

Adult Spinal Deformity

성인 척추 변형에서의 척추골반지표

이증서 • 강상수[✉]

성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 척추센터, 정형외과학교실

Spino-Pelvic Parameters in Adult Spinal Deformities

Chong Suh Lee, M.D., Ph.D. and Sang Soo Kang, M.D.[✉]

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

In the recent 10 to 15 years, the most popular issue in the spine field is evaluation and treatment of the sagittal alignment and sagittal balance of the spine. Adult spine deformity (ASD) includes not only coronal deformity, such as degenerative scoliosis, but also sagittal deformity. Degenerative scoliosis is also associated with sagittal deformity of the spine. Even in degenerative scoliosis, accompanying sagittal deformity is more important to clinical symptoms than coronal deformity. Sagittal deformity of the spine is significantly correlated with health-related quality of life score, such as visual analogue scale and Oswestry disability index, short form-36 health survey. For the appropriate evaluation and treatment of ASD, understanding the normal and abnormal sagittal alignment and sagittal balance of the spine is very important. Various compensatory mechanisms should be applied in order to maintain the balanced upright posture. Assessment of the compensatory mechanism is also mandatory for proper surgical planning. Some spinopelvic parameters show particularly high correlation with clinical symptoms in case of sagittal imbalance. Therefore, assessment of these parameters is necessary for evaluation of surgical outcomes.

Key words: adult spinal deformity, sagittal balance of the spine, spino-pelvic parameter

서론

성인 척추 변형(adult spinal deformity, ASD)에 대한 관심이 점차 증가되고 있으며 유병률(prevalence)이 건강한 고령인구에서 약 68%까지 높게 보고되고 있다.¹⁾ 최근 10-15년간, 척추의 시상정렬과 시상균형은 척추외과학 분야에서 가장 큰 화두(issue)의 하나가 되고 있다. 이는 특히, 척추 변형 중 시상불균형과 이상 시상정렬이 흔히 동반되는 ASD의 치료에서 매우 중요한 연구과제로 생각된다.

ASD는 여러 가지 원인에 의해 척추정렬의 구조적인 변화가 선행되고 이에 따라 가장 경제적인 자세로 기립자세를 취하기 위한

균형기전의 변화가 따라오게 된다. 척추정렬의 불균형이 심해질수록 기립자세를 유지하기 위한 보상노력으로 근육의 활동이 더 필요해지고 더 많은 에너지를 소모하게 되어 피로와 통증, 장애를 유발하게 된다. 이로 인한 장애와 삶의 질에 막대한 손실이 오게 되면 수술적인 치료가 필요하게 된다. 따라서 최근 ASD의 수술적 치료는 관상면 및 측상면에서의 균형회복은 물론 시상면상의 정상각 회복을 강조하고 있다. 그러나 수술 후 의도하였던 시상만곡의 회복이 불충분하면 수술 후 소위 요추부의 편평배부증후군(flatback syndrome)으로 지속적인 요통을 호소하는 경우가 많다. 따라서 퇴행성 척추측만증과 같은 관상면상의 변형에서조차도 최근의 연구결과들은 시상면상의 균형과 시상지표가 건강관련 삶의 질(health-related quality of life, HRQoL)에 더 중요한 요소라고 강조하고 있다.²⁻⁵⁾ ASD의 방사선적 판정은 결국은 HRQoL로 표시할 수 있는 장애와 통증의 관점에서 판단하기 위함이다.

Received August 3, 2015 Revised November 4, 2015 Accepted November 5, 2015

[✉]Correspondence to: Sang Soo Kang, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, 81 Irwon-ro, Gangnam-gu, Seoul 06351, Korea

TEL: +82-2-3410-2179 FAX: +82-2-3410-0061 E-mail: ellinore@hanmail.net

따라서 ASD에 대한 판정과 적합한 치료를 위하여는 척추의 정상 및 비정상 시상만곡과 시상균형에 대한 이해가 필요하며 최근 사용되고 있는 ASD의 분류와 척추 변형을 판정하기 위하여 꼭 필요한 척추골반지표와 시상균형의 지표, 시상균형을 유지하기 위한 보상작용, 그리고 척추골반지표와 임상적 증상과의 관계에 대하여 논의하고자 한다.

성인 척추 변형의 분류

1. Scoliosis Research Society-Schwab 분류

ASD의 분류는 2005-2007년 Schwab 등⁶⁻⁸⁾은 소아측만증의 Lenke 분류에서 적용하였던 시상정렬의 개념을 ASD에도 적용하여 ASD의 clinical impact classification를 제시하였다. 이 분류에는 HRQoL과 관련이 있는 방사선적 지표를 사용하였고 처음에는 척추측만곡의 첨부의 위치에 따라 다섯 가지 형태의 측만증을 기술하였다: type I, thoracic only; type II, upper thoracic major (apex T4-T8); type III, lower thoracic major (apex T9-T10); type IV, thoracolumbar major curve (apex T11-L1); type V, lumbar major curve (apex L2-L4).⁸⁾ 여기에 HRQoL과 상관관계가 있는 것으로 생각되는 요추전만각(lumbar lordosis, LL)과 척추체간 아탈구(intervertebral subluxation)의 두 개의 방사선적 지표를 시상수정 지표(sagittal modifier)로 사용하였으며 이 분류를 Schwab의 clinical impact classification이라고 명명하였다. 얼마 지나지 않아 시상면 수직축(sagittal vertical axis, SVA)으로 측정된 전반적인 시상 부정정렬(global sagittal malalignment)도 LL의 소실과 마찬가지로 HRQoL의 중요한 예측인자로 인식되면서 SVA를 전반적인 균형 지표(global balance modifier)라고 명명한 세 번째 수정지표를 추가하였으며 Schwab clinical impact classification에서는 통증과 장애와 관련이 있는 이 방사선적 지표들을 부각하였다.

그러나 후속연구에서는 LL과 SVA만으로는 완전한 정보를 제공하지 못함을 발견하였고 기립자세를 유지하기 위한 골반역할의 중요성이 부각되면서 골반척추정렬의 개념이 도입되었다.⁹⁻¹²⁾ 또한 골반후방회전을 의미하는 골반기울기(pelvic tilt, PT)의 증가는 HRQoL의 저하와 상관관계가 있음이 확인되었다.³⁾ 골반입사각(pelvic incidence, PI)과 LL의 관계도 환자의 척추골반정렬에 관한 많은 정보를 제공하며 재건술에서 필요한 교정의 정도를 의사에게 제공하여 준다. 이와 같이 HRQoL은 SVA, PT와 PI-LL의 불일치(mismatch)와 같은 방사선적 척추골반지표와 밀접한 상관관계가 있음은 이미 기존의 여러 연구를 통하여 보고된 바 있다.^{2,3,13)}

이러한 연구를 기초로 하여 ASD에 대한 방사선적인 분류를 위한 실용적인 접근을 위해 Scoliosis Research Society (SRS)에서는 Schwab clinical impact classification을 그간의 자료를 보완하여 2012년에 SRS-Schwab ASD classification으로 개선하였다. 이 분류는 측정자간, 측정자내 신뢰도가 높고 분류에 유용한 척추지표

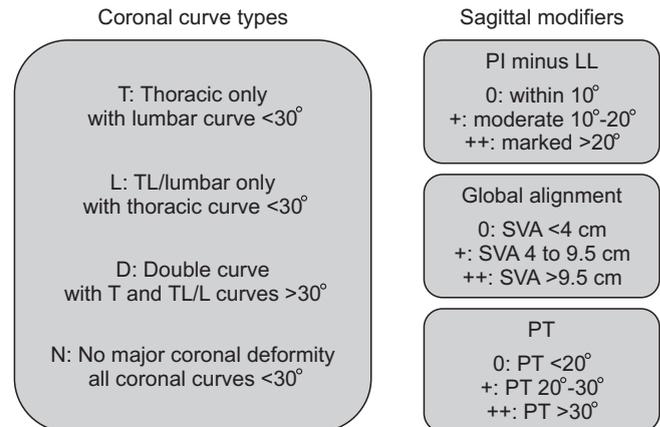


Figure 1. SRS-Schwab classification system. An individual's coronal curve pattern is categorized, and, most importantly, each of 3 sagittal modifiers (PI-LL, SVA, and PT) is classified as 'nonpathological (0),' 'moderate deformity (+),' or 'marked deformity (++)' SRS, Scoliosis Research Society; PI, pelvic incidence; LL, lumbar lordosis; SVA, sagittal vertical axis; PT, pelvic tilt.

와 골반지표들을 이용하였다.¹⁴⁾ 관상면상 일차변형에 의해 환자를 분류하고 SVA, PT와 PI-LL의 불일치를 시상변형을 판단하는 수정지표로 사용하였다(Fig. 1).

SRS-Schwab ASD classification은 크게 측만곡의 위치와 크기에 의한 관상면상변형과 시상면 수정지표(SVA, PT와 PI-LL에 의한 시상변형의 측정)의 두 요소로 구성되어 있다.^{3,5,10,15,16)} 이들 시상면 수정지표는 통증과 장애 정도와 관련이 있을 뿐 아니라 시상면상 척추골반변형의 객관적인 측정지표이므로 수술계획의 지침으로 사용될 수 있다. PI-LL 수정지표(PI-LL modifier) ++인 환자는 LL이 PI보다 10-20도 작으므로 임상적으로 좋은 결과를 얻을 수 있는 범위인 PI-9도 이내로 PI와 LL 사이의 정상관계를 회복하려면 적어도 LL을 10도 이상 증가시켜야 한다. Global alignment 측정지표인 SVA와 PT도 시상변형의 정도와 기립자세를 유지하기 위한 보상기전의 정도를 나타내므로 수술계획의 지침으로 사용될 수 있다. SVA이 크고 PT가 클 경우는 SVA의 회복뿐 아니라 PT의 정상화가 될 정도의 교정이 필요하므로 SVA가 크고 PT가 정상인 경우보다 더 큰 시상변형을 의미하며 시상면상 교정이 더 많이 필요하다. 고도의 PT는 pedicle subtraction osteotomy (PSO) 후에도 잔여시상변형이 남을 위험인자로 여겨지고 있다.¹⁷⁾ 따라서 고도 PT와 고도 SVA를 가진 환자는 수술후 시상변형이 남는 것을 예방하기 위하여는 PSO와 같은 절골술을 이용한 고도의 교정이 필요하다.

ASD에서는 시상척추골반지표를 평가하고 이들 지표를 통합하여 ASD를 분류하는 것이 청소년기 측만증에서 측만증을 평가하는 것만큼 기본적인 중요성을 갖고 있다.

척추골반지표(Spino-pelvic parameters)

시상면상에서의 우리 몸의 균형을 결정하는 주요 부위는 고관절과 골반, 그리고 요추추부라고 생각할 수 있다. 요추추부, 특히 제4요추에서 제1천추까지는 가동성이 있는 부위에서 비가동성으로 이행하는 부위로서 매우 큰 하중을 전달하게 되고 가장 운동 범위가 크며 LL의 약 2/3를 이루어 요추전만의 정도와 모양을 결정하는 가장 중요한 부위이다. 반면 골반에는 여러 근육이 붙으므로써 고관절을 축으로 골반의 운동을 조절하는 신체균형의 조절(balance regulator) 역할을 한다.^{12,18-20} 따라서 골반의 위치는 하지와 척추의 모양과 방향을 결정하게 되어 우리 몸의 시상정렬과 자세를 결정해주는 가장 중요한 요소로 여겨진다. 반면 고관절축은 척추의 시상균형을 측정하는 기준점으로서의 역할을 한다. 또한 척추의 균형을 알기 위한 척추의 위치(orientation)와 형태(shape)를 판단하는 것도 중요하다.

척추의 시상만곡의 형태와 위치를 나타내주는 지표를 척추지표(spinal parameters)라고 부르며 골반의 형태와 위치를 판정하기 위한 지표를 골반지표(pelvic parameters)라고 부른다. 기립자세를 정확히 판정하기 위하여는 척추지표와 골반지표를 평가하여야 하며 기립자세에서 시상균형에 관한 지표와 하지에서의 보상작용을 보기 위한 하지의 지표들과도 연관지어 판단하여야 한다. 수많은 척추지표와 골반지표, 그리고 시상균형을 보기 위한 지표들이 여러 저자들에 의하여 제시되고 있으나 본 논문에서는 SRS-Schwab ASD classification에서 시상수정지표로 제시된 지표와 그 외에 유용성이 있다고 판단되는 지표들에 대하여 이야기하고자 한다.

1. 정상 시상만곡각(normal sagittal profile)

해부학적인 구분(anatomical segmentation)에 의하면 척추는 경추전만(C1-C7), 흉추 후만(T1-T12), 요추 전만(L1-L5), 천추 후만(sacrum)으로 나눌 수 있다. LL은 제1요추 상연에서 제1천추 상연 사이의 각도를, 흉추후만각은 제1흉추 상연에서 제12흉추 하연까지를 측정하나 저자에 따라서는 제2흉추 또는 제3흉추의 상연을 기준선으로 사용하기도 한다. Roussouly와 Pinheiro-Franco²¹는 제7경추가 골반 위에서 비교적 안정된 위치를 취한다고 보아 제7경추 하연의 중심점을 기준으로 사용하였다. 흉추후만각은 일반적으로 20-40도 범위에 위치하며^{20,22-24} 50도를 넘을 경우 과후만곡으로 정의한다.²⁵ LL은 더 넓은 범위를 보이며 넓게는 20-80도를, 좁게는 40-60도를 정상범위로 생각한다.^{20,22-24,26,27} 보통 LL이 흉추의 후만각보다 20도 가량 크다. 흉추후만각은 LL과 긴밀한 상관관계에 있으며 흉추후만각이 크면 LL도 커진다. 그러나 연령이 증가할수록 LL은 점차 감소하며 흉추후만각은 점차적으로 증가하는 경향을 보인다. 경추전만각은 평균 40±9.7도라고 보고되고 있다.²⁸

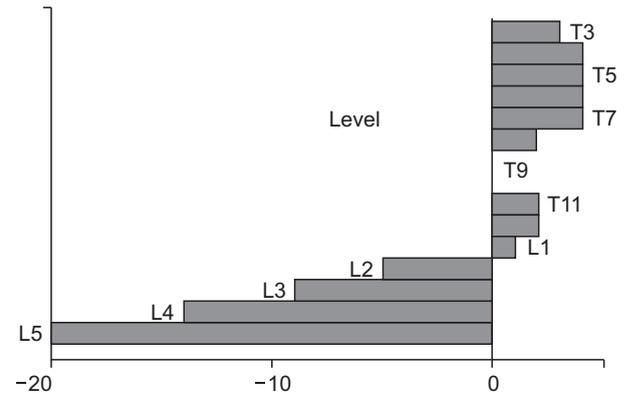


Figure 2. Segmental angles. Lower most two segments, L4 and L5 comprised of approximately 70% of maximum lumbar lordosis. Restoration of these two segmental angles is very important for restoration of adequate sagittal balance.

요추의 분절각(segmental angle)은 제5요추 분절각이 약 20도, 제4요추 분절각은 약 12도, 제3요추 분절각은 9도, 제2요추 분절각은 5도를 보여 각 분절의 전만각이 전체 LL에서 차지하는 비중은 각각 약 40%, 30%, 20%, 10% 정도를 차지하는 것으로 생각된다.^{22,26} LL 중 2/3 (50%-75%)는 제4요추-제1천추 분절에서 형성되어 이 두 분절이 LL에서 가장 중요한 의미를 갖는다.²⁶ 따라서 LL을 회복시키고자 할 때는 이 두 분절에서의 회복에 중점을 두어야 한다(Fig. 2).

2. 요추전만각의 예측

실제적으로 수술에 의해 변화시킬 수 있는 부분은 전만각의 회복뿐이다. 나머지 척추골반지표들, 즉 SVA나 PT 등은 전만각의 회복에 따른 이차적인 변화이다. 따라서 적합한 LL의 회복이 무엇보다도 중요하며 수술 전 환자에게 요추만곡을 어느 정도 만들어 주고 어떠한 형태로 시상만곡을 복원시켜 주는 것이 이 환자에게 가장 적합할 것인가를 예측할 수 있어야 한다. 실제로 Boulay 등²⁹은 PI와 흉추후만각, 천추경사(sacral slope, SS), 제9흉추 기울기(T9 tilt)를 이용하여 다음과 같이 요추만곡의 크기를 추정하는 공식을 만들기도 하였다: 예측 전만각(the predicted lordosis) = $-9.13847 + 0.19225$ 후만(kyphosis) + 1.54225 SS - 0.26799 PI (incidence) + 1.39705 제9흉추 기울기(T9 tilt).

그러나 이와 같은 연구에서 요추만곡의 크기를 추정하는 것은 우리가 수술시 얻어야 할 환자의 가장 이상적인 요추만곡의 크기를 구하는 것이 아니고 흉추후만각, SS 등 LL의 크기와 상관관계가 있는 수치가 정해져 있는 상태에서의 현재 요추만곡의 크기만을 상관관계에 의하여 구하는 것이므로 현재 요추만곡의 크기를 방사선상에서 측정하는 것과 차이가 없어 이를 임상적으로 이용할 수는 없을 것이다. Schwab 등¹⁵은 PI와 골반 및 척추의 위치지표와 형태지표의 상관관계를 이용하여 적절한 요추전만의 정

도를 구하는 수식을 Boulay 등²⁹⁾의 연구결과를 토대로 개발하였다. 이에 의하면 이상적인 $LL=PI+9$ 도라고 제시하였으며 수술 후 $LL=PI+9$ 도 내에 위치하여야 좋은 결과를 얻을 수 있다고 하였다. 현재 이 기준은 수술시 목표로 삼는 좋은 기준으로 널리 사용되고 있다.

제7경추(C7) 척추체의 중심을 환자의 천추 위에 놓이게 하려면 PI의 크기에 따라 교정정도가 달라져야 한다. Debarge 등³⁰⁾은 수술 전 제7경추 기울기(C7 tilt)가 같았더라도 PI가 작은 경우 PI가 큰 환자에 비해 수술 후 제7경추의 위치가 더 좋게 되고 또한 수술 전 척추천추각(spinosacral angle, SSA)이 더 나뉘더라도 PI가 작은 환자가 전체적인 균형이 더 좋다고 하였다. 따라서 강직성척추염 환자에서 한 분절의 PSO를 시행한 경우 이상적인 균형(SSA=약 135도, PT=약 20도)을 얻기가 어려우며 특히 PI가 큰 경우에는 더 어렵다고 하였다. Kim 등³¹⁾도 ASD의 수술 후 시상만곡을 예측할 수 있는 인자로 고도의 PI는 시상균형을 위하여 고도의 LL이 필요하므로 충분한 교정이 되지 못할 가능성이 높다고 하였다. 또한 적합한 시상균형을 회복한 군은 LL과 흉추 후만각 사이의 차이가 컸고($>20^\circ$; $p<0.001$), 수술 전 PI가 작았으며(52 vs. 60; $p=0.007$), 수술 후 LL이 큰 경우(52 vs. 42; $p=0.01$)와 SRS-24 결과가 높을 경우였다고 하였다. Blondel 등³²⁾은 ASD의 수술적 치료시 절골술을 시행할 경우 PI가 매우 작거나 흉추후만곡의 회복이

부족할 경우에는 오히려 후방시상불균형(posterior sagittal imbalance)이 올 수 있다고 하였다.

3. 골반지표(pelvic parameters)

우리 몸의 시상균형을 판단하기 위하여는 고관절축이나 천추의 후상연과 중력선과의 관계를 측정하면 되나 이 관계를 결정하는 중요한 요소인 골반의 위치(orientation, version)와 골반의 형태(shape, morphology)에 대한 지표를 이해하고 측정하는 것이 중요하다. 골반은 골반보상에 의하여 고관절을 축으로 위치가 조절되어 중력선에 대하여 우리 몸의 시상균형을 조절하는 역할을 하므로 시상균형을 판정하기 위하여는 골반의 위치를 판정하는 것은 필수적이다.

골반의 위치(version)는 크게 전굴(anteversion), 중립(equilibrium), 후굴(retroversion)로 나눌 수 있으며³³⁾ 고관절축에 대한 골반의 위치를 판정하는 데는 골반의 위치에 따라 변화하는 위치 지표(positional parameters, orientation parameter)^{12,34,35)}가 사용되며 골반의 형태를 판단하는 지표는 골반의 위치에 따라 크게 평생 변하지 않는 해부학적인 지표(anatomical parameter, shape parameter, morphological parameter)^{12,34-36)}가 사용된다. 가장 많이 사용되는 골반지표는 1980년대 프랑스의 During 등,³⁴⁾ Legaye 등,¹²⁾ Duval-Beaupère 등³⁵⁾이 기술한 지표를 가장 흔히 사용한다.

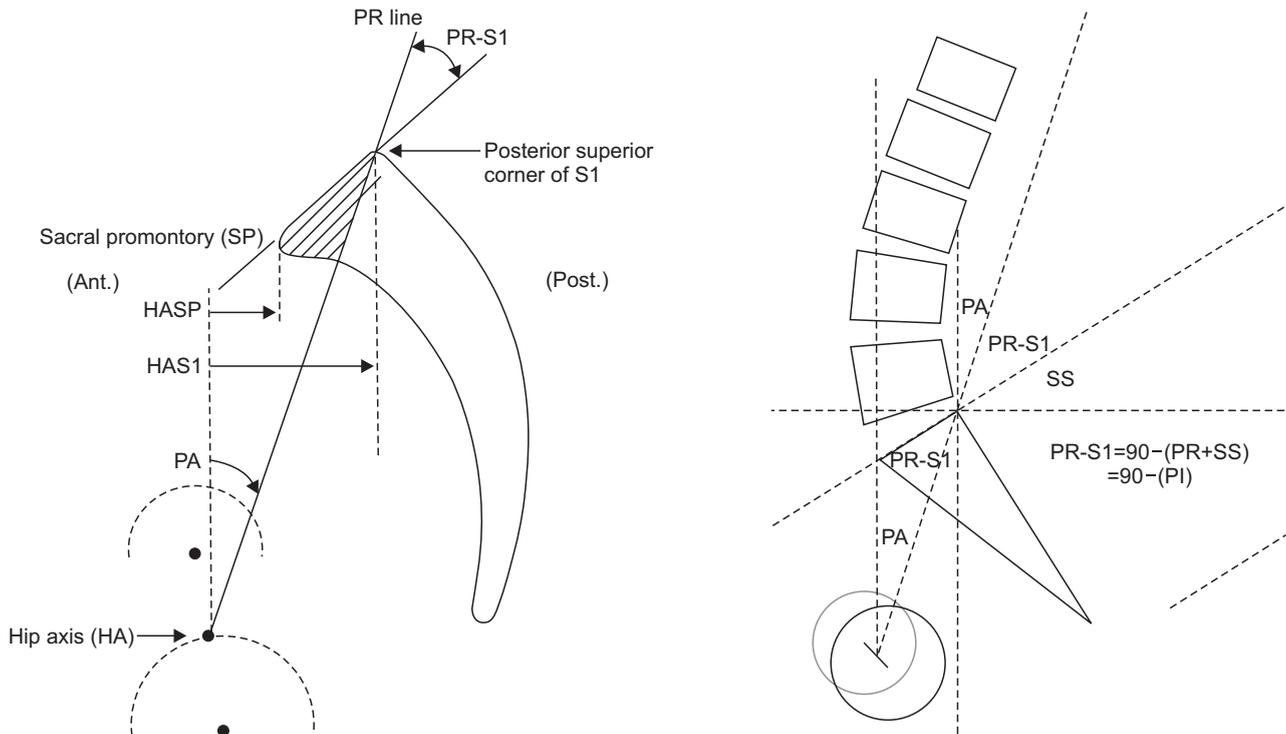


Figure 3. Jackson's pelvic radius technique for measurement of pelvic morphology and pelvic balance around both hips. HASP, the distance between hip axis and sacral promontory; HAS1, the distance between hip axis and posterior superior corner of S1; pelvic radius (PR), distance between the center of the hip axis and the S1 reference point; pelvic angle (PA), angle of rotational pelvic balance around the hip joint; PR-S1, pelvic morphology which does not change regardless of pelvic rotation; Ant., anterior; Post., posterior; SS, sacral slope; PI, pelvic incidence.

1) 위치지표

위치지표는 고관절축에 대한 골반의 회전정도를 나타내는 지표로서 수평선(horizontal line)에 대한 위치지표로 SS가 사용되며 수직선(vertical line)에 대한 위치지표로 PT가 사용된다. 또한 고관절축에 대한 골반의 전위정도를 나타내는 지표로 overhang을 기술하였다. 이 지표들은 기준점을 제1천추 상연의 중심점을 기준으로 하였다. 그 외에 저자들에 따라 여러 가지의 골반지표를 기술하였는 바, Jackson¹⁸⁾과 Jackson 등^{36,37)}은 천추골반각(sacropelvic angle, pelvic angle)과 천추골반전위(sacropelvic translation)를 기술하였다. 이는 고관절축과 제1천추의 후상부를 기준으로 한 지표로서 During 등³⁴⁾이나 Legaye 등,¹²⁾ Duval-Beaupère 등³⁵⁾이 기술한 지표를 약간 변형시킨 것에 불과하다. 이 중 천추골반각은 PT에 해당하며 천추골반전위는 overhang에 해당한다(Fig. 3). 그러나 일반적으로 유럽에서는 Duval-Beaupère 등³⁵⁾의 지표를 사용하며 더 오랜 기간 사용되어 왔고 요사이에는 대부분 이 지표를 사용하고 있다(Fig. 4).

(1) 골반기울기: PT는 좌우 대퇴골두의 중심을 관통하는 횡축에 대해 앞뒤로 어떻게 위치하는가를 나타내는 골반의 공간에서의 위치(spatial orientation)를 의미한다. 제1천추 상연의 중심점과 고관절축을 잇는 선과 수직선이 이루는 각으로 측정한다.

PT는 골반의 회전에 따라 변화하는 동적 골반지표(dynamic pelvic parameter)로서 정상적으로는 PI에 의해 크게 영향을 받지 않고 10-15도 사이의 좁은 범위에 위치하므로 PT의 변화는 병적인 상태에서의 골반의 균형이나 골반보상(pelvic compensation)의 정도를 알 수 있는 가장 중요한 지표이다.^{13,15)}

기립자세에서 평균 PT는 후방으로 13±6도 기울어진다.³⁸⁾ PT가 커질수록 중력선은 고관절의 뒤로 지나가게 된다.^{39,40)} 골반보

상에 의해 PT가 증가하면 천추상연이 점차 수평에 가까워지고 천추는 수직에 가깝게 서게된다. 이러한 자세에서는 비구(acetabulum)가 대퇴골두의 후방만을 덮게 되고 더 이상의 고관절 신전을 제한되게 된다. 고관절치환물일 경우에는 후방 캠효과(posterior cam effect)에 의해 전방탈구가 일어날 수 있다는 점에서 매우 중요하다.^{39,40)} Mac-Thiong 등⁴¹⁾은 정상적인 상태에서 PT의 상한선은 이상적으로는 PI의 50% 이하이며 마찬가지로 이상적인 SS는 PI의 50%보다 작지는 않아야 한다고 하였다. 이론적으로는 최대 PT는 천추상연이 수평이 될 때까지(SS=0도) 일어날 수 있으며 더 이상의 골반회전은 고관절 신전여유(hip extension reserve)에 의해 제한되게 된다.^{39,40)} 이 상태가 가능한 최대골반후방회전으로 생각된다. 기립상태에서 SS가 (-) 수치를 갖는 것은 불가능하며 이론상으로는 의자에 기대어 앉을 때만이 가능하다. 따라서 이론적으로는 PT의 최대치는 PI와 같다. 요약하면 골반보상의 현상인 골반후방회전은 PI 값에 의해 제한되고 PI가 작을 경우에는 골반후방회전에 의해 시상불균형을 보상할 수 있는 능력이 작게 된다(Fig. 5).^{41,42)}

이상적인 골반위는 PT<20도라고 일반적으로 인정되고 있으며 이를 수술적 치료의 목표로 삼고 있다.⁵⁾ PT의 정상범위는 넓게는 -5에서 30도이며 평균 11도에서 15도 사이이다. 그러나 PT는 개개인의 PI에 따라 정상범위가 달라지게 된다(Table 1). 또한 PI와는 달리 PT는 노화에 따라 LL의 감소, 흉추후만의 증가에 대한 보상작용으로 증가하게 된다.⁴³⁾

그러나 PT가 단순하게 고관절 신전에 의한 보상작용을 의미하는 것인지에 대하여는 다시 생각해 볼 필요가 있다. PT는 실제적으로는 고관절에서 일어나는 골반의 후방회전과 슬관절 굴곡으

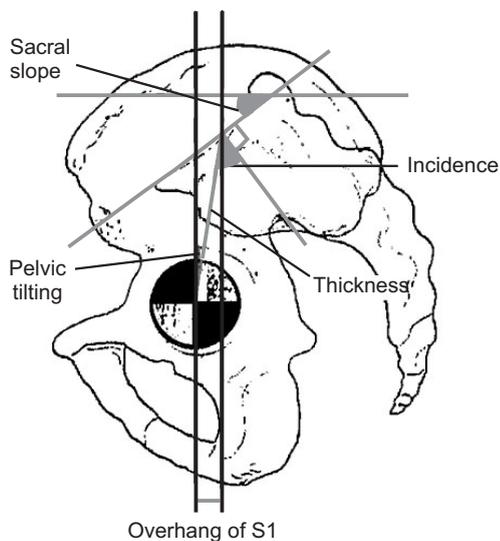


Figure 4. Pelvic parameters. Positional parameters; pelvic tilt, sacral slope and overhang, morphologic parameters; pelvic incidence and pelvic thickness.

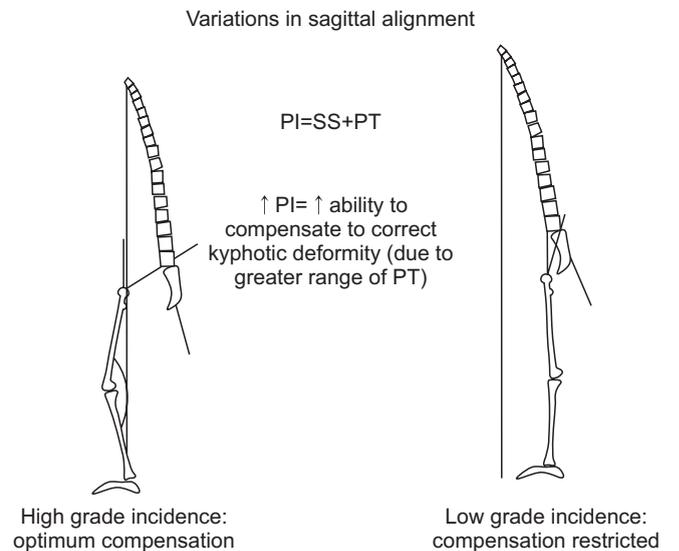


Figure 5. Demonstration of relationship between pelvic incidence and pelvic tilt in compensatory adjustment for kyphosis. Smaller pelvic incidence indicates less compensatory ability. PI, pelvic incidence; SS, sacral slope; PT, pelvic tilt.

Table 1. Classes of PI and Corresponding Values of Spinopelvic Positional Parameters from a Control Group of 154 Subjects

Class	Number	PI (°)	PT (°)
I (28°<PI<37.9°)	12	35.4±1.3 (33.7–37.9)	3.9±4.5 (-1.5–13.3)
II (38°<PI<47.9°)	44	42.7±2.8 (37.9–47.6)	8.9±4.8 (-5.1–18.2)
III (48°<PI<57.9°)	59	52.6±2.8 (48.2–57.4)	12.5±5.6 (-1.2–23.2)
IV (58°<PI<67.9°)	26	62.6±2.8 (58.2–67.6)	15.8±4.3 (7.1–26.8)
V (68°<PI<77.9°)	11	72.6±2.8 (69.6–77.4)	19.7±5.5 (12.6–27.9)
VI (78°<PI<87.9°)	2	81.4±3.3 (79.1–81.4)	21.9±12.3 (13.2–30.6)

Values are presented as number only or mean±standard deviation (range). PI, pelvic incidence; PT, pelvic tilt.

로 발생하는 골관절후방회전을 합한 전체 골반후방회전각을 나타낸다. 따라서 고관절신전이 고관절에서 일어나는 진성 골반 보상(true pelvic compensation)이며 PT는 보상성 슬관절굴곡까지를 합한 현성 골반 보상(apparent pelvic compensation)을 나타낸다고 볼 수 있다.

(2) 천추경사: SS는 천추의 상연이 수평선과 이루는 각도로서⁴⁴⁾ 천추는 척추의 기저부(base)를 형성하기 때문에 SS는 요추 만곡의 크기와 모양을 결정하는 가장 중요한 요소이며, 특히 하부요추의 모양과 크기는 SS의 크기에 직접적인 영향을 받는다. SS가 요추의 모양과 크기를 결정함으로써 척추 전체의 시상만곡의 형태를 좌우하게 된다.^{12,45)}

SS와 요추전만의 관계는 Stagnara 등²⁰⁾에 의하여 처음 기술되었으며 SS가 심할수록 요추만곡이 깊어지고('dynamic back'), 반대로 SS가 작을수록 요추만곡이 편평해진다('static back'). 그 외의 다른 연구에서도 이와 같은 상관관계를 기술하고 있다.⁴⁶⁻⁴⁸⁾ 요추만곡은 수평척추체를 기준으로 상부와 하부의 두 개의 만곡으로 나눌 수 있다.⁴⁴⁾ 하부만곡의 크기는 SS와 같으며 이는 하부만곡이 전체 요추전만을 결정하는 매우 중요한 의미가 있음을 나타낸다. 따라서 SS의 정도에 따라 Roussouly 등⁴⁹⁾은 정상 성인에서 네 개 형태의 요추전만의 유형을 기술하였다. 천추 경사도는 보행을 시작한 이후에는 성장에 따른 영향을 거의 받지 않는다. 나이가 들수록 PT는 증가하나 SS는 비교적 유지된다는 보고도 있다.⁵⁰⁾

(3) Pelvic overhang: 천추상연의 중심과 고관절축과의 수평거리를 pelvic overhang이라고 하고³⁵⁾ 고관절에 대한 천추의 위치, 주로 후방전위정도를 나타낸다. Jackson 등³⁷⁾은 비슷한 개념으로 천추상연의 후상부와 고관절축과의 수평거리를 천추대퇴거리

(sacrofemoral distance, SFD)라고 하였다. 골반이 후방회전하면 pelvic overhang은 증가된다.

2) 해부학적 지표

해부학적 지표는 골반의 형태(shape, morphology)를 나타내는 지표로서 성장기에는 어느 정도 변화하나 성장이 완료된 이후에는 평생 변화하지 않으며 골반의 위치에 따라라도 변화하지 않는 지표로서 골반의 위치를 판정하는 데 도움이 되지 않는다. 그러나 이 해부학적 지표는 위치지표에 직접적으로 영향을 주어 요추만곡의 크기와 형태를 결정함으로써 척추의 전체 형태를 결정하는 데 가장 기본적인 요소가 된다. 해부학적 지표로는 PI와 골반두께(thickness)가 있으며^{12,35)} Jackson 등^{36,37)}은 제1천추 중심점 대신 제1천추 후상연을 기준점으로 사용하는 골반 반경 기법(pelvic radius technique)을 사용하여 PI와 같은 개념으로 천추골반의 형태적 각도(morphologic angle of sacropelvis), 또는 요추골반 각도(lumbopelvic angle), 골반전만(pelvic lordosis), 골반형태(pelvic morphology), Jackson's angle (PR-SI)로 명명한 지표를 제시하였고 골반두께와 같은 개념으로 골반 반경(pelvic radius)를 제시하였다(Fig. 3).

(1) 골반입사각: 고관절축과 제1천추 상연의 중심까지를 잇는 선은 그 선의 길이와 방향에 따라 매우 달라지는 전후방향의 골반의 두께를 나타낸다. 이 지표는 시상골반두께(sagittal pelvic thickness, SPT)라고 알려져 있다.⁴²⁾ SPT의 독립적인 분석만으로는 고관절축과 제1천추 상연의 중심까지의 거리만을 나타낼 뿐, 방향은 나타내지 못하므로 고관절축에 대한 천추의 수직적인 위치를 나타내 주지는 못한다.⁴²⁾ 따라서 두 지점 사이의 거리와 천추위치(sacral position)를 모두 나타낼 수 있는 다른 기준 지표를 찾아야 했다. 이 중 최초로 언급된 지수는 During 등³⁴⁾이 기술한 'pelvisacral angle (PSA)'이며 이 지표는 SPT와 천추상연이 이루는 각이다. 1992년 Duval-Beaupère 등³⁵⁾과 이후 Legaye 등¹²⁾은 천추 상연에 수직선을 그어 PSA에 대한 보각인 'pelvic incidence'를 기술하였다. 이는 마치 천추상연을 통하여 전달되는 부하에 대한 vector와 비슷하다. SPT와 천추상연에 대한 수직선이 입사각(incidence angle)을 이룬다. 입사각이 골반의 가장 중요한 특징을 나타낸다. 즉 성장이 끝난 후 개개인의 특징적인 해부학적 소견이다. 따라서 좋고, 나쁜 입사각은 없으며 다만 개개인의 골반의 해부학적 특징을 부여하는 고정된 각도이다.⁴²⁾

PI는 고관절축과 제1천추 상연의 중심점을 잇는 선과 제1천추 상연에 직각인 선이 이루는 각으로서 골반의 시상형태(sagittal morphology)를 나타내는 데 사용된다. 따라서 PI를 골반형태지수(shape pelvic parameter), 골반 형태 또는 천장관절 개방각(angle of 'sacroiliac joint opening')³⁵⁾이라고도 부르며 개개인별로 독특한 모양을 보이는 형태학적 변수이다. 실질적으로 PI는 천추 경사각과 PT의 합과 같다(PI=SS+PT). 따라서 고관절을 중심으로 한 골

반의 회전에 따라 PI는 변화가 없으나 골반이 후방회전하여 PT가 증가하면 천추경사각이 감소하고, 골반이 전방회전하여 PT가 감소하면 그 각도만큼 천추경사각이 증가하게 된다.

PI는 생후 4세부터 18세까지 증가하는 양상을 보이며, 이는 성장에 따른 적합한 시상만곡을 유지하기 위해 PT 및 요추 전만도가 증가하기 때문이다.⁴³⁾ PI의 경우는 성인이 된 이후에는 나이에 따른 영향을 거의 받지 않는 것으로 보고되고 있다. 성인이 되어서는 안정화되고 각이 결정되어 연령이 증가함에 따라 변화하지 않으며 골반의 위치에 따라서도 변화하지 않는다.^{40,51)} Descamps 등⁵²⁾에 의하면 10세 이전 PI는 상대적으로 안정적이며, 청소년기에 의미있게 증가하기 시작하여 성인에 이르러 완성이 되고 안정화된다고 하였다. 그러나 이 논문은 성장에 따른 PI의 변화를 체계적으로 분석한 것이 아니라 인위적인 나이군을 두어 분석하고 대상군이 적었다는 한계점이 있었다. Mangione과 Sénégas⁵¹⁾에 의하면 PI는 보행을 시작한 후 소아기에 선상 증가를 하는 경향이 있다고 보고를 하였으나 PI가 주로 증가하는 청소년기에 대한 연구가 없었고 대상군이 적었다는 한계점이 있었다. 반면, 몇몇 저자들의 보고에 의하면 PI는 생후 10세경까지는 조금씩 증가하나 10세경부터는 고정되어 각자에 고유한 수치를 갖게 되어 이후에는 변화하지 않는다고 알려져 있다.⁵³⁻⁵⁵⁾ 따라서 PI는 천추 경사 및 요추전만곡에 있어서 신뢰도가 높은 수치로 개개인별로 특수한 값을 보인다.⁵⁶⁾ 그러나 최근에는 성인이 된 이후에도 노화의 과정으로 PI가 증가한다는 보고도 있다. 일찍이 Jackson 등³⁷⁾은 천추골반전위의 증가로 인하여 평생 동안 PI는 점차적으로 증가된다고 하였다. Mendoza-Lattes 등⁵⁷⁾도 성장이 완료된 이후에도 골반골의 재형성에 의해 비구가 천장관절에 비해 전방전위(anterior drift)되기 때문에 대퇴골두와 천골 사이의 전후방 거리가 계속 증가되고 PI도 지속적으로 증가된다고 보고하였다. Vrtovec 등⁵⁸⁾은 비구의 퇴행성 변화로 인하여 고관절축이 점차 전방, 근위부로 전위되거나 전방이동보다는 근위부로의 이동이 더 크기 때문에

골반 두께(pelvic thickness)가 상하로 더 큰 폭으로 감소하고 결과적으로 PI는 증가한다고 설명하고 있다. Vrtovec 등⁵⁹⁾은 나이에 따른 PI에 관한 regression line에서 PI는 나이에 따라 $PI = +0.17 \times \text{age} + 46.40$ 의 술식과 같이 증가한다고 하였다.

여러 가지 골반지표와 척추지표 사이에는 유의한 상관관계의 사슬을 형성하고 있으며 이 중 PI가 가장 중추적인 역할(key role)을 하고 있다. 이들 상관관계 중 PI와 SS, SS와 요추전만과의 상관관계가 가장 높다.⁶⁰⁾ PI가 높은 경우 SS가 크게 되며, SS가 큰 경우에는 요추전만이 크고 흉추후만이 큰 형태의 척추모양을 갖게 되어 척추의 형태지표와 방향지표에 모두 영향을 준다. 따라서 Legaye 등¹²⁾은 PI는 척추의 시상면상의 만곡의 모양을 결정하고 시상면상의 균형을 조절하는 가장 중요한 요소라고 하였다. 그러나 같은 PI라도 천추경사각과 PT가 모두 다를 수가 있기 때문에 같은 PI라도 항상 같은 모양의 척추시상만곡을 갖게 되는 것은 아니다.

골반의 형태도 PI의 크기에 의해 결정되며 PI와 SS, PT 사이의 관계에 의해 기립 시 골반의 위치, 방향이 결정된다. PI가 클수록 SS나 PT 또는 이 둘이 모두 증가한다.⁴⁴⁾ PI를 이루는 선은 천추상연으로 전달되는 부하의 vector를 닮아 있다. 매우 작은 PI를 보이는 골반은 전후방길이가 매우 짧고 상하로 긴 수직형 골반의 형태를 보이며 마치 영장류의 골반과 흡사한 형태이다. 이 경우 대퇴골두는 천추상연의 바로 직하방에 존재하게 된다. 반면에 PI가 큰 골반은 전후직경이 크고 수평형골반으로 SS가 크고 대퇴골두는 천추상연의 중심보다 전방에 위치하게 된다(Fig. 6). 작은 PI가 보여주는 수직형 골반은 수직성에 대한 적응성이 떨어지며 수평형의 골반은 수직성에 대한 적응력이 우수하다. 따라서 수직형의 골반은 SS가 작고 PT를 증대할 수 있는 능력이 작은 반면 수평형골반은 SS가 크고 골반후방회전의 능력이 크다고 할 수 있다.⁴²⁾ 그러나 PI가 크면 큰 PT를 허용하지만 고관절의 신전범위의 한계에 의해 제한되게 된다. 반면 작은 PI에서는 골반의 후방회전이

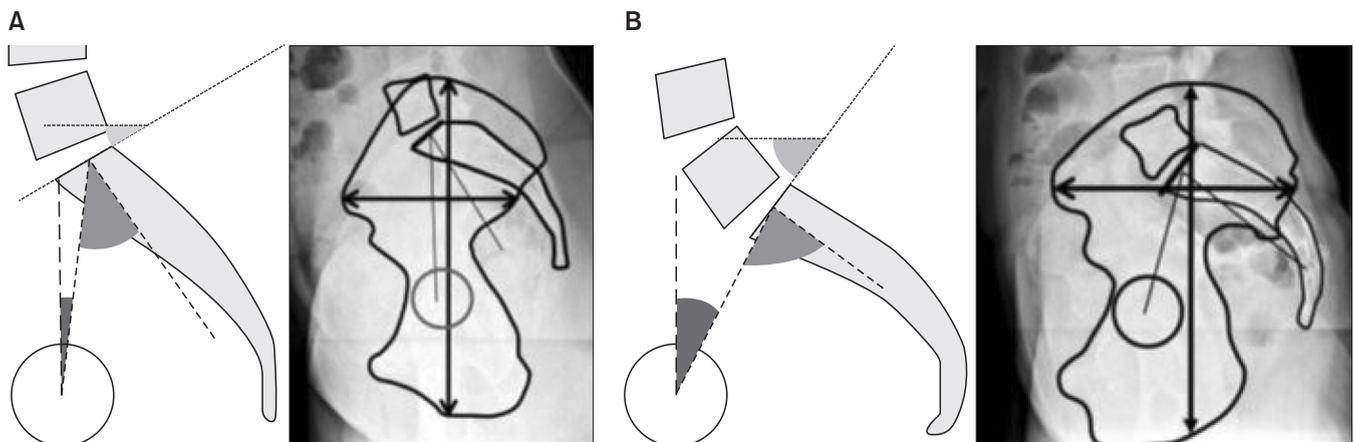


Figure 6. (A) Model and lateral X-ray of a low-grade pelvic incidence pelvis (vertical pelvis). Note the high position of the L5 S1 disc with respect to the top of the iliac crest. (B) High grade pelvic incidence pelvis (horizontal pelvis). L5 S1 disc and L5 are totally below the top of the iliac crest.

작게 허용되지만 고관절 신전여유가 크기 때문에 PT는 SS가 0도가 될 때까지, 즉 PT가 PI와 같은 값이 될 때까지 일어날 수 있다 (Fig. 7).⁶¹⁾

또한 PI는 대퇴골두에 대한 천추상연의 상대적인 위치를 결정하여 골반에 대한 척추의 위치를 결정하게 된다.

Barrey 등⁴⁷⁾은 PI는 골반의 후굴을 만들 수 있는 능력을 결정하며 PI가 큰 환자일수록 PT를 조절할 수 있는 더 넓은 영역을 갖고 이에 따라 적응할 수 있는 여지가 커서 PI가 큰 경우에 발생하는 퇴행성 척추전만증의 경우 시상불균형은 moderate하고 비교적 잘 보상(compensate)한다고 하였다.

그러나 저자들의 경험으로는 PI가 큰 경우에는 PT를 조절할 수 있는 능력이 크나 원래 갖고 있는 SS가 크고 PT에 의한 보상도 잔여 고관절신전에 의해 제한되어 실제적으로 시상균형의 보상에 한계가 있음을 보게 된다. 반면 PI가 작은 경우는 대개 천추 경사가 작아 PT를 약간만 증가시켜도 SS가 0도에 가깝게 되어 시상축을 후방으로 이동시킬 수 있는 장점이 있어 골반의 보상능력이 클 것으로 생각된다.⁶²⁾ 이와 같은 현상은 젊은 층의 정상적인 척추에서도 볼 수 있는 현상으로서 정상적인 시상만곡의 형태 중 PI가 작은 제3형에서도 PI가 큰 제1형에 비해 시상균형이 유의하게 후방에 위치하는 것을 볼 수 있다.⁶⁰⁾ Debarge 등³⁰⁾도 이론적으로는 PI가 작은 경우 최대 골반후방회전능력이 PI가 큰 경우에 비해 작기 때문에 심한 후만증을 보상할 수 있는 능력이 떨어진다고 볼 수 있으나 이 경우는 모든 경우 골반의 후방회전이 SS가 0도까지 일어날 수 있다는 가정하에서이며 PI가 큰 경우 SS가 9도가 될 정도로 골반후방회전이 일어나는 증거는 발견하지 못하였다고 하였고 평균적으로 PI가 작은 경우는 SS가 수평에 가깝게 보상이 일어나나 PI가 클 경우에는 그렇지 못하다고 하였다. 즉 PI가 작

은 경우에는 PI가 큰 경우에 비해 SS가 0도에 비교적 쉽게 도달할 수 있음을 뜻한다. 이것은 고관절 신전범위에 제한이 있기 때문으로 생각된다(Fig. 7).

4. 시상균형(sagittal balance)지표

체간 균형은 골반 상부에서 일어나는 여러 변화 인자에 대한 골반의 교정력 또는 보상 기전에 의하여 획득되며 이러한 척추 균형에 의하여 자신의 골반지표에 맞는 최적의 전만 및 최적의 척추시상정렬을 이루고 신체 중력선을 대퇴골두 위로 가져가는 가장 에너지 소비가 적은 경제적 자세를 얻을 수 있게 된다.⁴⁴⁾

1980년대 초, 프랑스의 Vidal과 Marnay^{63,64)}가 골반을 시상정렬의 조절자로 기술함으로써 global alignment에 대한 이해를 높이는 계기가 되었다.

신체 중력선은 족부의 좁은 지점을 꼭지점으로 하는 원뿔 형태 내에서 신체의 균형을 조절하고 있고 신체 중력선이 이 원뿔 내에 위치하면 균형이 잡힌 상태이며 경제적인 자세이며 신체 중력선이 원뿔밖에 위치하면 균형을 잃은 상태로서 균형을 유지하기 위한 많은 보상작용을 하게 되고 따라서 에너지가 많이 소요되고, 통증 등이 유발될 수 있는 비경제적인 자세이다. 이 원뿔 형태의 범위를 Dubousset⁶⁵⁾은 ‘cone of economy’라고 명명하였다.

1) 시상균형의 측정방법 및 지표

척추의 시상균형은 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 먼저 골반에 대한 척추의 균형을 척추 균형(spinal balance)이라 하며 제7경추에서 내린 수직선인 C7 plumb line (C7 PL)과 제1천추의 후상부와

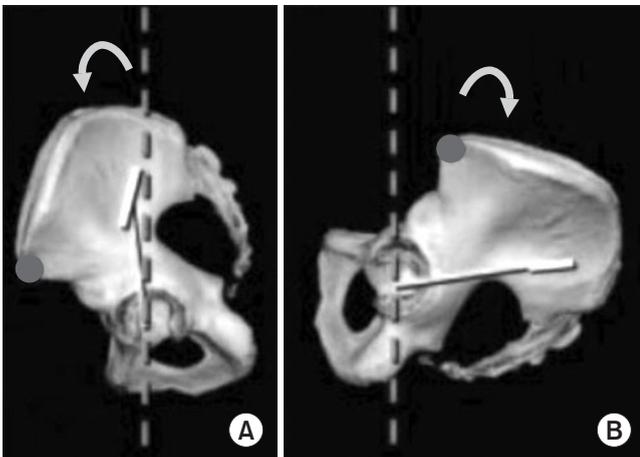


Figure 7. (A) Left maximum pelvis anterior rotation: which is the same as a complete hip flexion and can facilitate hip dislocation. (B) Right maximum pelvis posterior rotation: which shows the limit of pelvis backtilt (the extension reserve).

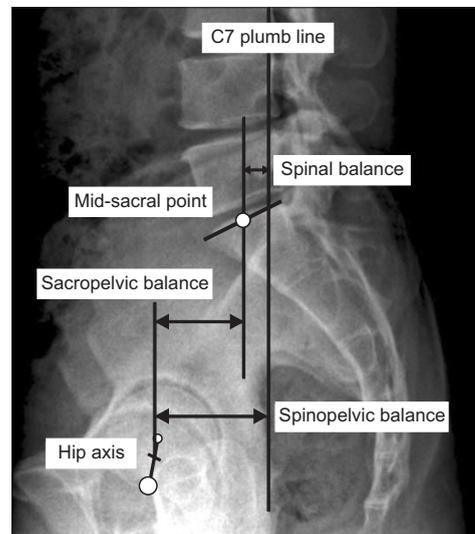


Figure 8. Parameters of the sagittal balance of the spine and pelvis. The spinal balance is defined as the horizontal offset between the midsacral point and C7 plumb line; spinopelvic balance, between hip axis and C7 plumb line; and sacropelvic balance, between hip axis and midsacral point.

의 관계로 판단한다. 이는 SRS에서 정의한 시상균형에 해당한다. 골반의 고관절축에 대한 균형을 천추-골반 균형(sacropelvic balance), 척추와 골반 전체가 고관절축에 대한 균형을 척추-골반 균형(spino pelvic balance)이라 하고 C7 PL과 고관절 축과의 관계로 하며 이는 척추의 모양과 골반보상까지를 함께 고려하는 시상균형이다(Fig. 8).¹⁸⁾

이상의 시상균형을 측정하는 방법은 기준점을 중심으로 한 거리를 측정하는 방법(거리지표)과 기준점을 중심으로 각을 측정하는 방법(각지표), 거리 사이의 비를 측정하는 방법(거리지표)이 있다. 척추균형은 대표적으로 SVA로 표시한다. 각지표로는 제1흉추 기울기(T1 tilt)나 척추기울기(spinal tilt, ST) 등이 있다. 천추골반균형은 PT나 천추골반각, pelvic overhang이나 천추골반전위로 판단한다. 척추골반균형은 거리지표로도 표기하나 SSA, 척추골반각(spino pelvic angle, SPA)이나 T1골반각(T1 pelvic angle, TPA) 등으로 판단한다.

(1) 시상면 수직축: C7 PL은 전반적인 균형을 투영해줄 수 있는 지표로서 제1천추 후상부로부터의 거리를 측정하는 방법과 고관절 축으로부터의 거리를 측정하는 방법이 있다. 이 중 C7 PL과 제1천추 후상부의 거리를 SVA로 명명하여 이 거리를 척추시상균형을 나타내는 가장 중요하고 대표적인 지표로 사용하고 있으며 척추시상균형과 전체적인 환자의 결과를 판정하는 데 C7 PL과 제1천추 후상연과의 관계를 사용하는 것은 이제는 표준화가 되었다.^{2,66,67)} 따라서 전반적인 척추 정렬(global spinal alignment)은 SVA에 의해 측정되는 경우가 가장 흔하며 5 cm 이내가 정상범위이다. SVA가 ± 5 cm를 초과할 경우 시상불균형으로 판정한다.⁶⁸⁻⁷⁰⁾

C7 PL은 우리 몸의 시상균형을 측정하는 가장 보편적인 기준선으로 사용하지만 경추의 정렬을 반영하지 못하는 단점이 있듯이 마찬가지로 제1천추가 SVA를 측정하는 원위 기준점으로 사용되고 있으나 이 역시 시상정렬에서 골반과 하지의 역할을 반영하지 못하고 있다. 따라서 SVA만을 이용한 전반적인 시상면 평가(global sagittal assessment)는 골반과 하지의 보상작용을 평가하지 못하게 된다.⁷¹⁾ 즉 SVA가 5 cm 이하여도 골반이나 슬관절에서 보상에 의한 균형(compensated balance)인 경우 보상의 정도가 어느 정도인지 확인하기가 어렵다. 따라서 SVA만으로 시상균형을 판단하는 것은 시상균형의 모든 면을 제대로 판단할 수 없다. 이 경우에는 골반과 슬관절에서의 보상을 판단하는 지표인 PT를 함께 보아야 한다. 또한 SVA는 척추 균형의 가장 중요한 기준점으로 생각되는 고관절축(hip axis)보다는 천추의 후상연을 기준으로 한 지표이나 SVA < 50 mm는 시상균형의 가장 중요한 기준의 하나로 인정되고 있으며 이 기준은 결국 C7 PL이 고관절축의 후방에 위치하도록 하는 것과 같으며 이 한계치가 양호한 HRQoL 점수와 부합된다.⁹⁾

따라서 이에 더하여 고관절축을 기준으로 시상균형을 판단할 수 있는 PT를 함께 측정하여 SVA의 맹점을 보완해야 한다. Le

Huec 등⁴²⁾은 시상균형의 평가가 완전해지려면 C7 PL과 ST와 같은 몸의 전반적인 균형(trunk의 global balance)를 측정하는 지표와 PT에 의한 골반회전뿐 아니라 하지의 위치를 나타내는 지표를 모두 포함해야 한다고 하였다. Le Huec 등⁷²⁾은 이 세 가지 지표를 모두 고려하여 절골술 시 필요한 교정각의 추정을 위하여 full balance integrated라는 측정방법을 제시하였다(Fig. 9).

방사선적 측정에서는 선지표 보다는 각지표(angular parameter)나 비율지표가 방사선 검사의 확대율에 따른 변화에 덜 민감하기 때문에 선지표(거리지표)보다 선호되고 있다.^{46,73)}

Mac-Thiong 등⁴¹⁾은 전반적인 척추균형(global spinal balance)을 측정하는 지표로 각지표인 ST, SSA와 비율지표인 제7경추 전위비의 세 가지 지표를 제시하였다. 이 지표들은 골반이나 천추에 대한 제7경추의 위치를 나타내는 지표이다(Fig. 10).

이들을 포함한 시상균형지표들을 소개하고자 한다. 미국에서는 SVA가 통상적으로 쓰이고 있으나 유럽에서는 그 외의 여러 가지 각지표를 사용하고 있다.

(2) 척추기울기: 수평선과 제7경추 중심과 천추상연의 중심을 잇는 선이 이루는 각도로 90도를 넘으면 제7경추의 중심이 천추상연 중심보다 뒤에 있는 것을 의미하며 90도보다 작으면 제7경추의 중심이 천추상연 중심보다 전방에 위치하는 것을 의미한다. 이는 수직선에 대해 척추전체의 기울기를 나타내는 제1흉추 기

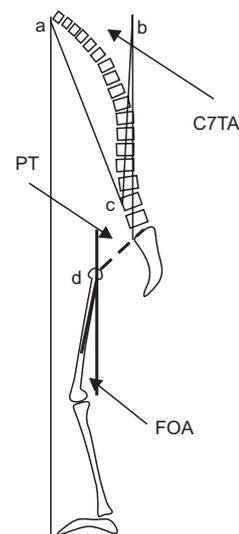


Figure 9. Preoperative planning using the full balance integrated technique. C7 translation angle: C7TA. Midpoint of the C7 inferior plateau (a) is translated on the plumb line ascending from the mid part of the S1 plateau (b). Point c is on the anterior cortex of the selected vertebra for osteotomy, which is mainly L4 vertebra. Femur obliquity angle: FOA. Femur flexion is measured as the angle between the femoral axis and the plumb line (d). Pelvis compensation angle: PTA. Pelvic tilt is measured as usual: line between center femoral head to mid part of S1 plateau and vertical line. If PT between 15° and 25°: add 5°. If PT superior 25°: add 10°. PT, pelvic tilt.

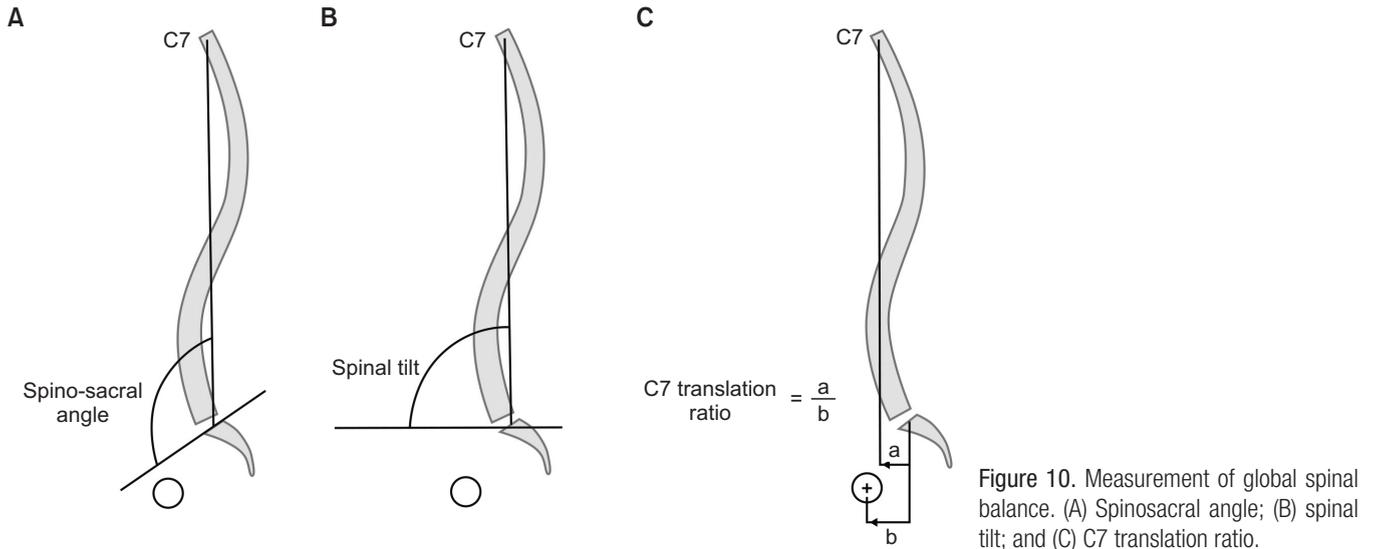


Figure 10. Measurement of global spinal balance. (A) Spino-sacral angle; (B) spinal tilt; and (C) C7 translation ratio.

울기각(T1 tilt angle)이나 제7경추 기울기각(C7 tilt angle) 등과 같은 의미를 지니며 지면에 대한 척추의 방향을 나타내고 SVA와 비슷한 개념으로 거리지표인 SVA에 대한 각지표이다.

(3) 척추천추각: Roussouly 등⁷³⁾이 제시한 제7경추 중심과 천추상연의 중심을 잇는 선과 천추상연이 이루는 각도로서 이는 ST에 SS를 합한 각이다. 따라서 ST에 골반의 회전정도를 혼합한 개념으로 SVA와 PT를 함께 더한 것과 비슷한 개념으로 생각된다.

Roussouly와 Pinheiro-Franco⁶¹⁾에 의하면 SSA는 전 척추(whole spine)의 전체후만(global kyphosis)을 수량적으로 나타내주는 각도로서 균형이 잘 잡힌 척추에서는 SSA는 SS에 비례하며 후만증이나 요추전만의 소실이 있는 경우에는 SSA가 감소한다고 하였다. 후만증이 심할수록 SSA가 심하게 감소한다. 이러한 관계가 후만증 교정의 필요성을 판정하는 지침으로 사용할 수 있다. SSA와 SS, 요추전만과의 사이에는 강한 상관관계를 보인다.^{24,37,73)}

정상인의 SSA는 평균 135 ± 8 도(110-150도), ST는 85-100도로 예측되고 ST는 90도에 매우 근접하며 최소의 변동치(variability)를 보인다.⁷³⁾ ST는 수평선에 대한 척추의 전체방향(global orientation)을 나타내는 기능적인(functional) 위치지수(positioning parameter)로 볼 수 있고 반면에 SSA는 척추의 전체후만을 나타내는 형태지수(morphologic, shape parameter)로 여겨진다. ST와 SSA는 $SSA = ST + SS$ 의 관계식으로 성립될 수 있으며 ST의 평균치는 비교적 안정적으로 유지되며 SSA와 SS 사이에는 매우 강한 상관관계가 있다. 시상면 불균형이 발생할 경우 SS가 감소함으로써 ST를 비교적 안정적으로 유지할 수 있다.⁷³⁾ ST와 SSA는 모두 흉추와 요추의 전반적인 시상면 균형(global sagittal balance)을 수량적으로 나타내므로 전반적인 불균형(global imbalance)을 가진 환자를 확인하는 데 사용될 수 있다. 특히, 정상 SSA 값은 전체후만의 정도와 수술적 치료의 결과를 판정하는 데 사용될 수 있다. 예를 들면 심한 후만증에서는 SSA가 많이 감소하고 SSA가 감소할

수록 후만의 정도는 증가한다고 볼 수 있다. 반면에 ST는 매우 좁은 범위(85-100도)에서 유지되고 정상성인에서 수직선과 더 밀접한 관계를 보이기 때문에 SSA보다는 ST가 더 애용되고 있다.⁶¹⁾ 그러나 ST만으로는 시상균형의 조절에 있어서 골반의 회전에 의한 골반의 역할을 분석하기가 어렵다. SSA는 정상 전체균형을 유지하는 데 천추골반(sacropelvis)의 영향력을 고려할 수 있는 장점이 있다. 즉 SSA는 ST에 SS의 요소가 가미되어 골반의 보상작용이 고려된 지표이다. 이전의 연구에서도 SSA는 SS와 같은 천추골반 균형과 PI 같은 천추골반 형태(sacropelvic morphology)와 밀접한 관계가 있다고 보고하고 있다.⁷³⁾

(4) 제7경추 전위비(C7 translation ratio, C7/SFD ratio): 천추상연의 중심과 C7 PL과의 거리를 천추상연의 중심과 고관절축의 거리로 나눈 비율지표이다. 천추상연중심보다 전방의 거리는 (+) 값이다. 고관절축이 천추상연중심보다 전방에 위치하면서 C7 PL이 천추상연의 중심의 후방에 위치한 경우 제7경추 전위비는 (-) 값을 갖게 되며 C7 PL이 고관절축과 천추상연 중심보다 앞에 있는 경우는 1보다 큰 값을 갖게 된다. (-) PT면서 C7 PL이 천추상연 중심보다 후방에 위치하는 경우에는 제7경추 전위비는 (+) 값을 갖게 된다. C7 PL이 고관절축과 천추상연 중심보다 모두 후방에 위치할 경우에는 1보다 큰 값을 갖게 된다. 이 지표도 거리비를 이용한 지표로서 각지표처럼 거리지표가 갖고 있는 측정 오차의 문제를 해소할 수 있다. 이 지표는 골반회전에 의한 고관절축과 천추와의 거리에 대한 SVA의 비를 측정함으로써 SVA와 PT를 모두 고려한 지표로 생각된다. 보상 균형을 경우에는 감소하며 대상실조(decompensation)의 경우에는 1보다 커지게 된다. Lafage 등,¹⁰⁾ Barrey⁴⁶⁾가 기술하였던 C7/SFD ratio와 같은 지표로서 평균 -0.9 ± 1 이다.

(5) 척추골반각(Fig. 11): Roussouly와 Nnadi⁵⁰⁾는 또한 SPA에 대하여 기술하였다. SPA는 제7경추의 중심과 천추상연의 중심을 잇

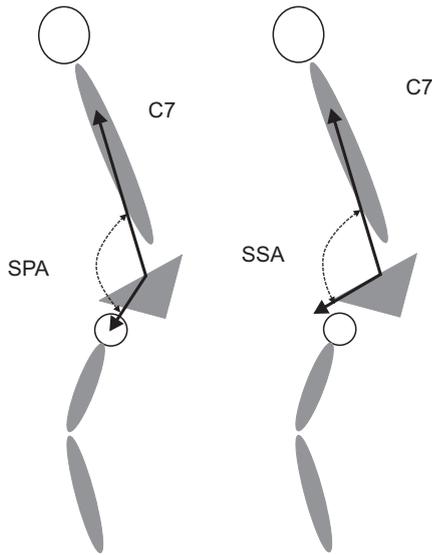


Figure 11. Spino-pelvic angle (SPA) formed by the line between the center of the C7 body and the center of the S1 upper endplate and the line between the center of the S1 upper endplate and hip axis. SPA combines the spinosacral angle (SSA) and pelvisacral angle, the pelvic morphologic angle. Therefore, SPA consider not only positional parameter but also anatomical parameter.

는 선과 고관절축과 천추상연의 중심을 잇는 선이 이루는 각으로서 후만증이 있으면 감소하므로 자세성 각도(postural angle)이다.

SPA=SSA+PSA이며 PSA는 PI의 보각이므로 SPA는 SSA에 개개인의 PI까지 가미한 개념이다. 또한, SPA=ST+SS+PSA=ST+SS+90-PI=ST+90-PT의 식이 성립하게 된다. 즉 SS가 같더라도 PI에 따라 PT가 달라지므로 SPA가 같다고 할 수 없으며, SS와 SSA가 같더라도 같은 정도의 보상이 이루어진다고 볼 수 없는 것이다. 같은 SS라면 PI가 클수록 SPA는 감소하고 PT가 클수록 SPA는 감소하게 된다.

후만변형이 있으면 SPA는 감소하고 SSA도 후만증과 상관관계가 있다. 따라서 SPA와 SSA의 개념은 후만변형의 교정전략에 유용하다.³⁰⁾

(6) T1 골반각(Fig. 12): 척추골반정렬을 판정하는 데 가장 많이 사용되고 확립된 방법인 SVA와 PT는 골반후방회전, 슬관절 굴곡이나 기립 시 보장구 등의 사용에 의해 변화될 수 있다. Lafage 등³⁾에 의하면 SVA만 측정할 경우 PT가 증가됨으로써 척추 변형을 숨길 수 있기 때문에 심한 SVA를 보이지 않는 경우 척추 변형 환자를 찾아내려면 반드시 PT를 함께 고려해야 한다고 하였다.

Protopsaltis 등⁷⁴⁾은 ST와 골반후방회전의 정보가 합쳐진 TPA라는 새로운 지표를 소개하면서 이 각은 보상작용이나 환자의 자세의 영향을 받지 않아 촬영 시 반드시 무릎을 펴거나 서서 촬영할 필요도 없고 수술시 엎드린 자세에서도 큰 변동이 없어 수술시 교정의 적정도를 판정하는 데에도 유용하게 쓰일 수 있을 것이라고 하였다. 개인에 있어서 SVA와 PT는 서로 상호관련이 있어서

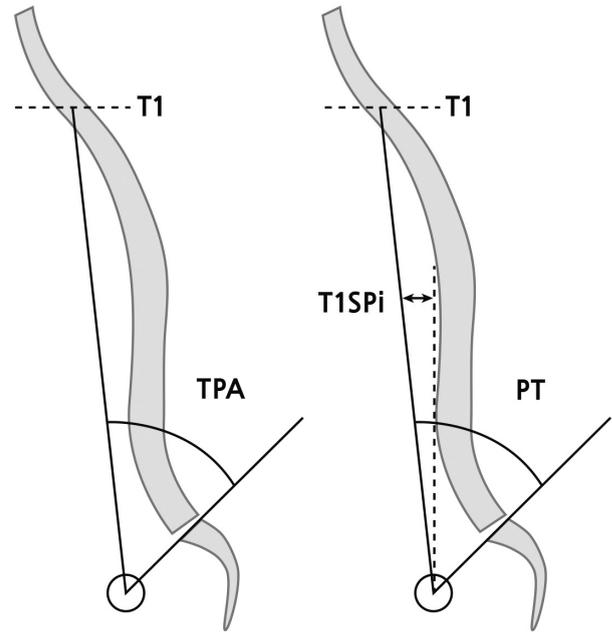


Figure 12. T1 pelvic angle (TPA), a novel radiographic parameter that accounts for both global malalignment and compensation through pelvic retroversion. The TPA is defined as the angle between the line from the femoral head axis to the centroid of T1 and the line from the femoral head axis to the middle of the S1 superior end plate. The TPA is the sum of the T1 spinopelvic inclination (T1SPi) and the pelvic tilt (PT).

서로에게 영향을 주게 된다. 이러한 상호작용은 슬관절 굴곡, 골반후방회전과 같은 시상균형을 유지하기 위한 보상기전에 의해 더 변화하게 된다. 그러나 TPA는 ST와 PT를 동시에 고려하고 있는 지표이기 때문에 보상작용에 의한 영향을 덜 받게 된다.

TPA는 T1기울기(제1흉추 기울기)와 PT의 합이므로 TPA의 정상각은 Vialle 등³⁸⁾이 제시한 평균 제1흉추 기울기(±standard deviation)=-1.35±2.7도와 평균 PT=13.2±6.1도의 값으로 계산했을 경우 TPA=11.9도라고 하였다.

TPA는 SVA (r=0.837), PI-LL (r=0.889), PT (r=0.933)와 밀접한 상관관계를 보이며 TPA가 증가함에 따라 HRQoL이 점차 나빠지고 요통기능장애척도(Oswestry disability index, ODI)와도 상관관계가 크다고 하였다. TPA가 20 이상이면 심한 장애의 기준인 ODI가 40 이상이 되며, 수술시 TPA의 목표를 14도 이하로 잡을 것을 권하였다.⁷⁴⁾

Ryan 등⁷⁵⁾은 TPA의 수술적 목표를 수술 후 교정소실을 고려하여 10도로 잡을 것을 권하였다. 그래야만 최종 TPA가 15도 이내로 유지되고 한계치인 20도는 넘지 않을 것이라고 하였다.

Roussouly와 Nnadi³⁰⁾가 기술한 SPA와 SSA도 TPA와 비슷한 개념의 지표이다. 그러나 이 지표들은 후만변형이 증가할수록 값이 작아지고 이 지표와 HRQoL과의 연관관계는 증명되지 않았다. 반면 TPA는 T1기울기와 PT의 합이므로 변형이 증가할수록 TPA 값도 증가한다. 또한 PT의 수술적 목표가 20도이고 T1기울기가 0

도이므로 TPA의 수술적 목표는 TPA < 20도라고 쉽게 생각할 수 있으며 이는 심한 장애를 나타내는 ODI score 40과 TPA 20도가 비교적 일치하는 저자들의 data와 맞는다고 하였다.⁷⁴⁾

(7) T1기울기(T1 tilt, T1 spinopelvic inclination), T9 기울기(T9 tilt) (Fig. 13): ST도 방향지표로서 이것은 척추의 지면에 대한 방향지표이며 이들은 고관절축에 대한 방향지표(orientation parameters)이다.

일반적으로 척추시상변형의 가장 기본적인 측정방법으로 확립된 것은 SVA나 유럽에서 발행된 많은 연구에서는 T1 tilt 또는 T1 spinopelvic inclination이 주로 사용되고 있다. 이 각은 T1 척추체의 중심과 고관절 축을 잇는 선이 수직선에 대하여 이루는 각으로서 각 구역의 기울기를 모두 합한 전체 척추균형을 볼 수 있는 지표이다.^{3,11,12,38,76)}

Boulay 등,²⁹⁾ Duval-Beaupère 등,³⁵⁾ Duval-Beaupère와 Legaye⁷⁷⁾가 기술한 제9흉추 기울기(T9 tilt)는 고관절축과 body mass의 중심으로 여겨지는 T9의 중심을 연결하는 선이 수직선과 이루는 각도로서 body mass 중심에서의 척추균형을 나타낸다. 일반적으로 신체체중의 중심에서 내린 중력선은 고관절축의 바로 뒤로 지난다고 되어 있다. T9의 중심이 고관절축의 후방에 있을 경우의 제9흉추 기울기(T9 tilt)는 (+)로, 전방에 있는 경우는 (-)로 기술한다.

이상의 지표들을 종합하면 척추골반시상균형을 판단하기 위하여 기본적으로 측정해야 할 지표는 다음과 같다.

척추골반지표: PI, PT, LL

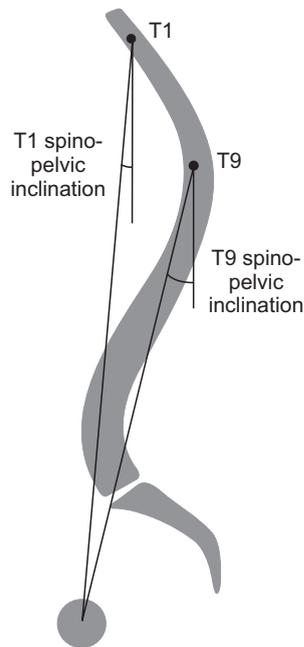


Figure 13. Inclination of spine over the hip joint. T1 Spinopelvic inclination and T9 spinopelvic inclination defined as the angle between the vertical plumbline and the line drawn from the vertebral body center of T1 or T9 and the center of the bicoxofemoral axis.

시상균형지표: SVA, T1 tilt, SPA, TPA

Roussouly와 Pinheiro-Franco⁶¹⁾에 의하면 시상균형을 빠르게 진단하려면 다음과 같은 세 가지 점을 보아야 한다고 하였다.

Pelvic angles: PI, PT, and SS

Type of LL

Positioning of C7 PL (SSA, ST)

Barrey 등⁷⁸⁾은 척추의 시상균형을 분석하기 위하여는 다음과 같은 단계가 필요하다고 하였다.

PI 측정

SSA와 C7 PL/SFD ratio 측정에 의한 시상균형의 분석

보상기전의 판정: 요추전만, 흉추후만, 보상성 추간판병증의 유무, 척추후방전위증 유무

PT 측정

슬관절 굴곡의 측정

5. 보상 작용

인간이 진화하면서 과거의 화석인류에 비해 달라진 것은 무릎과 고관절이 신전되면서 요추의 전만이 증가되었다는 것이다.^{33,79)} 이와 같이 고관절의 신전과 요추의 전만은 기립자세를 취하기 위한 가장 중요한 기전이다.^{33,79)} 기립자세를 취하기 위하여는 우선 천추의 수직화(verticalization of sacrum) 과정이 필요하다. 이때는 주로 고관절의 신전근이 작용하면서 골반은 서고 고관절은 신전하게 된다. 다음 과정은 허리의 신전근이 작용하면서 LL이 증가하며 이때 고관절의 신전근은 이완되고 고관절의 관절낭과 그 주위의 인대들이 전방에 긴장대(anterior tension band)를 형성하면서

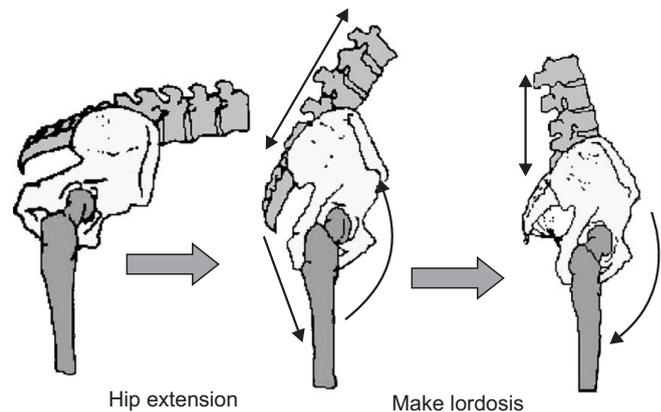


Figure 14. Mechanism for acquisition of upright posture. Two main mechanisms, first, hip extension with verticalization of the sacrum by contraction of the gluteal muscle and hamstring muscle and relaxation of the anterior tension band to make hip extension easier and second, making lordosis with horizontalization of the sacrum by the erector spinae muscle and tightening of the anterior tension band to prevent or limit hip overextension. This mechanism is also applied as a compensatory mechanism for maintaining sagittal balance.

천추의 수평화(horizontalization of sacrum)가 일어난다.^{33,79,80} 즉 고관절의 신전과 요추의 전만을 만드는 것이 기립자세를 만드는 가장 기본적인 기전이다(Fig. 14).

이 기본 기전은 정상적인 시상정렬을 만드는 데도 중요하고 시상정렬에 이상이 있을 때 시상균형을 유지하기 위하여 보상작용을 하는 데 있어서도 가장 중요한 기전이다. 기립자세의 기본 기전인 고관절의 신전이나 요추 전만을 만드는 과정에 문제가 생기면 척추의 시상정렬에 이상이 생기게 된다. 고관절의 신전근이 약화되거나 고관절의 굴곡 구축이 있어 천추의 수직화에 문제가 생기면 대신 요추의 전만을 많이 만들어 시상균형을 유지하여야 한다. 따라서 이러한 경우에는 골반은 전굴이 되고 요추 전만의 정도와 깊이가 깊어지며 길이가 길어져 전만이 흉추의 하부까지 연장되어 흉추후만이 감소되는 양상을 보이게 된다.

반면 요추의 전만을 만들기가 어려운 상황, 즉 요추부의 퇴행성 변화가 심하고 후만 변형을 보이는 경우, 또 요추부 유합술 후 전만이 감소된 경우에는 고관절의 신전을 많이 만들어 시상균형을 유지하게 된다. 즉 골반이 수직으로 서게 되어 후굴이 되며 요추의 상부인 흉추에서 전만을 만들게 된다. 또한 슬관절을 굴곡시키므로써 고관절을 약간 굴곡시켜 고관절 전방의 긴장대를 완화시켜 주어 고관절이 신전을 보다 용이하게 할 수 있게 한다.⁸¹ 그러나 요추의 전만을 만들지 못하는 상황에서 고관절의 신전도 이루지 못하면 대상실조에 빠지게 된다. 이러한 경우는 특히 하부 요추의 후만 변형이 있는 경우 고관절의 신전근이 같이 약해지게 되면 발생할 수 있으며 Lee 등⁸²은 이러한 현상을 고관절 위의 척추골반 대상실조(sagittal spinopelvic decompensation over the hip joint)라고 설명하였으며 이런 경우는 요추부의 수술적 치료는 금기라고 하였다. 한 환자에게서 모든 보상기전이 다 보이지는 않지만 보상기전은 주로 척추의 유연성, 근육상태, 불균형의 정도에 따라 다른 정도의 보상기전을 보이게 된다.⁷⁸

Legaye와 Duval-Beaupère¹¹⁰는 어떤 병적상태에 관계 없이 골반 후방회전은 척추골반정렬의 불균형을 의미하는 sign이나 척추골반정렬의 불균형 시 항상 골반후방회전이 일어나는 것은 아니며 따라서 환자 개개인의 PI에 맞는 요추전만과 SS를 맞추어 줄 수 있도록 노력해야 한다고 하였다.¹¹¹ 49명의 정상성인에서 세 가지 형태의 척추골반불균형을 발견할 수 있다고 하였다: 심한 흉추후만이 있는 경우는 이를 보상하기 위한 1) 요추전만의 증가를 보이나 SS는 정상을 보이며; 고관절의 굴곡구축이 있는 경우는 2) SS가 증가되고 골반후방회전은 감소하면서 요추전만이 증가하고; 요추의 유연성이 없는 전만감소(편평배부)의 경우는 3) 골반의 후방회전과 함께 SS가 감소하게 된다.¹¹¹

골반에서 머리까지는 시상면상 선상 사슬연결(linear chain linking)을 이루므로 어느 한 분절 또는 한 구역(pelvis/lumbar spine; lumbar spine/thoracic spine)의 변화는 이웃분절이나 이웃 구역에 영향을 주며 결국에는 척추전체 만곡의 형태와 위치의 변화를 일

으키게 된다.⁴⁴ 따라서 보상기전의 가장 기본적인 개념은 후만부위의 인접분절을 신전시킴으로써 일어나게 된다는 것이다.⁷⁸ 이에 따라 인접분절의 과신전 및 후방전위가 일어날 수 있으며 보상성 추간판병증의 소견을 보이게 되어 진행하면 인접분절병(adjacent segment disease)으로 발전할 수 있다.

외상성 후만증과 같이 급성으로 후만이 일어날 경우 골절이 일어난 위 아래의 골절이 되지 않은 부위에서 유연한 변형(flexible deformation)에 의해 보상이 일어나게 된다. 경흉추부나 흉추부의 후만변형처럼 후만증이 척추의 상부에서 일어날 경우 요추의 전만이 심해짐으로써 보상을 하게 되나 일반적으로 골반에서의 보상작용은 일어나지 않는다. 따라서 요추의 전만이 증가하기 때문에 골반은 전굴을 이루게 된다.⁸³ 흉요추부의 후만이 있을 경우에는 요추의 전만을 많이 만들어 보상을 하나 이때에도 골반은 약하게 후굴되어 요추에서의 보상작용을 보조하게 된다.⁸³ 후만이 요추전부까지 연장되어 있는 경우에는 요추전만만으로 보상하기에 요추전만의 길이가 너무 짧다. 이 경우에는 골반에서의 보상도 어느 정도 일어나게 된다. 따라서 보상은 전만의 길이와 척추의 유연성과도 관계가 있다. 이러한 보상작용은 매우 에너지를 소모하는 비경제적인 자세이므로 근육의 피로현상에 의해 결국은 탈보상하게 된다.

고령에서 시상변형의 전형적인 소견은 흉추 후만곡이 증가하고 요추부 퇴행성추간관절환에 의해 LL이 감소함으로써 신체중력선이 점차 전방이동하는 것이다. 신체중력선이 일정범위를 벗어나면 보상이 필요하며 불균형을 수정하기 위한 여러 가지 기전이 작동되게 된다. 첫째로, 척추의 후방근육이 수축하여 몸통을 수직으로 세우는 노력을 하게 되며 시간이 지나면 근육의 피로현상과 통증이 수반하게 된다. 더욱이 고령의 환자에서는 척추의 후방근육의 약화가 이러한 보상작용을 충분히 일으키지 못할 수가 있고 더 심한 통증과 장애를 유발할 수 있다. 또한 이 과정에서 후관절에 과도한 압력이 발생하여 이로 인한 통증이 발생할 수도 있다. 둘째로, 대퇴골두주위로 골반의 후방회전이 일어나게 된다. 그러나 나이가 들수록 고관절은 퇴행성변화를 겪게 되고 운동범위를 잃게 되어 척추의 변형에 대응하는 데 필요한 만큼 충분히 고관절을 신전시키지 못하게 된다. 이러한 상황은 결국 PT를 강화하는 능력을 제한하게 된다. 또한 고관절의 운동범위가 정상이라 하더라도 골반의 후방회전이 무한대로 일어날 수는 없으며 이러한 골반의 후방회전은 10도 정도의 고관절의 신전 여유에 의해 제한되게 된다. 셋째는, 더 심할 경우 대퇴사두근에 의해 조절되는 슬관절의 굴곡에 의해 보상되게 된다.

이러한 변형을 보상하기 위한 척추의 능력은 PI에 의해 정의되는 환자의 내재적인 골반형태(intrinsic pelvic morphology)에 의해 결정된다. $SS+PT=PI$ 라는 등식에 의거해 골반을 후방 회전시키면 SS는 감소하게 된다. 이 등식의 중요성은 척추시상불균형을 보상하기 위하여 PT나 SS를 변화시킬 수 있는 능력은 PI의 크기에 의

해 결정된다는 것이다. PI가 큰 경우는 골반의 후방기울기를 증가시켜 SS를 감소시킴으로써 후만변형을 보상할 수 있는 능력이 크나 반대로 PI가 작은 경우는 시상균형을 복원하기 위한 PT를 증가시킬 수 있는 범위가 부족하다고 볼 수 있다. 이러한 해석은 나아가 PI가 작은 시상변형 환자는 이와 같은 보상기전이 부족하기 때문에 증상이 더 조기에 나타날 가능성이 있다는 해석을 가능하게 한다.³⁰⁾ 골반후방회전은 이론적으로는 최대허용 PT, 즉 SS가 0도가 될 때까지 일어날 수 있으나, 이는 골반후방회전이 일어난 후 남아있는 고관절의 신전범위에 의해 제한되게 된다. 이것이 최대골반후방회전이 일어난 후 척추골반 복합체가 다음 단계의 보상작용인 슬관절굴곡을 사용하게 되는 이유이다.⁶¹⁾ 또한 슬관절을 굴곡시킴으로써 고관절을 약간 굴곡시켜 고관절 전방의 긴장대를 완화시켜 줌으로써 고관절이 신전을 보다 용이하게 할 수 있게 한다(Fig. 4).⁸¹⁾

따라서 전체적인 보상기전(global compensatory mechanism)을 이해하기 위하여는 고관절뿐 아니라 슬관절의 보상작용에서의 역할을 이해하는 것이 중요하다. 척추의 시상정렬이 슬관절의 자세에 어떻게 작용하고 슬관절의 자세가 척추의 시상정렬에 어떻게 작용하는지를 알아야 한다. 저자들은 이를 위해 대퇴기울기각(femoral tilt angle, FTA)과 대퇴골반각(femoropelvic angle, FPA)이라는 두 가지의 새로운 지표를 사용하였다(Fig. 15).⁸⁴⁾

FTA는 대퇴골의 기울기를 나타내는 각도로서 대퇴골의 축과

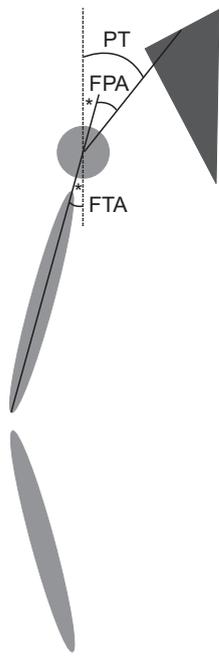


Figure 15. New pelvic parameters; femoropelvic angle (FPA) and femoral tilt angle (FTA) (asterisks). Note that pelvic tilt (PT) is equal to the sum of FPA and FTA. Cited from the article of Lee et al. (Eur Spine J. 2013;22:1059-65).⁸⁴⁾

수직선 사이의 각도로서 슬관절 굴곡을 간접적으로 나타내는 각도로 사용하였다. FPA는 고관절축과 제1천추 상연의 중심을 잇는 선과 대퇴골의 축이 이루는 각도이다. 같은 의미의 각도를 Mangione과 Sénégas⁵¹⁾는 골반대퇴각(pelvi-femoral angle, PFA)으로 표시하였다. FPA는 실질적인 고관절에서 일어나는 고관절신전과 같은 각도이다. 또한 $PT = FTA + FPA$ 라는 등식이 성립된다. 따라서 PT가 이제껏 언급하였듯이 단순하게 고관절 신전에 의해 고관절축을 중심으로 골반이 후방회전 하는 보상작용을 의미하는 것인지에 대하여는 다시 생각해 볼 필요가 있다. PT가 증가되는 경우는 보상성 슬관절굴곡이 있는 경우와 없는 경우의 두 가지 상황을 생각해볼 수 있다. 보상성 슬관절굴곡이 없는 경우에는 골반의 후방회전인 PT는 단순히 고관절의 신전에 의해 일어난다. 이 경우 $FTA = 0$ 도이므로 $PT = \text{hip extension} = FPA$ 의 식이 성립된다. 그러나 보상성 슬관절 굴곡이 있는 경우는 PT는 단순한 고관절 신전이나 FPA와는 다르다. 이 경우 $PT = FPA + FTA$ 의 식에서 FTA가 0도가 아니므로 PT와 FPA는 일치하지 않으며 또한 고관절 신전과도 일치하지 않는다. 따라서 PT는 고관절에서 일어나는 골반의 후방회전과 슬관절 굴곡으로 발생하는 골관절후방회전을 합한 전체 골반후방회전각을 나타낸다. 따라서 FPA가 고관절에서 일어나는 진정한 진성 골반보상이며 PT는 보상성 슬관절굴곡까지를 합한 현성 골반보상을 나타낸다고 볼 수 있다(Fig. 16).⁸⁴⁾ Le Huec 등⁷²⁾도 수술적 치료를 위한 척추시상불균형의 분석에 있어서 대퇴골축과 수직선이 이루는 각도의 중요성에 대하여 언급을 하였다. 이와 같이 심한 척추후만곡에서는 고관절의 최대신전과 슬관절의 굴곡에 의해 보상되며 이러한 자세는 매우 불편하고 비경제적인 자세이다.

보상작용의 가장 기본적인 원칙은 한 지역에서의 이상은 그 주변 지역에 변화를 일으키고 다시 그 주변에 영향을 미치는 상호 의존적인 양상을 보임으로써 여러 지역에서의 보상작용 중 병변과 가장 가까운 지역에서의 보상작용이 가장 중요한 역할을 한다는 것이다. 따라서 척추의 시상균형을 분석하기 위하여는 다음과 같은 보상기전을 파악해야 한다.

1) 인접분절의 과신전

매우 흔하고 가장 먼저 일어나는 보상기전이다. 과신전은 여러 분절에 걸쳐서 일어나는 global 과신전과 1-2분절에서 일어나는 국소과신전이 있다. 국소과신전은 상부척추를 후방으로 이동시키는 데 효과적이거나 그 분절의 후방구조에 과부하를 주게 되어 척추 후방 전위증(retrolisthesis)이나 후관절의 퇴행성관절염, 극돌기 간의 과잉압박(Baastrup씨 병), 때로는 척추분리증의 위험성을 증가시키게 된다.

2) 흉추후만의 감소

인접구역에서의 보상작용으로 유연성이 있는 척추를 가진 젊은

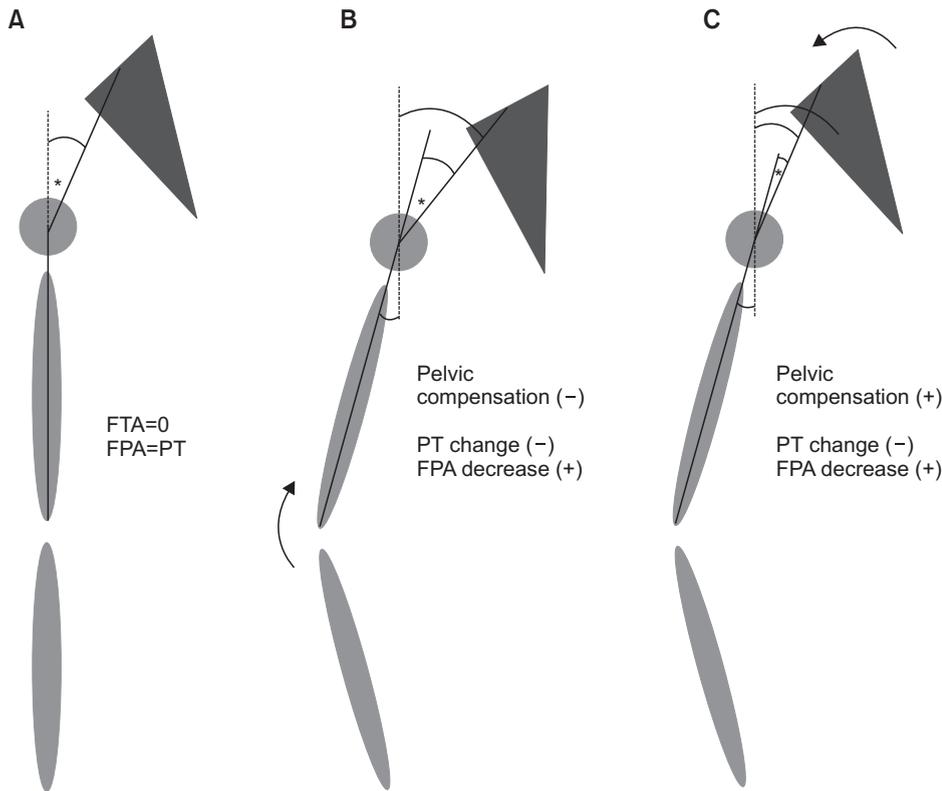


Figure 16. Two different responses according to the knee flexion. (A) Standing without knee and hip flexion. The angle of femoropelvic angle (FPA) (asterisks) is equal to pelvic tilt (PT). (B) No pelvic compensation. Note that FPA does not change and PT increases with knee flexion. (C) Pelvic compensation. Note that PT does not change and FPA decreases with knee flexion. Cited from the article of Lee et al. (Eur Spine J. 2013;22:1059-65).⁸⁴ FTA, femoral tilt angle.

환자에서 보인다. 척추가 유연성이 없는 강직성척추염환자나 노인성후만증 같은 경우에는 흉추후만을 감소시키기가 매우 어렵다.

3) 골반후방회전(pelvic retroversion)

고관절축에 대한 천추상연을 후방으로 전위시킴으로써 sacro-femoral distance를 늘리게 된다. PI가 골반후방회전능력을 결정하게 되며 PI가 큰 경우에 골반후방회전능력이 커지게 된다. 만성요통이 있고 요추퇴행성질환이 있는 환자에서 특징적으로 SS가 감소하고 PT가 증가하게 된다.

4) 슬관절굴곡

Mangione과 Sénégas⁵¹⁾가 기술한 TFA로 측정한다. 골반후방회전에 의한 보상기전으로 완전한 보상이 이루어지기 어려운 경우에는 슬관절굴곡에 의해 PT를 증가시키는 효과를 보게 된다.

5) 족관절신전

최근 Lafage 등¹⁰⁾은 골반전위(pelvic translation)가 골반회전에 못지 않게 중요한 지표라고 하였으며 이는 족관절의 신전에 의해 촉발된다고 하였다. 따라서 환자의 분석에서는 머리부터 발까지의 분석이 필요하다고 하였다.

요약하면, 보상작용의 시작은 척추 신전근의 힘이 충분하고 LL을 더 증가시킬 수 있으면 LL을 더 증가시키는 방향으로 일어나

게 된다.⁸⁵⁾ 특히 인접분절에서 과신전이 일어나 LL을 증가시키게 된다. 이것으로 충분치 못할 경우 다음에는 골반의 후방회전과 흉추후만을 감소시킴으로써 보상을 도와주게 되고 고관절신전이 한계에 다다르게 되면 슬관절굴곡에 의해 PT를 증가시키게 된다.⁷²⁾

6. 척추골반지표와 임상적 증상과의 관계

ASD는 여러 가지 원인에 의해 척추정렬의 구조적인 변화가 선행되고 이에 따라 가장 경제적인 자세로 기립자세를 취하기 위한 균형기전의 변화가 따라오게 된다. 척추정렬의 불균형이 심해질수록 기립자세를 유지하기 위한 보상노력으로 근육의 활동이 더 필요해지고 더 많은 에너지를 소모하게 되어 피로와 통증, 장애를 유발하게 된다. 이로 인한 장애와 삶의 질에 막대한 손실이 오게 되면 수술적인 치료가 필요하게 된다. 시상척추골반정렬이 ASD 환자의 통증과 장애와 밀접한 관계가 있음이 밝혀지면서 ASD에서 시상척추골반정렬의 가장 중요한 개념으로 떠오르게 되었다. 따라서 최근 ASD의 수술적 치료는 관상면 및 측상면에서의 균형회복은 물론 시상면상의 정상각 회복을 강조하고 있다. 그러나 수술 후 의도하였던 시상면상의 회복이 불충분하면 수술 후 소위 요추부의 편평배부증후군으로 지속적인 요통을 호소하는 경우가 많다. 이에 따라 퇴행성 척추측만증과 같은 관상면상의 변형에서 조차도 최근의 연구결과들은 시상면상의 균형과 시상지표가 HRQoL에 더 중요한 요소라고 강조하고 있다.²⁻⁵⁾

ASD의 방사선적 판정은 결국은 HRQoL로 표시할 수 있는 장애와 통증의 관점에서 판단하기 위함이다. ASD 환자에서 어떠한 기저병변이 있는 방사선적 지표와 HRQoL tools로 측정된 통증 및 장애와 관련이 있다는 것은 이제는 잘 확립된 사실이다.¹⁻⁵⁾

Schwab 등⁶⁾은 그들의 첫 방사선분석에서 L3/L4종판 경사(obliquity), 전위증(olisthesis), LL, 흉요추후만 등이 통증시각척도와 밀접한 관계가 있다고 하였으며, 947명의 ASD 환자에게 ODI와 SRS 설문지를 포함한 HRQoL 기구를 사용한 후속연구에서 이를 다시 한 번 확인하였다.⁷⁾ 이 연구에서는 증가하는 아탈구, 진행성 요추전만 감소는 불량한 결과를 보였으며 통증과 장애가 더 심하였다고 하였다.⁷⁾

Glassman 등,²⁾ Djurasovic과 Glassman⁸⁷⁾은 SVA의 전방이동으로 인한 (+) 시상불균형은 임상적 건강상태(clinical health status)의 가장 신뢰성 있는 방사선적인 예측인자라고 하였다. 352명의 환자에서 시상불균형이 증가함에 따라 증상도 선형증가의 양상을 보인다고 하였다. 장애의 정도는 시상변형이 척추의 원위부로 갈수록 심하여 척추의 다른 부위에 비해 특히 요추부의 후만곡의 정도와 매우 밀접하다고 하였다. 퇴행성 측만증과 같은 관상변형에서도 시상불균형이 임상결과의 성공에 가장 중요한 요소로 간주되고 있다. (+) 시상불균형에서는 관상불균형에서보다 통증과 장애와 훨씬 큰 상관관계가 있으며 이상건강(adverse health outcome)이나 삶의 질과도 더 높은 상관관계를 보이고 있다.^{1,2,5)} 따라서 ASD의 수술적 치료에서도 수술 후 SVA < 50 mm를 얻도록 노력하고 있으며 그레야만 생리적 기립자세를 취할 수 있고 수평시야(level gaze)를 얻을 수 있기 때문이다. SVA < 50 mm란 결국 C7 PL이 고관절축의 후방에 위치하도록 하는 것이며 이 한계치가 양호한 HRQoL 점수와 부합된다.⁵⁾

PT의 범위는 -5도-30도로 평균 11-15도이며 PI와는 달리 나이가 들수록 요추전만의 감소, 흉추후만의 증가에 따라 보상작용으로 PT는 증가된다고 보고되고 있다.⁴³⁾ PT를 증가시키는 것은 많은 에너지가 소모되는 보상작용으로서 Schwab 등¹⁵⁾은 이러한 PT의 증가와 HRQoL가 밀접한 상관관계가 있다고 하였다. PT가 증가할수록, 즉 골반보상이 증가할수록 HRQoL이 나빠지게 되며 따라서 수술시 이상적인 PT의 목표는 20도 이하를 얻을 수 있도록 하여야 한다고 하였다.⁵⁾ ASD에서 변형의 교정 시 PT가 증가된

것을 인식하지 못할 경우에는 불충분한 교정으로 인한 시상불균형이 남아 지속적인 증상을 가진 고정된 변형으로 이어질 가능성이 높다.⁸⁸⁾ 이런 경우 walking tolerance가 떨어지게 된다. 따라서 적절한 수술목표는 PT를 정상범위인 20도 이하로 되돌리는 것이고, 골반위가 정상이어야 보다 효과적인 기립자세와 보행이 가능하다. 따라서 PT의 회복은 walking tolerance와도 밀접한 관계가 있다.^{3,15,89)}

그러나 Lafage 등³⁾은 125명의 ASD 환자에서 100개 이상의 척추지표와 골반지표를 분석하여 어느 지표가 ODI, SRS 설문지, SF-12 등을 이용한 HRQoL과 가장 상관관계가 깊은지를 조사하였다. 그동안 잘 이용되지 않았던 T1기울기가 가장 높은 상관관계를 보였고, 더 널리 인정된 SVA가 다음으로 높았으며 PT가 세 번째로 상관관계가 있었다. T1기울기는 ODI와 강한 상관관계($r=0.52$, $p<0.001$)가 있었으며 이는 SVA가 보정이 필요한 거리 지표이기 때문일 것이라고 하였다. 또한 PT가 증가하면 HRQoL이 나빠지게 되나 ODI가 가장 안 좋은 경우는 SVA가 크고 PT가 작은 경우라고 하였다. SVA가 크면서도 PT가 작은 것은 대상실조를 의미할 수 있으며 따라서 PT는 SVA나 T1기울기에 비해 HRQoL의 모든 지표와 가장 상관관계가 떨어진다고 하였다(Table 2).

이러한 여러 연구를 통하여 통증과 심한 장애를 유발할 수 있는 척추골반지표의 한계치(threshold)가 제시되고 있으며 ASD 환자에서 PT > 22도, PI-LL > 11도, SVA > 46 mm는 심한 장애의 기준인 ODI 40점과 연관이 있다고 보고되고 있다(Table 3).^{14,16)}

이상과 같이 ASD 환자에서 통증과 장애와 관련된 지표 중 관상면상의 변형과 관련된 지표는 거의 언급되고 있지 않으며 시상면상의 변형과 관련된 지표들이 장애를 일으킨다고 보고되고, PT

Table 3. The Radiological Threshold for 3 Key Parameters

Radiographical parameter	Radiographical threshold	r
PI-LL (°)	11	0.45
PT (°)	22	0.38
SVA (mm)	46	0.47

PI, pelvic incidence; LL, lumbar lordosis; PT, pelvic tilt; SVA, sagittal vertical axis.

Table 2. Data from a 125 Patient Retrospective Review of Clinical Outcomes Correlated with Clinically Relevant Radiographic Values for 3 Key Parameters

Variable	SVA (mm)		PT >20 (°)		PI-LL (°)	
	≥50	<50	≥20	<20	≥9	Greater LL or <9
Mean radiographic parameter value	134.9	1.7	31.8	10.0	-28.9	17.3
Mean ODI scores	42.5	28.4	38.7	29.1	41.8	26.4
Unpaired t-tests on ODI scores	<0.001		0.012		<0.001	

SVA, sagittal vertical axis; PT, pelvic tilt; PI, pelvic incidence; LL, lumbar lordosis; ODI, Oswestry disability index.

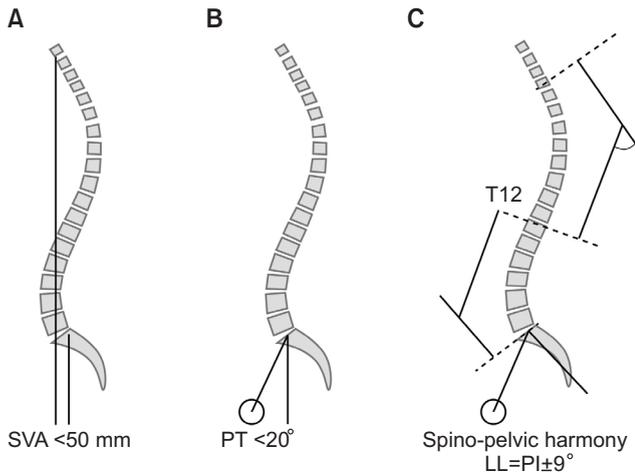


Figure 17. Realignment objectives in the sagittal plane. Sagittal vertical axis (SVA) < 50 mm, pelvic tilt (PT) < 20°, and lumbar lordosis (LL) = pelvic incidence (PI) ± 9° sets the stage for achievement of a successful harmonious spinopelvic realignment.

와 HRQoL과의 상관관계는 수술적 치료 시 이와 같은 골반지표 측정의 중요성을 말해 준다고 할 수 있다.

7. 수술적 치료의 목표치

Schwab 등⁵⁾은 성공적인 조화로운 척추골반정렬을 회복하기 위하여는 3 key parameter인 SVA < 50 mm, PT < 20도, PI-LL < ± 9도의 목표를 달성하여야 한다. 또한 SVA 대신에 T1-SPI < 0도를 기준으로 사용할 수 있으며, SVA나 T1-SPI는 모두 골반에 대한 몸통이 기울어진 정도(truncal inclination)를 나타낸다고 하였다(Fig. 17).

SSA를 기준으로 할 경우에는 SSA = 약 135도, PT = 약 20도를 넘지 않도록 하여야 한다.

Ryan 등⁷⁾은 TPA의 수술적 목표를 수술 후 교정소실을 고려하여 10도로 잡을 것을 권유하였다. 그래야만 최종 TPA가 15도 이내로 유지되고 한계치인 20도는 넘지 않을 것이라고 하였다.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors have nothing to disclose.

REFERENCES

- Schwab F, Dubey A, Gamez L, et al. Adult scoliosis: prevalence, SF-36, and nutritional parameters in an elderly volunteer population. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2005;30:1082-5.
- Glassman SD, Bridwell K, Dimar JR, Horton W, Berven S, Schwab F. The impact of positive sagittal balance in adult spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2005;30:2024-9.
- Lafage V, Schwab F, Patel A, Hawkinson N, Farcy JP. Pelvic tilt and truncal inclination: two key radiographic parameters in the setting of adults with spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009;34:E599-606.
- Schwab FJ, Patel A, Shaffrey CI, et al. Sagittal realignment failures following pedicle subtraction osteotomy surgery: are we doing enough?: Clinical article. *J Neurosurg Spine*. 2012;16:539-46.
- Schwab F, Patel A, Ungar B, Farcy JP, Lafage V. Adult spinal deformity-postoperative standing imbalance: how much can you tolerate? An overview of key parameters in assessing alignment and planning corrective surgery. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010;35:2224-31.
- Schwab F, el-Fegoun AB, Gamez L, Goodman H, Farcy JP. A lumbar classification of scoliosis in the adult patient: preliminary approach. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2005;30:1670-3.
- Schwab F, Farcy JP, Bridwell K, et al. A clinical impact classification of scoliosis in the adult. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31:2109-14.
- Schwab F, Lafage V, Farcy JP, et al. Surgical rates and operative outcome analysis in thoracolumbar and lumbar major adult scoliosis: application of the new adult deformity classification. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007;32:2723-30.
- Duval-Beaupère G, Robain G. Visualization on full spine radiographs of the anatomical connections of the centres of the segmental body mass supported by each vertebra and measured in vivo. *Int Orthop*. 1987;11:261-9.
- Lafage V, Schwab F, Skalli W, et al. Standing balance and sagittal plane spinal deformity: analysis of spinopelvic and gravity line parameters. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2008;33:1572-8.
- Legaye J, Duval-Beaupère G. Sagittal plane alignment of the spine and gravity: a radiological and clinical evaluation. *Acta Orthop Belg*. 2005;71:213-20.
- Legaye J, Duval-Beaupère G, Hecquet J, Marty C. Pelvic incidence: a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves. *Eur Spine J*. 1998;7:99-103.
- Schwab FJ, Blondel B, Bess S, et al; International Spine Study Group (ISSG). Radiographical spinopelvic parameters and disability in the setting of adult spinal deformity: a prospective multicenter analysis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2013;38:E803-12.
- Schwab F, Ungar B, Blondel B, et al. Scoliosis Research Soci-

- ety-Schwab adult spinal deformity classification: a validation study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012;37:1077-82.
15. Schwab F, Lafage V, Patel A, Farcy JP. Sagittal plane considerations and the pelvis in the adult patient. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009;34:1828-33.
 16. Schwab F, Bess S, Blondel B, et al. Combined assessment of pelvic tilt, pelvic incidence/lumbar lordosis mismatch and sagittal vertical axis predicts disability in adult spinal deformity: a prospective analysis. In: *Spine*, ed. Supplement 2011 SRS Society Meeting Abstract. Louisville (KY): Spine; 2011.
 17. Schwab F, Lafage V, Shaffrey C, et al. Pre-operative pelvic parameters must be considered to achieve adequate sagittal balance after lumbar osteotomy. Paper presented at: International Meeting for Advanced Spinal Techniques; 2009 Jul 15-18; Vienna, Austria.
 18. Jackson RP. The sagittal plane-from birth to the grave: spinopelvic alignment and balance. CME course, SRS meeting; 1997.
 19. Peterson MD, Nelson LM, McManus AC, Jackson RP. The effect of operative position on lumbar lordosis. A radiographic study of patients under anesthesia in the prone and 90-90 positions. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1995;20:1419-24.
 20. Stagnara P, De Mauroy JC, Dran G, et al. Reciprocal angulation of vertebral bodies in a sagittal plane: approach to references for the evaluation of kyphosis and lordosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1982;7:335-42.
 21. Roussouly P, Pinheiro-Franco JL. Sagittal parameters of the spine: biomechanical approach. *Eur Spine J*. 2011;20 Suppl 5: 578-85.
 22. Bernhardt M, Bridwell KH. Segmental analysis of the sagittal plane alignment of the normal thoracic and lumbar spines and thoracolumbar junction. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1989;14: 717-21.
 23. Gelb DE, Lenke LG, Bridwell KH, Blanke K, McEneaney KW. An analysis of sagittal spinal alignment in 100 asymptomatic middle and older aged volunteers. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1995;20:1351-8.
 24. Jackson RP, McManus AC. Radiographic analysis of sagittal plane alignment and balance in standing volunteers and patients with low back pain matched for age, sex, and size. A prospective controlled clinical study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1994;19:1611-8.
 25. Bradford DS. Juvenile kyphosis. In: Lonstein JE, Winter RB, Bradford DS, Ogilvie JW, ed. *Moe's textbook of scoliosis and other spinal deformities*. 3rd ed. Philadelphia: Saunders; 1994. 349-67.
 26. Lee CS, Oh WH, Chung SS, Lee SG, Lee JY. Analysis of the sagittal alignment of normal spines. *J Korean Orthop Assoc*. 1999;34:949-54.
 27. Voutsinas SA, MacEwen GD. Sagittal profiles of the spine. *Clin Orthop Relat Res*. 1986;210:235-42.
 28. Hardacker JW, Shuford RF, Capicotto PN, Pryor PW. Radiographic standing cervical segmental alignment in adult volunteers without neck symptoms. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1997;22:1472-80.
 29. Boulay C, Tardieu C, Hecquet J, et al. Sagittal alignment of spine and pelvis regulated by pelvic incidence: standard values and prediction of lordosis. *Eur Spine J*. 2006;15:415-22.
 30. Debarge R, Demey G, Roussouly P. Sagittal balance analysis after pedicle subtraction osteotomy in ankylosing spondylitis. *Eur Spine J*. 2011;20 Suppl 5:619-25.
 31. Kim YJ, Bridwell KH, Lenke LG, Rhim S, Cheh G. An analysis of sagittal spinal alignment following long adult lumbar instrumentation and fusion to L5 or S1: can we predict ideal lumbar lordosis? *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31:2343-52.
 32. Blondel B, Schwab F, Bess S, et al. Posterior global malalignment after osteotomy for sagittal plane deformity: it happens and here is why. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2013;38:E394-401.
 33. Marnay T. Equilibre du rachis et du bassin. *Cahiers d'enseignement de la SOFCOT*. 1988;281-331.
 34. During J, Goudfroy H, Keessen W, Beeker TW, Crowe A. Toward standards for posture. Postural characteristics of the lower back system in normal and pathologic conditions. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1985;10:83-7.
 35. Duval-Beaupère G, Schmidt C, Cosson P. A barycentremetric study of the sagittal shape of spine and pelvis: the conditions required for an economic standing position. *Ann Biomed Eng*. 1992;20:451-62.
 36. Jackson RP, Kanemura T, Kawakami N, Hales C. Lumbopelvic lordosis and pelvic balance on repeated standing lateral radiographs of adult volunteers and untreated patients with constant low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2000;25:575-86.
 37. Jackson RP, Peterson MD, McManus AC, Hales C. Compensatory spinopelvic balance over the hip axis and better reliability in measuring lordosis to the pelvic radius on standing lateral radiographs of adult volunteers and patients. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1998;23:1750-67.
 38. Vialle R, Levassor N, Rillardon L, Templier A, Skalli W,

- Guigui P. Radiographic analysis of the sagittal alignment and balance of the spine in asymptomatic subjects. *J Bone Joint Surg Am.* 2005;87:260-7.
39. Lazennec JY, Riwan A, Gravez F, et al. Hip spine relationships: application to total hip arthroplasty. *Hip Int.* 2007;17 Suppl 5:S91-104.
 40. Vaz G, Roussouly P, Berthonnaud E, Dimnet J. Sagittal morphology and equilibrium of pelvis and spine. *Eur Spine J.* 2002;11:80-7.
 41. Mac-Thiong JM, Roussouly P, Berthonnaud E, Guigui P. Sagittal parameters of global spinal balance: normative values from a prospective cohort of seven hundred nine Caucasian asymptomatic adults. *Spine (Phila Pa 1976).* 2010;35:E1193-8.
 42. Le Huec JC, Aunoble S, Philippe L, Nicolas P. Pelvic parameters: origin and significance. *Eur Spine J.* 2011;20 Suppl 5:564-71.
 43. Mac-Thiong JM, Berthonnaud E, Dimar JR 2nd, Betz RR, Labelle H. Sagittal alignment of the spine and pelvis during growth. *Spine (Phila Pa 1976).* 2004;29:1642-7.
 44. Berthonnaud E, Dimnet J, Roussouly P, Labelle H. Analysis of the sagittal balance of the spine and pelvis using shape and orientation parameters. *J Spinal Disord Tech.* 2005;18:40-7.
 45. Boulay C, Tardieu C, Hecquet J, et al. Anatomical reliability of two fundamental radiological and clinical pelvic parameters: incidence and thickness. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2005;15:197-204.
 46. Barrey C. Equilibre sagittal pelvi-rachidien et pathologies lombaires dégénératives. Etude comparative à propos de 100 cas [in French] [thesis]. Lyon: Claude Bernard University Lyon 1; 2004.
 47. Barrey C, Jund J, Nosedo O, Roussouly P. Sagittal balance of the pelvis-spine complex and lumbar degenerative diseases. A comparative study about 85 cases. *Eur Spine J.* 2007;16:1459-67.
 48. Jang JS, Lee SH, Min JH, Maeng DH. Changes in sagittal alignment after restoration of lower lumbar lordosis in patients with degenerative flat back syndrome. *J Neurosurg Spine.* 2007;7:387-92.
 49. Roussouly P, Berthonnaud E, Dimnet J. Geometrical and mechanical analysis of lumbar lordosis in an asymptomatic population: proposed classification. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 2003;89:632-9.
 50. Roussouly P, Nnadi C. Sagittal plane deformity: an overview of interpretation and management. *Eur Spine J.* 2010;19:1824-36.
 51. Mangione P, Sénégas J. Sagittal balance of the spine. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1997;83:22-32.
 52. Descamps H, Commare-Nordamn MC, Marty C, et al. Modification of pelvic angle during the human growth. *Biom Hum Anthropol.* 1999;17:59-63.
 53. Labelle H, Roussouly P, Berthonnaud E, et al. Spondylolisthesis, pelvic incidence, and spinopelvic balance: a correlation study. *Spine (Phila Pa 1976).* 2004;29:2049-54.
 54. Mangione P, Gomez D, Senegas J. Study of the course of the incidence angle during growth. *Eur Spine J.* 1997;6:163-7.
 55. Mac-Thiong JM, Roussouly P, Berthonnaud E, Guigui P. Age- and sex-related variations in sagittal sacropelvic morphology and balance in asymptomatic adults. *Eur Spine J.* 2011;20 Suppl 5:572-7.
 56. Lazennec JY, Ramaré S, Arafati N, et al. Sagittal alignment in lumbosacral fusion: relations between radiological parameters and pain. *Eur Spine J.* 2000;9:47-55.
 57. Mendoza-Lattes S, Ries Z, Gao Y, Weinstein SL. Natural history of spinopelvic alignment differs from symptomatic deformity of the spine. *Spine (Phila Pa 1976).* 2010;35:E792-8.
 58. Vrtovec T, Janssen MM, Likar B, Castelein RM, Viergever MA, Pernuš F. Evaluation of pelvic morphology in the sagittal plane. *Spine J.* 2013;13:1500-9.
 59. Vrtovec T, Janssen MM, Likar B, Castelein RM, Viergever MA, Pernuš F. A review of methods for evaluating the quantitative parameters of sagittal pelvic alignment. *Spine J.* 2012;12:433-46.
 60. Lee CS, Chung SS, Kang KC, Park SJ, Shin SK. Normal patterns of sagittal alignment of the spine in young adults radiological analysis in a Korean population. *Spine (Phila Pa 1976).* 2011;36:E1648-54.
 61. Roussouly P, Pinheiro-Franco JL. Biomechanical analysis of the spino-pelvic organization and adaptation in pathology. *Eur Spine J.* 2011;20 Suppl 5:609-18.
 62. Lee CS, Chung SS, Chung KH, Kim SR. Significance of pelvic incidence in the development of abnormal sagittal alignment. *J Korean Orthop Assoc.* 2006;41:274-80.
 63. Vidal J, Marnay T. Morphology and anteroposterior body equilibrium in spondylolisthesis L5-S1. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1983;69:17-28.
 64. Vidal J, Marnay T. Sagittal deviations of the spine, and trial of classification as a function of the pelvic balance. *Rev Chir*

- Orthop Reparatrice Appar Mot. 1984;70 Suppl 2:124-6.
65. Dubousset J. Three-dimensional analysis of the scoliotic deformity. In: Weinstein SL, ed. *The pediatric spine: principles and practice*. New York: Raven Press; 1994.
 66. Mac-Thiong JM, Transfeldt EE, Mehdod AA, et al. Can c7 plumbline and gravity line predict health related quality of life in adult scoliosis? *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009;34:E519-27.
 67. Glassman SD, Berven S, Bridwell K, Horton W, Dimar JR. Correlation of radiographic parameters and clinical symptoms in adult scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2005;30:682-8.
 68. Booth KC, Bridwell KH, Lenke LG, Baldus CR, Blanke KM. Complications and predictive factors for the successful treatment of flatback deformity (fixed sagittal imbalance). *Spine (Phila Pa 1976)*. 1999;24:1712-20.
 69. Lafage V, Bharucha NJ, Schwab F, et al. Multicenter validation of a formula predicting postoperative spinopelvic alignment. *J Neurosurg Spine*. 2012;16:15-21.
 70. Rose PS, Bridwell KH, Lenke LG, et al. Role of pelvic incidence, thoracic kyphosis, and patient factors on sagittal plane correction following pedicle subtraction osteotomy. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009;34:785-91.
 71. Klineberg E, Schwab F, Smith JS, Gupta MC, Lafage V, Bess S. Sagittal spinal pelvic alignment. *Neurosurg Clin N Am*. 2013;24:157-62.
 72. Le Huec JC, Leijssen P, Duarte M, Aunoble S. Thoracolumbar imbalance analysis for osteotomy planification using a new method: FBI technique. *Eur Spine J*. 2011;20 Suppl 5:669-80.
 73. Roussouly P, Gollogly S, Nosedá O, Berthonnaud E, Dimnet J. The vertical projection of the sum of the ground reactive forces of a standing patient is not the same as the C7 plumb line: a radiographic study of the sagittal alignment of 153 asymptomatic volunteers. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31:E320-5.
 74. Protopsaltis T, Schwab F, Bronsard N, et al. The T1 pelvic angle, a novel radiographic measure of global sagittal deformity, accounts for both spinal inclination and pelvic tilt and correlates with health-related quality of life. *J Bone Joint Surg Am*. 2014;96:1631-40.
 75. Ryan DJ, Protopsaltis TS, Ames CP, et al. T1 pelvic angle (TPA) effectively evaluates sagittal deformity and assesses radiographical surgical outcomes longitudinally. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2014;39:1203-10.
 76. Legaye J, Hecquet J, Marty C, Duval-Beaupère G. Equilibre sagittal du rachis. Relations entre bassin et courbures rachidiennes sagittales en position debout. *Rachis*. 1993;5:215-26.
 77. Duval-Beaupère G, Legaye J. Composante sagittale de la statique rachidienne. *Rev Rhum*. 2004;71:105-19.
 78. Barrey C, Roussouly P, Perrin G, Le Huec JC. Sagittal balance disorders in severe degenerative spine. Can we identify the compensatory mechanisms? *Eur Spine J*. 2011;20 Suppl 5:626-33.
 79. Abitbol MM. Evolution of the lumbosacral angle. *Am J Phys Anthropol*. 1987;72:361-72.
 80. Paquet N, Malouin F, Richards CL. Hip-spine movement interaction and muscle activation patterns during sagittal trunk movements in low back pain patients. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1994;19:596-603.
 81. Nakada K. A study on senile postural deformity. *Nihon Seikeigeka Gakkai Zasshi*. 1988;62:1149-61.
 82. Lee CS, Lee CK, Kim YT, Hong YM, Yoo JH. Dynamic sagittal imbalance of the spine in degenerative flat back: significance of pelvic tilt in surgical treatment. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001;26:2029-35.
 83. Westhuizen JVD. *Spinal balance in scoliosis*. Geneva: Big Time Spine; 2000.
 84. Lee CS, Park SJ, Chung SS, Lee KH. The effect of simulated knee flexion on sagittal spinal alignment: novel interpretation of spinopelvic alignment. *Eur Spine J*. 2013;22:1059-65.
 85. Vosse D, van der Heijde D, Landewé R, et al. Determinants of hyperkyphosis in patients with ankylosing spondylitis. *Ann Rheum Dis*. 2006;65:770-4.
 86. Schwab FJ, Smith VA, Biserni M, Gamez L, Farcy JP, Pagala M. Adult scoliosis: a quantitative radiographic and clinical analysis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2002;27:387-92.
 87. Djurasovic M, Glassman SD. Correlation of radiographic and clinical findings in spinal deformities. *Neurosurg Clin N Am*. 2007;18:223-7.
 88. Ames CP, Smith JS, Scheer JK, et al. Impact of spinopelvic alignment on decision making in deformity surgery in adults: A review. *J Neurosurg Spine*. 2012;16:547-64.
 89. Skalli W, Zeller RD, Miladi L, et al. Importance of pelvic compensation in posture and motion after posterior spinal fusion using CD instrumentation for idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31:E359-66.

성인 척추 변형

성인 척추 변형에서의 척추골반지표

이종서·강상수[✉]

성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 척추센터, 정형외과학교실

최근 척추의 시상정렬과 시상균형에 대한 관심이 증가되면서 성인 척추 변형에서 척추 변형에 대한 분석과 이에 따른 치료방침의 결정이 매우 중요한 과제로 대두되었다. 성인 척추 변형은 관상면에서의 변형뿐 아니라 시상면상의 변형을 동반하고 있는 경우가 많다. 또한 관상면상의 변형보다는 시상면상의 변형이 환자의 통증과 장애 등 건강관련 삶의 질(health-related quality of life)과 더 밀접한 관계가 있다는 것은 거의 확립된 사실로 인정되고 있다. 성인 척추 변형에 대한 판정과 적합한 치료를 위하여는 척추의 정상 및 비정상 시상만곡과 시상균형에 대한 이해가 필요하며 최근 사용되고 있는 성인 척추 변형의 분류와 척추 변형을 판정하기 위하여 꼭 필요한 척추골반지표와 시상균형의 지표에 대한 기본적인 이해가 필요하다. 또한 시상균형을 유지하기 위한 다양한 보상작용이 일어나므로 이에 대한 평가가 함께 이루어져야 올바른 시상정렬과 시상균형을 판단할 수 있다. 시상면상 불균형은 많은 장애를 초래하므로 이러한 임상적 증상과 관련이 있는 척추골반지표에 대하여 논의하고자 한다.

색인단어: 성인 척추 변형, 척추의 시상균형, 척추골반지표

접수일 2015년 8월 3일 수정일 2015년 11월 4일 게재확정일 2015년 11월 5일

[✉]책임저자 강상수

06351, 서울시 강남구 일원로 81, 성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 정형외과학교실

TEL 02-3410-2179, FAX 02-3410-0061, E-mail ellinore@hanmail.net