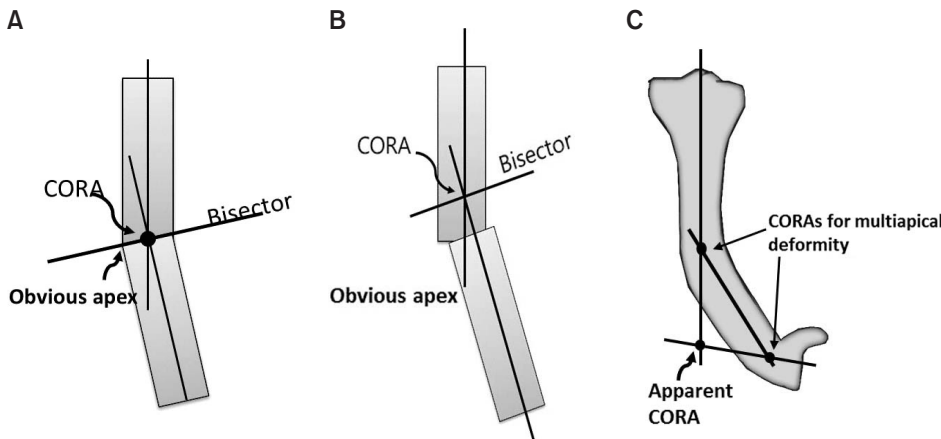


Fig. 5. (A) If center of rotation of angulation (CORA) lies at the point of obvious deformity apex in the bone and the joint orientations are normal, the deformity is uniapical. (B) If CORA lies outside the point of obvious deformity apex or either joint orientation is abnormal, a second CORA exists in that plane and the deformity is multiapical or a translational deformity exists in that plane. (C) When the CORA lies outside the boundaries of the involved bone, a multiapical deformity is likely to be present.

이분하는 선이다. 전위가 없는 교정을 얻으려면 이분 선상의 한 점을 축으로 각 변형을 교정하여야 한다.

## 2. 임상적 평가(clinical assessment of lower extremity deformity)

하지 정렬이상 또는 관절면 방향이상에 대한 임상적 평가의 시작은 환자의 내과적 병력을 조사하는 것이다. 외상력이 있는 경우는 수상기전, 동반 손상 등을 확인하여야 하며 현재 통증 및 기능 제한이 있는지를 확인한다. 신체 검사는 피부 상태, 감염 유무 및 인접 관절의 능동적, 수동적 운동제한 유무, 관절 불안정이 있는지, 그리고 신경학적 검사 및 혈관 상태 등을 검사한다.

하지의 정렬에 이상이 있는지를 신체 검사로 확인하는 방

법은 쉽지 않다. 대퇴골의 해부학적 축은 임상적으로는 골반 전상장골극(anterior superior iliac spine)과 슬관절의 중심을 연결하는 선으로 정의하여 사용하는데 이는 방사선적으로 대퇴골의 해부학적 축과는 거의 일치하며 역학적 축과는 평균 4.8° 차이가 있는 것으로 보고되고 있다.<sup>13,14)</sup> 하지 전체의 정렬에 대한 평가는 슬관절을 신전하여서 슬개골을 정면으로 향한 상태로 줄자나 끈을 이용하여 전상장골극과 족관절의 중심점을 연결하는 선이 반대편 다리에 비해 슬관절의 중심에서 상당히 벗어나 있다면 정렬이상이 있을 가능성이 있다. 정확한 확인을 위해 방사선적 검사를 시행한다.<sup>15)</sup>



### 3. 방사선적 평가(radiographic assessment of lower extremity deformity)

방사선적 변형의 평가를 위해서는 이환 골의 근위 및 원위 관절을 포함하는 전면 및 측면 방사선 사진을 촬영하여 변형의 정도 및 위치를 평가하여야 한다. 그리고 전체 하지의 정렬을 평가하기 위해서는 고관절, 슬관절 및 족관절이 한 장에 나오도록 기립 방사선 검사(이하, 하지기립 방사선 검사)를 시행하여 하지 정렬, 관절선 방향이 정상인지 비정상인지를 평가한다. 하지기립 방사선 검사에서 역학적 축의 비정상적인 편차가 있는 경우는 경우 정렬이상 검사(mal-alignment test, MAT) 및 관절면 방향이상 검사(mal-orientation test, MOT)를 시행하여 골성변형, 인대성 정렬이상, 관절면 정렬이상인지를 평가한다.

#### 1) 하지 전후면 방사선 사진 촬영법

하지의 관상면(frontal plane)에서 정렬을 평가하기 위해서는 전후면 하지기립 방사선 사진이 필요하다. 소아의 경우는 3 피트(1 m) 길이의 방사선 필름을 사용하며, 성인의 경우는 51 inch (1.3 m)의 필름이 필요하다. 긴 필름이 없는 경우에는 2-3개의 일반 필름을 사용하여 각 부위를 촬영하며 이를 조합하여 사용하기도 한다. 긴 필름을 사용하여 촬영하는 경우 방사선 튜브(tube)를 10 피트(305 cm) 거리에서 촬영하는데 방사선 사진상 길이는 실제 길이보다 약 4%-5% 확대되어 보인다. 확대표지자(magnification marker)를 사용하여 확대 비율을 확인하기도 한다.

정(true) 전후면 방사선 촬영법은 슬관절이 정면을 향하게 하여, 즉 슬개골이 원위 대퇴골 양과의 중앙에 위치하도록 하여 촬영하여야 한다. 만일 발을 정면을 향하게 하여 촬영하면 경골 내(internal), 외염전(external torsion)이 있는 경우는 실제로는 슬개골이 원위 대퇴골 양과의 외, 내측이 각각 위치하게 되며 하지 정 전후면 방사선 사진을 촬영할 수 없게 된다. 따라서 경골 내염전이 있는 경우는 발을 내염전 정도만큼 더 내회전시켜 촬영하여야 진정한 전후면 하지기립 방사선 사진을 얻을 수 있다.

슬개골이 고정된(fixed) 탈구나 아탈구가 있는 경우는 상기 방법을 사용하기가 어렵다. Hollister 등<sup>16)</sup>은 슬관절 굴곡-신전 축을 방사선 필름과 평행하게 위치하게 하여 촬영하는 방법을 고안하였다. 슬관절 굴곡-신전 면은 정(orthogonal) 관상면보다 3° 외회전된 면이며 이는 대퇴골의 방향각의 측정에 거의 영향을 주지 않는 것으로 알려져 있다.<sup>17)</sup>

하지 부동(leg length discrepancy)이 있는 경우는 다리 길이 차이만큼 짧은 다리에 나무토막(wood block)을 받치고 촬영한다. 이는 일반적으로 하지부동이 있을 때 이를 보상하기 위해서 반대편 하지의 슬관절을 굴곡시키거나 환측 족관절을 족저굴곡시키거나 골반 경사 및 척추 측만증 등의 보상 작용(compensatory mechanism)을 줄이기 위함이다.<sup>18)</sup>

#### 2) 하지 측면 방사선 촬영법

정 측면 방사선 사진은 정 전후면 촬영자세에서 90° 회전하여 측면 사진을 촬영하면 된다. 슬관절 굴곡-신전 축은 정 측면 사진에 비해 3°-5° 외회전된다.<sup>16)</sup> 고관절을 포함하는 하지 측면 사진의 촬영을 위해서는 슬관절 신전하고 슬관절 정면 위치에서 90° 방향에서 측면사진을 촬영하는데 이때 반대편 고관절이 겹치는 것을 방지하기 위하여 골반을 30°-45° 외회전하여 촬영한다.

시상면에서 해부학적 원위 대퇴골의 관절 방향각은 원위 대퇴골의 중앙골간선을 사용하는데 고관절이 포함되어 있지 않아도 측정이 가능하다. 이런 경우는 방사선 필름을 다리 사이에 놓고 방사선 튜브의 초점을 슬관절에 맞추고 10피트 거리에서 체중부하 기립자세에서 촬영하면 된다. 이 방법의 장점은 골반을 회전시킬 필요가 없으며 전후면 사진 촬영 후 자세를 변화시키지 않은 상태에서 방사선 튜브만을 90° 회전시켜서 직각투영(orthogonal) 촬영함으로써 보다 정확한 측면 사진을 얻을 수 있는 방법이다.

#### 3) 시상면 또는 관상면의 골성변형이 있는 경우 방사선 사진 촬영법

만일 시상면의 변형이 있는 경우 일반적인 방법으로 전후면 사진 촬영 시 정확한 관절 방향선을 그리기 어렵다. 따라서 시상면에 변형 정도만큼 틀어서 전후면 사진을 촬영하면 정확한 관절 방향선이 명확히 나타난다.

관상면에서 변형이 있는 경우 측면 사진 촬영 시 관상면의 변형 정도만큼 방사선의 방향을 틀어서 촬영해야 정확한 관절 방향선의 측정이 가능하다.

최근 컴퓨터 단층 촬영을 이용한 하지 관상면의 하지 정렬을 평가하는 방법이 시도되고 있다. 그러나 Holme 등<sup>19)</sup>의 컴퓨터 단층 촬영과 기존의 하지기립 방사선 검사의 정확도에 대한 비교 연구에 의하면 관상면에서 하지 정렬을 평가하는데 이 두 방법의 정확도가 유사하다고 보고하여 특별한 경우에만 컴퓨터 단층 촬영에 의한 방법이 필요하다고 하였다.

하지기립 방사선 검사는 술 전에는 유용한 방법이지만 수

술실에서 사용이 제한되어 있어 수술 중에는 경골과 대퇴골을 따로 찍어서 조합하여 사용하거나 Krettek 등<sup>13)</sup>이 보고한 강선방법(cable technique)을 이용하는데 투시방사선장치(fluoroscopy)와 전기소작선(electrocautery cord)을 이용하여 하지 정렬을 평가하는 방법이다. 이 방법은 투시방사선장치를 이용하여 대퇴골 두 중심과 족관절의 중심점을 전기소작선을 연결하고 슬관절 사진에서 MAD와 JLCA를 측정하는 것으로 비교적 간단히 하지의 정렬을 수술실에서 확인할 수 있는 방법이다. 최근 Sabharwal과 Zhao<sup>20)</sup>는 신체 질량지수(body mass index)와 JLCA가 3° 이내에 있는 환자의 경우, 전기 소작 선을 이용한 강선(cable) 방법과 하지기립 방사선 사진과 비교하였을 때 강선 방법이 수술 시에 하지 정렬을 평가할 수 있는 매우 정확한 방법이라고 하였다.

#### 4. 관상면 정렬이상 검사

하지의 정렬이상은 대퇴골 또는 경골의 골 변형뿐 아니라 슬관절 불안정성, 그리고 관절면의 골 결손 등이 있는 경우에도 발생할 수 있다. 이중 관상 면에서의 골성 각 변형은 비교적 흔한 하지 변형 중의 하나이며 변형에 대한 보상작용이 고관절, 슬관절 및 족관절에서 이루어지는 경우 조기 퇴행성 변화를 유발할 수 있다. 하지의 역학적 축이 비정상적인 편차를 보이는 경우 원인이 어디에 있는지를 검사하는 것이 MAT이다.<sup>7)</sup> MAT는 정렬에 대한 여러 가지 정상 매개 변수를 이용하는 검사이다. 관상면에서 mechanical lateral distal femoral angle (mLDFA)과 medial proximal tibial angle (MPTA)의 정상 범위는 85°-90°이며 평균값은 87.5°이다.

#### 1) MAT의 순서(steps of MAT)

Step 0: 역학적 축을 그린다. 만일 MAD가 정상범위를 벗어나면 다음 단계로 진행한다.

Step 1: 대퇴골의 역학적 축과 대퇴골 원위 관절 방향선이 이루는 각인 mLDFA를 측정한다. 만일 정상범위를 벗어나면 대퇴골 원위부 골성 변형에 의한 정렬이상이 있음을 의미한다.

Step 2: 경골의 역학적 축과 경골 근위관절 방향선이 이루는 각인 MPTA를 측정한다. 정상범위를 벗어나면 경골 근위부 골성 변형에 의한 정렬이상이 있음을 의미한다.

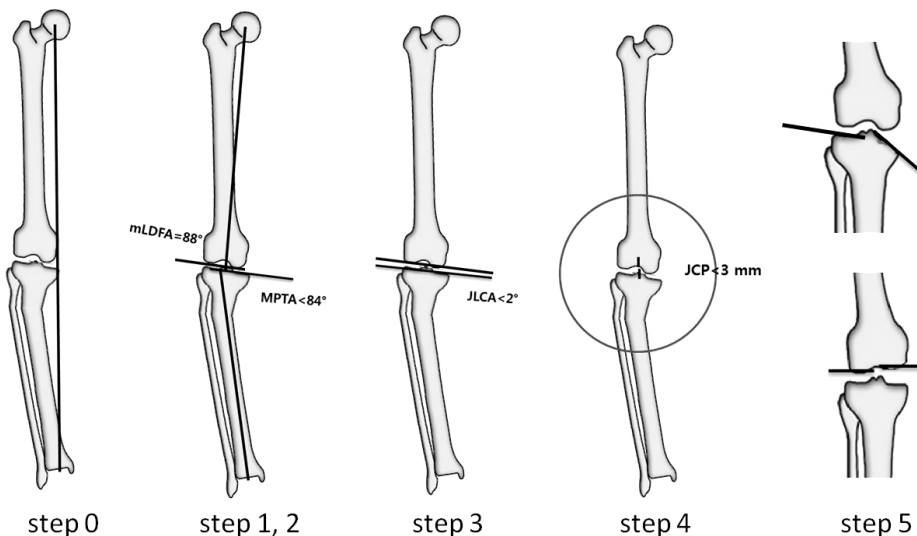
Step 3: 슬관절의 JLCA를 측정한다. 정상범위를 벗어나면 인대성(ligamentocapsular) 정렬이상이 있음을 의미한다.

Step 4: 경골과 대퇴골의 중심점을 표시하고 두 점이 일치하지 않고 3 mm 이상이면 내측 또는 외측 관절 아탈구(subluxation)가 있음을 의미한다.

Step 5: 경골 내 외측 고평부(plateau)를 따라 그은 선이 평행하지 않으면 경골 내 외과의 함몰이나 골 결손이 있는 경우로 관절면 이상에 의한 정렬이상이 있음을 의미한다(Fig. 6).

#### 5. 관상면 관절 방향이상 검사(frontal plane MOT)

관상면에서 슬관절 방향이상은 일반적으로 정렬이상을 유발하며 MAT로 쉽게 알 수 있다. 그러나 고관절이나 족관절의 방향이상은 하지 정렬이상에 미치는 영향이 경미한 경우가 많다. 이는 변형의 첨부(deformity apex)가 역학적 축의 끝단 또는 끝단 근처에 있기 때문이다. 따라서 족관절과 고관절에서 관절 향방 이상을 확인하기 위해서는 추가적인 검사가 필요한데 이를 부정방향검사(MOT)라고 한다.



**Fig. 6.** The mal-alignment test is to identify the sources of mechanical axis deviation. Step 0 is to draw the mechanical axis; Step 1 is to measure the mLDFA; Step 2 is to measure the MPTA; Step 3 is to measure the JLCA; Step 4 is to measure the joint center distance; and Step 5 is to identify the joint surface mal-alignment. mLDFA: mechanical lateral distal femoral angle, MPTA: medial proximal tibial angle, JLCA: joint line convergence angle, JCP: joint center point.

## 1) 고관절의 MOT

LDFA가 정상이고 대퇴골간 골성 변형이 없는 경우는 mechanical lateral proximal femoral angle (mLPFA, normal  $90^{\circ} \pm 5^{\circ}$ ), anatomic medial proximal femoral angle (aMPFA, normal  $84^{\circ} \pm 5^{\circ}$ ) 및 medical neck shaft angle (MNSA, normal  $130^{\circ} \pm 6^{\circ}$ )를 측정하여 고관절의 방향이상 유무를 검사한다. 대퇴골간 변형이 있으면서 aMPFA 비정상인 경우는 세 가지 방법으로 방향이상 유무를 평가한다. (1) 대퇴골 두 중심점에서 근위 대퇴골간에 평행한 선과 7° 차이 나는 가상의 역학적 축을 그어 이 선과 대퇴 방향선이 이루는 각도를 측정한다. (2) aMPFA, (3) MNSA를 측정하여 고관절의 부정향방 유무를 확인한다.

## 2) 족관절의 MOT

MPTA 정상이고 골간변형이 없는 경우는 경골의 역학적 축과 원위 경골 관절 향방선과 이루는 각인 mechanical lateral distal tibial angle (mLDTA)를 측정하여 평가한다. 만일 MPTA가 비정상이고 골간변형이 있는 경우는 경골의 골간 중앙선과 관절방향성이 이루는 각 anatomic lateral distal tibial angle (aLDTA)를 측정하여 방향이상 유무를 평가한다. mLDTA와 aLDTA의 정상범위는  $89^{\circ} \pm 3^{\circ}$ 이다.

## 6. 시상면에서 하지 변형(sagittal plane deformity of lower extremity)

시상면에서의 하지 변형은 고관절, 슬관절, 족관절 및 거골하 관절에서 보상하기 때문에 같은 정도의 관상면에서의 변형보다 보통 잘 견디는 경우가 많다. 그러나 시상면에서의 변형도 증상을 나타낼 수 있으며 관절의 조기 퇴행성 변화를 유발할 수 있다(Table 2).<sup>21)</sup>

시상면에서 하지의 역학적 축은 고관절의 회전중심점인 대퇴골 두의 중심점과 족관절의 회전중심점인 거골의 외측 주(lateral process tip)를 연결하는 선이다, 슬관절을 최대 신전 상태에서는 역학적 축은 슬관절의 회전중심(Brumensaat 선과 대퇴골의 후반 피질골을 연결한 선이 만나는 점)의 전방을 지나게 되나 슬관절이 5°-10° 굴곡 시에는 슬관절의 회전중심을 지나게 된다. 일반적으로 보행 시에는 슬관절의 최대 신전은 일어나지 않는데 이는 슬근(Hamstring muscle)의 수축으로 슬관절이 과신전되는 것을 막기 때문이다. 슬관절이 2°-10° 굴곡한 상태에서 시상면에서의 역학적 축은 고관절, 슬관절 및 족관절의 중심이 일직선상상에 있게 된다.

관상면에서 보다 시상면에서 골변형은 비교적 인접 관절의 보상 작용으로 증상 발현의 빈도가 적다. 시상면에서 근위 경골의 전반(recurvatum)이 있으면 슬관절이 굴곡하여 보상하므로 역학적 축은 정렬하게 된다. 원위 대퇴골의 후반(procurvatum)이 있는 경우 슬관절이 신전하여 역학적 축이 정렬 이상이 되는 것을 보상한다.

관절의 아 탈구는 시상면 정렬이상의 또 다른 원인이 될 수 있다. 원위 대퇴골 과의 중앙점과 근위 경골 고평부의 중앙점은 일직선상에 있으며 불일치가 있는 경우 전방 또는 후방 아 탈구로 정의할 수 있다. 이 경우 역학적 축의 정렬이상이 발생할 수 있다.

일반적으로 보행 시에는 슬관절의 최대 신전이 일어나지 않는데 이는 슬근의 수축으로 슬관절이 과신전되는 것을 막기 때문이다. 시상면에서 역학적 축은 슬관절이 2°-10° 굴곡한 상태에서 고관절 슬관절 및 족관절의 중심이 일직선상상에 있게 된다.

관상면에서 보다 시상면에서 골변형은 비교적 인접 관절의 보상 작용으로 증상 발현의 빈도가 적다. 근위경골의 시상면에서 전반 슬(genu recurvatum)이 있으면 슬관절이 굴곡하여 보상하므로 역학적으로 정렬되게 된다. 원위 대퇴골의 후반 슬(genu procurvatum)이 있는 경우 슬관절이 신전하여 역학적 축이 정렬이상이 되는 것을 보상한다.

관절의 아 탈구는 시상면 정렬이상의 또 다른 원인이 될 수 있다. 원위 대퇴골 과의 중앙점과 근위 경골 고평부의 중앙점은 일직선상에 있으며 불일치가 있는 경우 전방 또는 후방 아 탈구로 정의할 수 있으며 이 경우 역학적 축의 정렬이상이 발생할 수 있다.

**Table 2.** Clinical Signs and Symptoms Associated with Sagittal Plane Deformity of Lower Extremity<sup>21)</sup>

Sagittal plane deformity	Clinical symptom & sign
Proximal femur flexion deformity	Hyperlordosis of spine
Proximal femur extension deformity	Loss of hip flexion
Distal femur procurvatum	Flexion deformity and stretching of posterior knee joint capsule
Distal femur recurvatum	Loss of flexion
Proximal tibia recurvatum	Chondromalacia patella
Proximal tibia procurvatum	Knee flexion deformity, chondromalacia & pain
Distal tibia recurvatum	Late degenerative joint disease
Distal tibia procurvatum	Anterior impingement syndrome



## 1) 시상면의 정렬이상 검사(sagittal plane MAT)

검사의 목적은 시상면에서 하지의 굴곡 또는 신전 정렬 이상이 있는지를 보는 검사이다. 정렬이상 검사를 위한 방사선 사진은 환자가 기립 상태에서 슬관절은 신전하고 골반은 30°-45° 후방회전하여 대퇴골 두가 나오게 하지 측면 사진을 찍는다. 이때 방사선의 중심은 슬관절에 둔다. 하지의 굴곡 정렬이상은 역학적 축이 슬관절 최대 신전 하지 측면 사진에서 슬관절의 회전 중심의 전면을 지나지 않는 경우이다. 하지의 정렬이상은 슬관절 최대 신전 측면 사진상 역학적 축이 슬관절의 회전중심의 전면을 지나는 경우이다.

## 2) 시상면의 방향이상 검사(MOT)

정상 근위 경골의 평균 anatomic posterior proximal tibial angle (aPPTA)은 81°±4°, aJER은 1/5, 원위 대퇴골의 평균 anatomic posterior distal femoral angle (aPDFA) 83°±4°, aJER은 1/3이다. 만일 대퇴골 또는 경골 간부의 변형이 있는 경우 인근 골간과의 aPPTA, aPDFA는 정상이나 전체 대퇴골과 경골과는 비정상 값을 보인다. 따라서 두 가지 시상면 방향이상 검사가 필요하다.

### (1) 전체 시상면 방향이상 검사(overall sagittal plane MOT, OSMOT)

대퇴골 측면사진에서 대퇴골 두의 중심점과 원위 대퇴골의 aJER 1/3 점을 잇는 선을 수정 대퇴골의 역학적 축(modified femoral mechanical axis)이라고 하며 원위 대퇴골의 방향선과의 이루는 각도 mechanical posterior distal femoral angle (mPDFA)을 측정한다. 만일 PDFA가 79° 미만이면 원위 대퇴골의 후반, 87° 이상이면 전반으로 정의한다.

족관절의 중심점과 근위 경골 고평선의 aJER 1/5 점을 연결하는 선을 수정 경골 역학적 축(modified tibia mechanical axis)이라고 하며 근위 경골 방향 선과 이루는 각도가 mechanical posterior proximal tibial angle (mPPTA)이며 77° 이하이면 후반, 85° 이상이면 전반이라 정의한다.

Overall MOT는 특정 변형이 관절에 어떤 영향을 주는지를 보는 데 사용하며 특정 골의 모든 변형이 합이 관절에 어떤 영향을 주는지를 보여준다.

슬관절 신전상태에서 원위 대퇴골의 전방 피질골을 잇는 선과 경골의 전방 피질골을 따라 그은 선은 일직선상에 있다. 고정된 굴곡 변형(fixed flexion deformity, FFD)이나 과신전(hyperextension, HE) 측정 시 이두선이 이루는 각도로 표시할 수 있다.

## (2) Knee level sagittal plane MOT (KSMOT) 순서<sup>22)</sup>

Step 1: 슬관절 최대 신전 측면사진에서 원위 대퇴골과 근위 경골의 전방 피질골을 따라 그은 선이 이루는 각도를 측정한다. 0° 이상이면 FFD, -5° 이하이면 HE로 정의한다.

Step 2: PDFA를 측정한다.

Step 3: PPTA를 측정한다.

Step 4: (FFD)+(total recurvatum deformity)-(total procurvatum deformity)

If 0: bony procurvatum deformity account for the FFD

>0: the procurvatum deformity does not fully account for FFD, therefore, there is also knee joint flexion contracture present.

<0: there is more procurvatum deformity than FFD therefore, there is also knee joint HE laxity.

Step 5: (HE)-(total recurvatum deformity)+(total procurvatum deformity)

0: recurvatum deformity accounts for the HE

>0: There is also knee joint HE laxity.

< 0: There is more recurvatum deformity than HE.

Therefore, there is also knee joint flexion contracture present (Fig. 7).

## (3) Ankle level overall sagittal plane MOT (AOMOT)

수정된 경골의 역학적 축을 그린다. 원위 경골 천장을 잇는

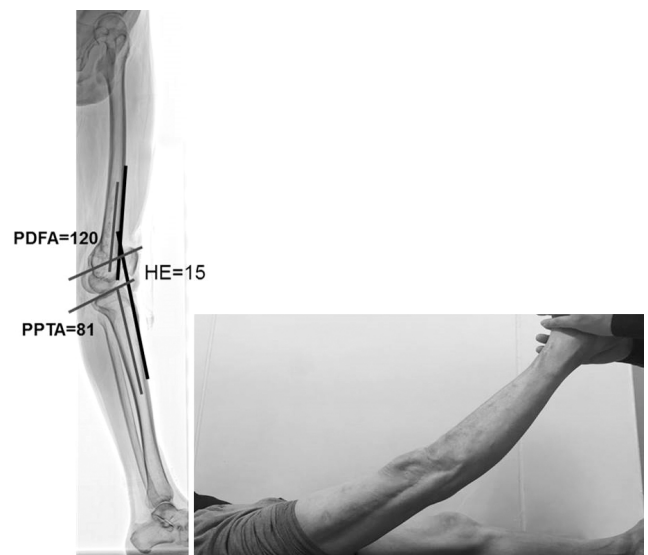


Fig. 7. The standing lateral full length radiography of lower extremity shows 15° of hyperextension (HE) of the knee joint and 120° of PDFA, which is 36° recurvatum of the distal femur. Therefore, there is also 21° of knee joint flexion contracture and genu recurvatum. PDFA: posterior distal femoral angle, PPTA: posterior proximal tibial angle.



선과 이루는 각도 anterior distal tibial angle (ADTA)를 측정한다. ADTA가 78° 이하이면 전반, 84° 이상이면 후반으로 정의한다.

#### (4) Ankle level sagittal plane MOT (ASMOT)

경골 간부 중심선을 그리고 anatomic anterior distal tibial angle (aADTA)를 측정한다. 78° 이하이면 전반 85° 이상이면 후반이라 정의한다.

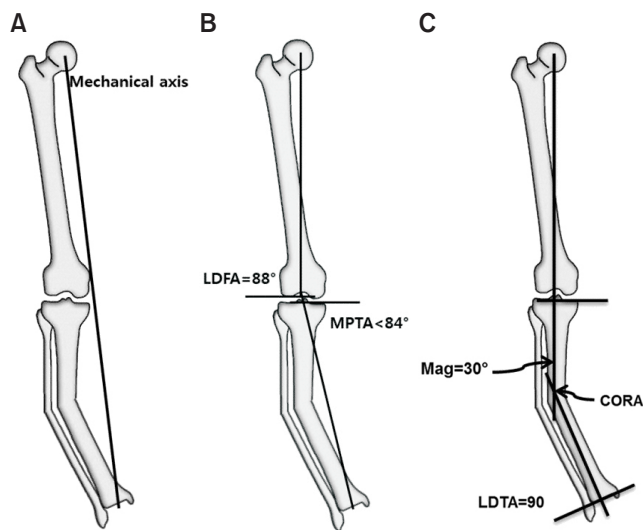
## 7. 경골 변형의 평가

경골의 경우 해부학적 축과 기계적 축이 일치하기 때문에 둘 중 하나를 사용하면 된다.

Step 1: 근위부 역학적 축을 그린다.

mLDFA가 정상이면 대퇴골 역학적 축의 연장선을 사용한다. mLDFA가 비정상이고 반대편 MPTA가 정상이면 반대편 MPTA각을 사용하여 그린다. mLDFA와 반대편 MPTA가 모두 비정상 범위에 있으면 MPTA의 정상평균값인 87°를 사용하여 근위 경골의 역학적 축을 그린다.

Step 2: 원위 역학적 축을 그린다.



**Fig. 8.** Analysis of uniapical deformity of the tibia using the mechanical axis: Draw the mechanical axis and measure MAD (A). Draw the mechanical axis of the femur and tibia. Measure mLDFA and MPTA (B). If MPTA is outside the normal range, the mechanical axis of the femur is extended distally as a mechanical axis line when mLDFA is within normal range. Draw the mechanical axis of distal tibia from the center of the ankle parallel to the diaphysis of the tibia and measure LDFA. If LDFA is within normal range, mark the CORA and measure the magnitude of angulation (C). MAD: mechanical axis deviation, mLDFA: mechanical lateral distal femoral angle, MPTA: medial proximal tibial angle, LDFA: lateral distal tibial angle, CORA: center of rotation of angulation, Mag: magnitude of deformity.

족관절 천장의 중심에서 경골간부의 중심축을 원위 경골의 역학적 축으로 사용한다. 만일 원위 경골 간부가 너무 짧아 원위 경골의 역학적 축을 그리기 어려운 경우는 반대편 LDFA각을 사용하여 그린다. 원위 경골 간부가 짧고 반대편 LDFA가 비정상인 경우는 LDFA의 정상평균값인 90°를 사용하여 그린다.

Step 3: CORA를 표시하고 변형 각을 측정한다(Fig. 8).

Step 4: 만일 다첨부(multiapical) 변형이거나 전위변형인 경우 중간골편의 역학적 축이 존재함을 의미하며 중간 골편(mid segment) 골간부의 역학적 축을 그리고 근위 및 원위 역학적 축과 만나는 두 개의 CORA를 갖는 변형이며 두 개의 변형 각이 존재하게 된다. 각각의 CORA에서 이분선을 그린다.

## 8. 대퇴골 변형의 평가(assessment of femoral deformity)

대퇴골은 기계적 축과 해부학적 축이 일치하지 않기 때문에 두 가지 방법으로 변형교정을 위한 치료계획(planning)을 세울 수 있다.<sup>21,23)</sup>

### 1) 역학적 축을 이용한 술 전 계획(mechanical axis pre-operative planning)

Step 1: 대퇴골의 근위부 역학적 축을 그린다.

근위 대퇴골의 해부학적 축을 그린다. 반대편 LDFA가 정상인 경우 반대편의 해부학적 축과 기계적 축의 이루는 각(AMA)을 이용하여 역학적 축을 그린다. 만일 반대편 LDFA가 비정상인 경우 정상 해부학적 축과 기계적 축의 차이가 남자는 6°, 여자는 7°이므로 이 각을 이용하여 역학적 축을 그린다.

만일 해부학적 축을 그리기에는 근위부 변형이 소전자 부위에 있어 너무 짧은 경우는 반대편 LPFA를 이용하거나 반대편 LPFA가 비정상인 경우는 정상 평균값인 90°를 준용하여 대퇴골 두-대전자선과 90° 각도를 이루는 선을 역학적 축으로 이용한다.

Step 2: 원위 대퇴골 역학적 축을 그린다.

동측 MPTA가 정상인 경우 경골의 역학적 축을 연장한 선을 원위 대퇴골의 기계적 축으로 이용한다. 동측 MPTA가 비정상인 경우 반대편에서 측정한 LDFA를 이용한다. 동측 MPTA 반대측 LDFA가 모두 비정상인 경우 정상 LDFA 값을 87°로 가정하여 원위부 역학적 축을 그린다.

Step 3: CORA를 표시하고 변형 각을 측정한다. 골 변형의

첨부(obvious apex)와 CORA가 일치하지 않는 경우는 중간 부 변형이 존재하나 전위변형이 동시에 있는 경우이다. 전자의 경우는 중간 대퇴골의 역학적 축을 하나 더 그려야 한다. 이 선들이 만나는 점에서 두 개의 CORA가 되면 두 개의 변형 각을 측정한다.

CORA가 골 변형의 첨부과 일치하지만 근위 고관절의 심한 방향이상이 있는 경우 두 번째 CORA가 존재하게 된다. 반대편 LPFA를 측정하여 정상 범위 내에 있으면 이를 사용하고 비정상 범위이면 정상 각도인 90°를 준용하여 역학적 축을 그리고 이를 근위 대퇴부 골편의 역학적 축으로 간주하며 두 개의 역학적 축이 이루는 각도가 근위 대퇴부 변형 각이다.

## 2) 해부학적 축을 이용한 술 전 계획(anatomic axis pre-operative planning)

해부학적 축을 이용하여 CORA를 확인할 수 있다. 대퇴골의 근위부 해부학적 축은 쉽게 그릴 수 있으나 원위부는 대퇴협부 원위부에 있기 때문에 쉽게 확인하기 어렵다.

Step 1: 근위 대퇴골의 해부학적 축을 그린다.

변형이 소전자 원위부에 있는 경우는 중간 골간선을 사용한다. 변형이 소전자 근위부에 있는 경우 반대편 MPFA를 이용하여 이상 와(pyriformis fossa)에서 시작하는 해부학적 축을 그린다. 반대편 MPFA가 비정상이면 정상 aMPFA 값인 84°를 준용하여 사용한다.

Step 2: 원위 대퇴골의 해부학적 축을 그린다.

반대편 LDFA가 정상인 경우 반대편 LDFA를 측정한 각을 사용한다. 원위 대퇴골 관절 방향선을 그리고 슬관절 중심에서 측정한 각도만큼 차이가 나는 선을 원위 대퇴골의 해부학적 축으로 한다. 반대편 LDFA가 비정상인 경우 정상 평균 LDFA 값인 81°를 준용하며, 해부학적 축의 시작점은 성인인 경우 슬관절 중심에서 10 mm 내측에서 시작하고, 소아의 경우 내측 경골극에서 시작한다.

Step 3: CORA를 표시하고 변형 각을 측정한다.

두 개의 해부학적 축이 만나는 점(CORA)과 변형부가 일치하는 경우 두 선이 이루는 각이 변형 각이 된다. 두 개의 해부학적 축이 만나는 점이 명확한 골 변형의 첨부과 일치하지 않는 경우 명확한 첨부에서 시작하는 세 번째 해부학적 축을 그리고 근위 해부학적 축과 만나는 점을 CORA1, 원위부 해부학적 축과 만나는 점을 CORA2라고 하며 각각의 각도를 변형 각 1, 2라고 한다. 만일 해부학적 축이 만나는 점과 명확한 골 변형의 첨부가 일치하나 고관절 방향이상이 있는 경우

는 반대편 MPFA를 측정하여 사용하거나 정상 평균 MPFA 값인 84°를 준용하여 제2의 변형의 변형 각을 측정한다.

## 요 약

하지의 정렬이상을 초래하는 골성 각변형은 미용적인 면뿐 아니라 통증이나 파행 등의 임상적 증상을 나타낼 수 있으며 적절한 교정을 하지 않는 경우 인접 관절의 퇴행성 관절염을 조기에 유발할 수 있다. 하지의 정렬이상은 임상적으로도 평가가 가능하나 변형의 유무, 위치 및 정도 등을 평가하기 위해서는 방사선적 평가가 매우 중요하다. 방사선적인 평가는 전후 및 측면 하지기립 방사선을 이용하고 하지 정렬이상 검사(MAT) 및 방향이상 검사(MOT) 등을 통하여 골성 각변형의 회전중심(CORA)을 정할 수 있으며, 이를 바탕으로 향후 치료 계획을 수립하여야 성공적인 변형의 교정을 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

**색인 단어:** 변형, 하지

## ORCID

정창훈, <http://orcid.org/0000-0003-3451-2875>

노종호, <http://orcid.org/0000-0003-4701-770X>

## References

1. Beals RK, Stanley G: Surgical correction of bowlegs in achondroplasia. J Pediatr Orthop B, 14: 245-249, 2005.
2. Cusick BD, Stuberger WA: Assessment of lower-extremity alignment in the transverse plane: implications for management of children with neuromotor dysfunction. Phys Ther, 72: 3-15, 1992.
3. Song HR, Soma Raju VV, Kumar S, et al: Deformity correction by external fixation and/or intramedullary nailing in hypophosphatemic rickets. Acta Orthop, 77: 307-314, 2006.
4. Tetsworth K, Paley D: Malalignment and degenerative arthropathy. Orthop Clin North Am, 25: 367-377, 1994.
5. Felson DT, Niu J, Gross KD, et al: Valgus malalignment is a risk factor for lateral knee osteoarthritis incidence and progression: findings from the multicenter osteoarthritis study and the osteoarthritis initiative. Arthritis Rheum, 65: 355-362, 2013.
6. Moreland JR, Bassett LW, Hanker GJ: Radiographic analysis of the axial alignment of the lower extremity. J Bone Joint Surg Am, 69: 745-749, 1987.
7. Paley D, Herzenberg JE, Tetsworth K, McKie J, Bhavre A: Deformity planning for frontal and sagittal plane corrective oste-

- otomies. *Orthop Clin North Am*, 25: 425–465, 1994.
8. Chao EY, Neluhani EV, Hsu RW, Paley D: Biomechanics of malalignment. *Orthop Clin North Am*, 25: 379–386, 1994.
9. Cooke TD, Li J, Scudamore RA: Radiographic assessment of bony contributions to knee deformity. *Orthop Clin North Am*, 25: 387–393, 1994.
10. Yoshioka Y, Siu D, Cooke TD: The anatomy and functional axes of the femur. *J Bone Joint Surg Am*, 69: 873–880, 1987.
11. Brinker MR, O'Connor DP: Principles of malunions. In: Court-Brown CM, Heckman JD, McQueen MM, Ricci WM, III PT ed. *Rockwood and Green's fractures in adults*. 8th ed. Philadelphia, Wolters Kluwer Health: 869–894, 2015.
12. Lesiak AC, Vosseller JT, Rozbruch SR: Osteotomy, arthrodesis, and arthroplasty for complex multiapical deformity of the leg. *HSS J*, 8: 304–308, 2012.
13. Krettek C, Miclau T, Grün O, Schandelmaier P, Tscherne H: Intraoperative control of axes, rotation and length in femoral and tibial fractures. Technical note. *Injury*, 29 Suppl 3: C29–C39, 1998.
14. Sheehy L, Cooke TD, McLean L, Culham E: Standardized standing pelvis-to-floor photographs for the assessment of lower-extremity alignment. *Osteoarthritis Cartil*, 23: 379–382, 2015.
15. Wu CC: Is clinical measurement of anatomic axis of the femur adequate? *Acta Orthop*, 1–4, 2017.
16. Hollister AM, Jatana S, Singh AK, Sullivan WW, Lupichuk AG: The axes of rotation of the knee. *Clin Orthop Relat Res*, (290): 259–268, 1993.
17. Wright JG, Treble N, Feinstein AR: Measurement of lower limb alignment using long radiographs. *J Bone Joint Surg Br*, 73: 721–723, 1991.
18. Paley D: *Principles of deformity correction*. 3rd ed. Berlin, Springer: 2005.
19. Holme TJ, Henckel J, Hartshorn K, Cobb JP, Hart AJ: Computed tomography scanogram compared to long leg radiograph for determining axial knee alignment. *Acta Orthop*, 86: 440–443, 2015.
20. Sabharwal S, Zhao C: Assessment of lower limb alignment: supine fluoroscopy compared with a standing full-length radiograph. *J Bone Joint Surg Am*, 90: 43–51, 2008.
21. Paley D, Tetsworth K: Mechanical axis deviation of the lower limbs. Preoperative planning of uniapical angular deformities of the tibia or femur. *Clin Orthop Relat Res*, (280): 48–64, 1992.
22. Paley D: *Principles of deformity correction*. Berlin, Springer: 163, 2005.
23. Paley D, Chaudray M, Pirone AM, Lentz P, Kautz D: Treatment of malunions and mal-nonunions of the femur and tibia by detailed preoperative planning and the Ilizarov techniques. *Orthop Clin North Am*, 21: 667–691, 1990.