

## Adult Spinal Deformity

## 성인 척추 변형의 수술적 교정

김기택·강경중<sup>✉</sup>

경희대학교 의과대학 정형외과학교실

## Surgical Correction of Adult Spinal Deformity

Ki-Tack Kim, M.D. and Kyung-Chung Kang, M.D.<sup>✉</sup>

Department of Orthopaedic Surgery, Kyung Hee University School of Medicine, Seoul, Korea

Surgical correction of adult spinal deformity is a challenge, and is physically and mentally demanding for spinal surgeons. For satisfactory surgical outcomes, proper patient selection is fundamental and preoperative detailed physical examination, intra-operative neuromonitoring, and collaboration with anesthesiology or internal medicine department are critical for prevention of peri-operative complications associated with surgical treatments. A posterior-only or anterior-posterior combined approach can be used. Considering the patients' hemodynamic status or long-time anesthesia, surgeons can decide whether to operate by stage or one stage. Deformity correction can be performed using spinal osteotomy or anterior interbody fusion. Decision regarding correction method depends on the patient's condition and correction degree or level. In this review, the authors try to help in decision making with regard to deformity correction methods for ideal surgical technique, correction angle, fusion length etc. in reference to previous literature.

**Key words:** adult spinal deformity, surgical correction, approach, osteotomy, complications

## 서 론

척추의 변형이 있는 환자들에서 전체적인 외모적인 면뿐만이 아니라 심각한 요통이나 하지 방사통, 파행 등의 기능적 이상도 흔하게 호소하게 되며, 많은 수의 환자에서 정상적인 보행이 어려워 일상 생활에 심각한 장애를 초래하기도 한다. 척추의 변형은 주로 관상면의 변형과 시상면의 변형으로 나눌 수가 있는데, 이중 관상면의 변형보다는 시상면의 변형이 있는 경우에 미용적인 부분이나 일상생활의 기능적인 측면에서 제한이 심하게 나타난다. 시상면의 불균형이 악화될수록 인체의 기능장해가 더욱 심해지는 것은 문헌상으로도 잘 알려져 있는데, Glassman 등<sup>1)</sup>은 비교적 많은 수의 성인 척추 변형 환자를 대상으로 시상면의 불균형이 실제로 신체의 기능을 심각하게 저하시킴을 보고하였다.

관상면의 변형은 청소년기 측만증이 방치된 상태에서 성인이 된 후에 악화 혹은 발견된 경우나 퇴행성 변화가 진행이 되면서 새로 발생한 퇴행성 측만증이 대부분이다. 이러한 측만증은 인대와 관절의 심한 비후(hypertrophy of ligament and facet joint), 골극 형성(formation of bony spur) 및 추체의 비대칭(asymmetry of body)으로 인하여 대부분 만곡이 심하게 강직되어 있는 경우가 많다. 대부분의 관상면 변형은 측만증이 있는 것이 특징적이며, 위쪽이나 아래쪽 척추에서 보상을 이루는 경우가 많으나 심한 경우엔 보상 실조(decompensation)가 발생되어 체간이 좌우로 쏠림 현상이 일어나게 된다. 또한 시상면 변형까지 동반하는 경우가 종종 있어 수술적 치료 시에는 이러한 요인까지 함께 고려해야 한다.

반면, 시상면 변형은 여러 원인에 의해서 나타날 수 있다. 대표적인 원인은 퇴행성 질환의 일종인 요부 변성 후만증(lumbar degenerative kyphosis)이고, 그 외에 외상 후 변형, 수술 후 의인성 변형, 신경 근육성 원인이거나 선천성에 의해서 발생할 수 있으며, 강직성 척추염이나 Scheuermann씨 병과 같은 질환으로 시상면의

Received August 17, 2015 Revised November 6, 2015 Accepted November 10, 2015

<sup>✉</sup>Correspondence to: Kyung-Chung Kang, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Kyung Hee University Medical Center, 23

Kyungheedaero, Dongdaemun-gu, Seoul 02447, Korea

TEL: +82-2-958-8346 FAX: +82-2-964-3865 E-mail: [futurespine@gmail.com](mailto:futurespine@gmail.com)

변형이 생길 수 있다. 이러한 변형으로 인해 환자는 불균형을 느끼거나 앞으로 허리가 구부러지거나 피로감을 빨리 느끼는 경우가 많으며, 심각한 경우에는 일상생활이 어려운 정도의 통증을 호소하거나 정면을 주시하기가 어려워지는 증상까지도 호소하게 된다. 이때 변형의 정도가 중증이 아니거나 유연성이 남아 있는 경우에는 자세나 단순 고정 수술만으로도 교정이 가능하지만 중증의 변형을 보이거나 변형 부위가 단단해서 변형이 전혀 교정되지 않는 고정된 변형의 경우에는 척추의 전후방 재건술이나 척추 절골술이 필요하게 된다. 하지만 척추 변형의 교정술은 장분절의 수술에 따른 심각한 합병증의 발생 가능성이 크고(Fig. 1)<sup>2)</sup> 장분절의 유합술에 따른 환자들의 일상 생활의 불편감이 큰 경우가 적지 않다.<sup>3)</sup> 따라서 척추외과 의사에게 성인의 척추 변형에 대한 교정 수술은 여러 수술 중 여전히 가장 부담이 되는 수술 중의 하나이다. 수술적 치료 이전에, 수술로 인해 환자가 얻게 되는 득과 실을 신중하게 고려하고 장단점에 대한 충분한 사전 설명이 필요하며, 만약 발생할지도 모르는 합병증에 대한 대비도 충분히 이루어져야 한다.

## 수술적 교정(Surgical correction)

### 1. 적응증(indication)

척추 변형 환자에서의 교정 수술의 적응증은 변형의 원인과 분류에 따라 약간씩 다르지만 보존적 치료에 호전이 없으며 일상 생활에 심각한 영향을 미치는 통증이 가장 중요한 적응증이다. 또

한 신경마비가 있거나 진행되는 경우, 변형이 진행되는 경우, 심한 변형으로 인한 전방 주시가 불가능하거나, 장기의 압박에 따른 소화기계, 호흡기계의 기능이 심각하게 저하되었을 때에도 척추 교정술을 고려하게 된다. 또한 청소년기 심한 측만증의 경우에는 외형 교정을 위해 수술을 시행하게 된다.<sup>4)</sup>

### 2. 수술 전 처치(preparing for surgery)

수술적 치료를 고려할 때, 환자가 고령일 경우에는 전신적 질환 및 심장 질환 등이 있을 수 있으므로 내과의 협진이 반드시 필요하다. 환자의 면밀한 신경학적 검사 또한 필수적이며, 만약 수술 전 신경학적 이상이 있다면 수술 후 악화 가능성이 높다는 점을 확실하게 인식하고 좀 더 신중을 기해야 한다. 특히 고령의 환자에서 고관절이나 슬관절에 퇴행성 관절염이 심하여 관절의 굴곡 구축(flexion contracture)이나 하지 부동(leg length discrepancy)이 있는 경우에는 해당 관절을 먼저 교정하는 것이 권장된다. 또한 하지 부동이나 골반 불균형(pelvic obliquity)이 있는 환자에서 척추부까지 유합이 필요한 경우에는 시상면 균형에 더욱 세심한 주의가 필요하다.

수술 전 강직성 척추염과 같은 심한 후만 변형의 환자는 똑바로 엎드릴 수가 없으므로 여러 부드러운 받침과 수술대를 구부린 상태로 수술을 시행하는 경우도 있으며, 수술 중 수술대의 굴곡이나 신전이 필요할 수도 있으므로 전동으로 조절되는 수술대가 필수적이다. 경추의 굴곡이 심해서 정상적인 기관 내 삽관이 어려운 경우도 있으며, 이러한 경우에는 기관지경을 이용하거나 경

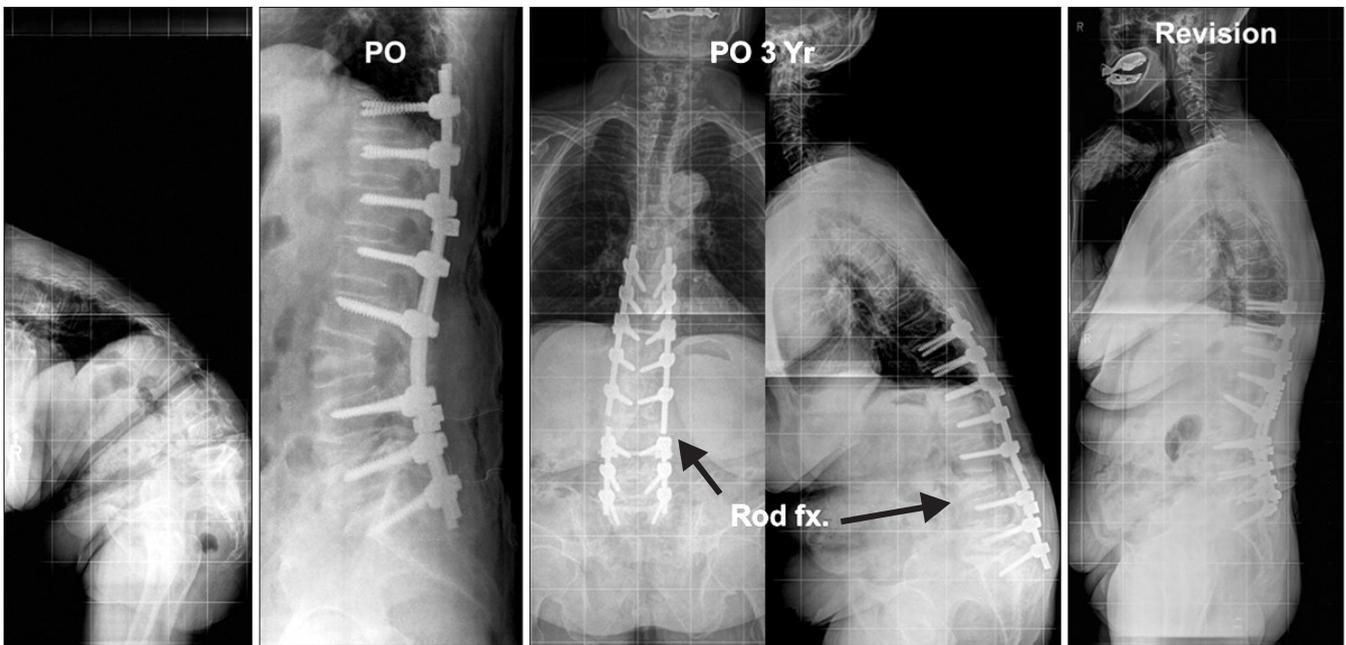


Figure 1. A 70-year-old female patient with degenerative flat back syndrome. Pedicle subtraction osteotomy L3 and unilateral transforaminal lumbar interbody fusion L4-S1 were performed. However, rod fracture (Rod fx.) and re-stooping was observed at postoperative (PO) 3 years. The patient underwent revision surgery and restored sagittal balance.

기관지 삽관이 필요하다. 따라서 숙련된 마취의사와 수술 전 협력은 필수적이다.

경추부에 중증의 굴곡 변형이나 강직이 심한 경우, 엎드려 있는 자세에서 경추부에 신전력이 작용한다면 골절이나 탈골 등의 심각한 합병증도 발생할 수 있으므로 환자의 머리가 수술대에서 떨어져서 머리쪽으로 체중이 실리지 않도록 세심한 주의가 필요하다. 다른 종류의 척추수술에 비해 수술시간이 길기 때문에 수술 중 환자의 머리 지지대의 위치를 변경시켜, 실명까지 일으킬 수 있는 안구와 망막 혈관의 압박을 감소시켜 치명적인 부작용이 나타나지 않도록 조심하여야 한다. 저자들도 척추경 절골술 후, 실제 2예의 한쪽 안구의 시력 상실을 보고한 바 있다. 이러한 과정에서 역시 수시로 마취 의사에게 확인을 요구해야 한다. 또한 굴곡된 신체의 급격한 신전으로 인해 위장의 급성 팽창이나 마비성 장폐색, 상장간동맥 증후군 등도 교정 이후에 발생할 수 있으며, 이러한 경우에는 수술 이후에 일정기간 동안 경비위관이나 직장관 등이 필요하다.<sup>5,6)</sup>

수술 중 환자의 신경학적 상태를 감시하기 위해서는 수술 중 실시간으로 체성 감각 유발전위(somatosensory evoked potential), 운동 유발전위(motion evoked potential), 실시간 근전도 검사(electromyography)나 각성 검사 등이 필요하며, 실제 수술시 수술 중에 감시 검사상 이상 소견이 나타난다면 수술자는 신경 손상의 가능성을 충분히 염두해 두고 즉각적인 대응을 하여야 한다. 이러한 수술중 감시의 필요성과 효과에 대해서는 여러 연구를 통해 증명되어 있다. 또한 수술 중 출혈량이 특히 많은 수술이므로 수술 전부터 계획된 채혈 수혈이나 수술 중에 저혈압 마취, 출혈을 줄이기 위한 약물 등을 미리 확인하는 것도 필수적이다.

일련의 수술 과정은 집도의의 주도하에 마취과, 내과, 일반외과 등과 팀을 이루어 접근해야만 좋은 결과를 얻을 수 있다.

### 3. 교정 방법(methods of correction)

환자에게 적당한 교정각을 만들어주기 위해서는 몇 가지 고려할 사항이 있다. 먼저 환자의 곡선이 유연한 상태인지 아니면 고정된 상태인지 확인이 필요하고, 이전의 수술 병력 등은 없는지, 가

능하다면 덜 복잡하고 합병증 가능성이 적은 수술법은 어떤 방법 일지에 대한 고민과 전체적인 균형을 맞추기 위해서는 얼마만큼 교정을 하여야 전체적인 균형이 회복되었는지에 대한 심도 깊은 고찰이 필요하다.

#### 1) 접근 방법(surgical approach)

수술적 접근방법은 크게 나눈다면 두 가지 방법이 있다. 첫 번째는 후방에서만 시행하는 방법이고 두 번째로는 전방 수술과 후방 수술을 모두 시행하는 방법이다.

후방으로만 수술을 시행하는 방법은 관상면 변형의 경우 유연한 만곡의 경우가 대상이 되며, 주로 마취 후 수술대에서 전만각을 만들어 주기 위한 패드를 이용하고, 고관절과 슬관절을 신전시켜 요추부 전만을 만들어 주는 것이 중요하다. 수술 중 나사못을 삽입한 후 금속 봉의 지렛대 기능을 이용하고 만곡의 요철면의 각 분절에 따라 압박 및 신연으로 측만을 교정하게 된다. 또한 상기 방법으로 충분한 교정을 얻을 수 없는 경우에는 추체 절골술이나 후방 추체간 유합술을 이용하여 원하는 교정을 얻을 수 있다. 후방 단독 접근법은 후방 단일 접근으로 수술시간을 단축시키고, 출혈량, 입원일수 등을 줄일 수 있다는 장점이 있는 반면, 충분한 교정각을 얻기가 쉽지 않고 확실한 전방 지지를 할 수 없어 수술 후 변형의 재발이 많은 단점이 있다.

Pateder 등<sup>7)</sup>와 Crandall과 Revella<sup>8)</sup>는 척추 변형의 수술시 후방 단독 수술과 전후방 동시수술을 비교하였을 때, 특히 관상면의 교정시 두 방법면에서 큰 차이가 없으므로 후방 단독수술의 장점을 보고하였다. 하지만, 최근의 연구들에서는 후방 절골술만 시행하였을 경우 상당히 높은 합병증의 발생을 보고하였다. O'neill 등<sup>9)</sup>은 척추경 절골술을 시행 후 심각한 합병증이 36%, 심각한 정도의 재수술은 28%로 높은 부작용 발생률을 보고하였고, Auerbach 등<sup>2)</sup>과 Cho 등<sup>10)</sup>도 후방 절골술 이후에 각각 35%와 34.3%의 높은 합병증이 발생하였음을 보고하였다. 이 같은 결과들은 척추외과의들이 후방 절골술을 고려할 때 아주 신중하게 결정해야 함을 보여주는 단적인 자료들이다.

전후방 동시 수술은 수술 순서에 따라서 다시 후방-전방-후방,

Table 1. Comparison between Posterior-Only Approach and Anterior-Posterior Combined Approach for Spinal Deformity Surgery

Approach	Advantage	Disadvantage
Posterior-only	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Less invasive and short operation time</li> <li>- No need for additional anterior approach</li> <li>- Less hemodynamic burden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Non-union and implant failure</li> <li>- Small correction angle</li> <li>- Neurological injury and bone defect associated with osteotomy</li> <li>- Correction loss after surgery</li> </ul>
Anterior-posterior combined	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anterior structural support using cage or bone graft</li> <li>- Low non-union rate</li> <li>- Additional posterior fusion</li> <li>- Large correction angle</li> <li>- Anatomically ideal correction (low lumbar lordosis)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Complications associated with anterior approach</li> <li>- Long operation time and hospital stay</li> <li>- Large total blood loss and unstable hemodynamic status</li> </ul>

전방-후방, 후방-전방으로 수술을 진행하는 방법이 있으며, 전후방 수술을 하루에 모두 진행하는 방법과 첫 번째 수술과 두 번째 수술을 일정 간격으로 기간을 두고 나눠서 시행하는 단계적(staged) 방법이 있다. 전후방 동시 수술은 후방으로만 수술하는 방법에 비해서 전방에서 분절간 추간판 높이의 재건과 확실한 전방 지지 구조물을 삽입하므로 해부학적으로 실제 인체와 비슷하도록 하부 요추의 전만증을 크게 만들어 주는 데 용이한 술식이 다. 반면에 추가적인 전방 접근법으로 인한 합병증 발생 가능성이 높아지고, 수술 시간과 입원기간이 길어지는 등의 단점이 있다. 각 방법의 장단점을 Table 1에 정리하였다.

척추 변형 교정 수술시 여러 분절의 수술과 절골술, 전방수술 등의 복합적인 수술로 인해 수술 시간이 길어지고 그로 인해 마취시간 증가와 출혈량 증가로 인한 혈액학적 불안정성 증가, 수술자의 체력적인 부담감 증가 등의 여러 이유로 인해 수술적 치료를 하루에 전부 시행하는 것이 아니라 단계적으로 수술을 나눠서 하는 방법이 고안되었다. 1990년대 초반 이러한 수술법에 대해서 논쟁이 있었으며, 당시에는 단일 수술법이 단계적으로 수술을 여러 번으로 나눠서 하는 것보다 여러 장점이 많다는 의견이 우세하였다. Shufflebarger 등<sup>11)</sup>은 단일 수술법을 시행하였을 때, 단계적 수술법에 비해 수술 시간이 단축되고 출혈량이 적고 입원기간이 줄어든다고 보고하였다. 하지만 당시의 환자들을 살펴보면 대부분 소아환자이거나 중년층 이하의 환자가 대부분이었다.

2000년대 이후로도 심한 척추 변형 환자들에 대해서 단일 수술법과 단계적 수술법에 대한 장단점에 대한 논란이 지속되었는데, 특히 고위험군의 심한 변형이 있는 환자의 경우에는 단계적 수술법으로 수술을 나눠서 시행하는 것이 변형의 교정이나 합병증을 낮추는 데 도움이 된다는 연구들이 많다. Rhee 등<sup>12)</sup>은 중증의 성인 척추 변형 수술에서 단계적 수술의 안전성과 효용성을 보여주

었으며, Tsirikos 등<sup>13)</sup> 역시 고위험군의 환자군에서 단계적 수술의 안정성을 보여주었다. 실제 본 저자들의 연구에서도 단일 수술을 시행하였을 때보다 단계적인 수술을 한 경우에 합병증의 수도 적고, 발생한 합병증도 심각한 경우가 적었다. 아직 문헌상으로 증거 자료가 부족한 편이지만, 고 위험군의 경우라면 하루에 수술을 마치지 않고 단계적으로 시행하는 것도 만족스러운 수술적 결과를 위한 하나의 좋은 대안으로 생각된다(Fig. 2).

## 2) 수술 방법(operative methods)

척추 재건의 원칙은 많은 체중의 부하가 걸리는 전방을 지지하고 후방에서 긴장대효과를 주어 적절한 정렬상태를 안정적으로 유지하는 데 있다. 이렇게 안정적으로 척추의 변형을 교정하기 위하여 여러 방법이 고안되었으며, 실제로도 여러 방법이 복합적으로 사용되고 있다. 먼저 기존 척추체에 손상을 주지 않고 척추체를 안정적으로 고정하고 유합하는 방법으로는 전방(anterior), 후방(posterior), 경추간공(trans-foraminal), 측방(lateral) 척추체간 유합술 등의 방법이 있으며, 절골술을 이용하는 방법으로는 Smith-Peterson osteotomy (SPO), pedicle subtraction osteotomy (PSO), vertebral column resection (VCR) 등이 있다.

척추체간 유합술의 방법 중 전방 유합술은 후방의 신경조직을 피해서 접근이 가능하며, 후방 근육층을 보존하면서 경막의 유착 등의 합병증도 줄일 수 있는 장점이 있다. 또한 전방 척추인대를 충분히 이완시켜 좀 더 높고 큰 각도의 보형물을 삽입하여 시상면상 정렬에 많은 도움이 될 수 있다. 이러한 특징들은 비교적 최근의 연구들에도 잘 나타나 있다. Dorward 등<sup>14)</sup>은 전방 척추체간 유합술이 후방 유합술에 비해서 요추의 전만을 만들어 주는 데 장점이 있음을 보고하였으며, Hsieh 등<sup>15)</sup> 역시 전방 유합술이 추간판의 높이를 회복시켜 전체 균형을 맞추는 데 더욱 효과적이라

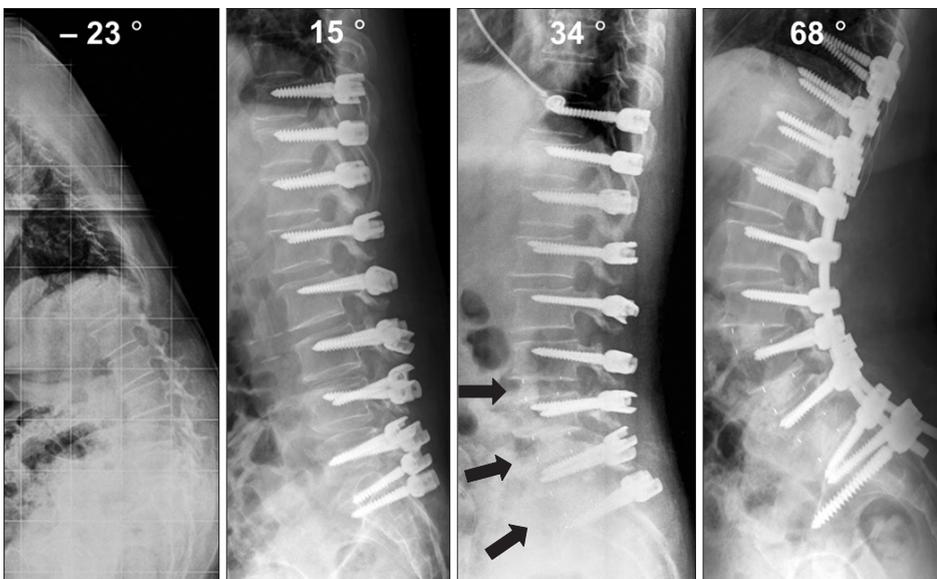


Figure 2. A 68-year-old female patient with degenerative flat back syndrome. Preoperative lumbar lordosis:  $-23^{\circ}$ , pelvic incidence:  $60^{\circ}$ . The patient underwent a staged operation consisting of posterior release (1st stage) and anterior lumbar interbody fusion L3-S1 (arrows) and posterior instrumentation with iliac screw (2nd stage). Postoperatively, deformity was corrected enough without corrective osteotomy.

고 발표하였다. 반면에 전방 접근의 단점으로는 혈관, 신경이나 복부 장기 등에 손상 가능성이 있으며, 척추외과에게 익숙하지 않은 경우가 많으므로 충분한 경험이 있는 척추외과가 진행하는 것이 바람직하다. 후방 접근법을 통한 방법은 이와는 반대로 추가적인 절개나 환자의 자세 변화 없이 후방 절골술 등의 방법과 병합하여 시행할 수 있는 장점이 있으나 전방 접근법에 비해서는 아주 높거나 각도가 큰 보형물의 삽입은 제한이 있으며, 후방의 경막 주위로 수술을 시행하므로 상대적으로 척추 신경 손상 가능성은 전방에 비하여 높은 편이다(Fig. 3). 최근에 최소 접근적 개념에 의해 측방 추체간 유합술이 시작되어 많이 시행되고 있으나 유합 부위가 제1요추에서 제5요추 사이에 제한된 단점이 있다. 척추 절골술은 다양한 용어로 보고되고 있으나 큰 틀에서 본

다면 기본적으로 다음과 같은 세 가지 종류로 나눌 수 있다.

- (1) 후방의 구조물, 즉 극돌기, 황색인대, 상하방 관절돌기의 일부, 후방관절 등의 후방 구조물을 제거하고 후방의 섬유륜을 중심축으로 전방을 개방하고 후방을 닫아 주어 교정각을 얻는 방법(SPO)
- (2) 후방 구조물, 양측 척추경과 척추체의 절반을 후방에서 제거한 뒤에 척추체의 전면을 중심축으로 후방을 폐쇄하여 교정각을 얻는 방법(PSO)
- (3) 척추의 전후방 구조물을 모두 제거한 뒤에 금속 보형물이나 자가골 또는 동종골 등을 중추에 삽입하여 이것을 중심으로 전방을 개방하고 후방을 폐쇄하여, 이를 통해 척추관의 단축을 최소화시키고 가장 큰 교정각을 얻을 수 있는 방법(VCR)

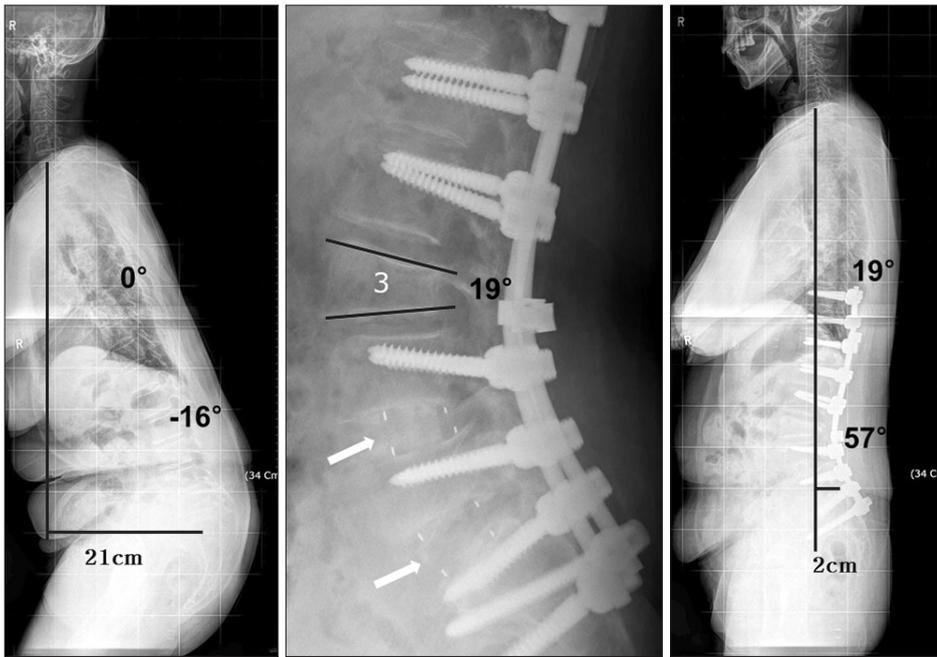


Figure 3. A 72-year-old female patient with degenerative flat back syndrome. Pelvic incidence: 55°. The patient underwent a staged operation with anterior lumbar interbody fusion (ALIF) L4-S1 (arrows) and partial-pedicle subtraction osteotomy L3 and posterior instrumentation T10-S1 with iliac screw. After ALIF L4-S1, additional osteotomy was performed. Preoperative sagittal vertical axis (SVA) (21 cm) reduced within normal limit (SVA: 2 cm) after surgical correction.

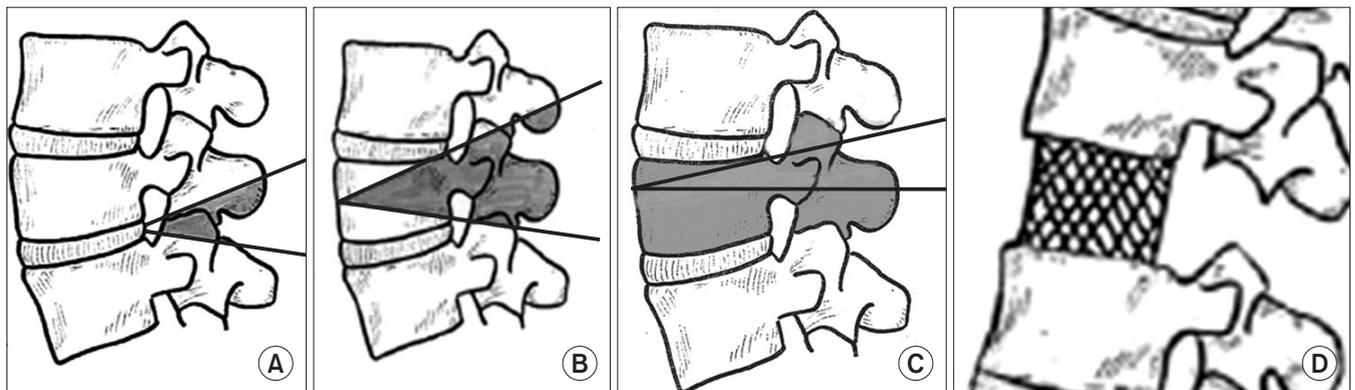


Figure 4. Schematic pictures of spinal osteotomies: Smith-Petersen osteotomy (A), pedicle subtraction osteotomy (B), partial pedicle subtraction osteotomy (C), vertebral column resection (D).

일반적으로 SPO 절골술은 만곡이 비교적 유연하고 분절당 10° 내외의 교정이 필요할 때 시행할 수 있다. PSO 절골술은 주로 척수가 끝나는 요추부에서 주로 사용되며 한 추체당 30° 내외의 비교적 큰 교정각을 얻을 수 있고 측만 교정에도 사용할 수 있어 주로 많이 사용되거나 출혈량, 신경 마비 가능성이 많고 한 부위에서 급격한 교정을 얻으므로 조화된 교정(harmonious correction)을 얻기 어려운 단점이 있다. VCR 절골술은 선천성 변형이나 척추 결핵에 의한 고도의 변형에서 여러 분절을 절제한 후 교정하는 방법으로 교정각이 50° 내외로 가장 크고, 수술 후 외모 개선에 특징적이므로 사용할 수 있는 방법이기도 하나 출혈량이 훨씬 많고 신경 마비 가능성이 가장 높아 숙련된 수기와 팀워크가 필요하다(Fig. 4).<sup>4,16)</sup>

이외에도 Geck 등<sup>17)</sup>은 여러 분절에서 후관절의 일부를 제거하여 각 분절마다 10° 내외의 교정각을 얻어 다분절에서 충분한 교정각을 얻는 방법(Ponte procedure)을 보고하였고, Lehmer 등<sup>18)</sup>은 PSO에서 상방 추간관과 상위 척추체의 하방 종판까지 절골술을 시행하는 변형된 방법을, Kim 등<sup>19)</sup>은 주로 척수 손상 가능성이 더 높은 흉추 부위에서 척추경의 일부분과 추체의 일부분만을 절골하는 방법을 언급하였다. 또한 Chang 등<sup>20)</sup>은 후방구조물과 척추경과 추체의 일부를 제거하고 중추를 중심으로 전방을 개방하고 후방을 폐쇄하는 술식 등을 보고하였다.

강직성 척추염에 의한 척추 변형, 선천성 척추 변형, 척추 결핵에 의한 후만증, 외상성 후만증, 수술 후 편평 증후군 등 만곡이 국소적이거나 강성인 경우엔 절골술이 필요하나 퇴행성 변형의 경우 특히 추체의 골성 변형이 없는 경우엔 전방에서의 유리술(release), 추간관 제거 및 재건을 통해 충분한 교정을 얻을 수가 있는 경우가 많으므로 위험도가 높은 절골술은 장단점을 충분히 고려한 후 선택하는 것이 바람직하다.

### 3) 교정각(amount of correction)

환자가 관상면상 불균형을 보이는 경우에는 가능하다면 곧게 교정하는 것이 좋겠지만 주만곡 상하에도 구조적인 만곡이 존재하는 경우에 주만곡의 직선화에만 신경쓰다 보면 수술 후 오히려 불균형의 상태가 악화되어 환자가 더욱 불편을 호소하는 경우가 생길 수도 있다. 성인 변형 수술 후 관상면 불균형 역시 드물지 않게 발생 가능하므로 수술을 마치고 전에 전척추 사진에서 양골반의 능선의 높이, 양 어깨선의 높이, 제1흉추 극돌기에서 내린 수선이나 제5요추 극돌기에서 올린 수선 등을 고려하여 체간의 균형 상태를 확인하고 수술을 마치는 것이 좋다. 특히 장골나사를 삽입하여 골반 고정까지 연장된 경우에는 보상의 역력이 더욱 낮아지므로 관상면 균형에 세심한 신경을 써야 한다.<sup>21)</sup>

시상면 불균형 시의 교정은 더욱 어렵다. 수술 전 비슷한 정도의 변형을 가진 환자를 수술하여도 수술 이후에 수술적 결과가 좋고 오랫동안 잘 유지되는 환자가 있는 반면 어떤 환자에서는

교정 손실이 오거나 근위부 후만증, 불유합, 심한 경우 기기의 파손까지 나타나기도 한다.<sup>10)</sup> 수술 후 교정의 소실은 가장 빈번히 발생하는 합병증으로 저자들의 연구에서는 평균 38%에서, 특히 유합 근위부에서 소실이 발생되었다. 이에 대한 명확한 원인관계에 대해서는 여전히 논란거리가 되고 있는 상태이다.<sup>22)</sup>

시상면 불균형이 있는 환자에서 수술 후 합병증이 발생하는 가장 중요한 원인 중의 하나는 적절하지 못한 교정 각도이다. 지나치게 작은 교정 각도라면 교정의 손실과 시상면상 불균형의 재발 가능성이 높을 것이고, 또 과도한 교정이라면 기기의 스트레스로 인한 파손이나 근위부 후만증의 발생 가능성도 있다. 이처럼 환자에게 이상적인 교정 각도의 정도는 수술적 치료 성공의 핵심적인 요소이다. 특히 편평 증후군, 퇴행성 요부 후만증의 경우에는 이미 수술 전에 골반의 회전, 심한 흉추부 후만까지 관찰되고 고관절, 슬관절, 그리고 족관절까지 굴곡이 동반되어 있는 경우도 있으므로 얼마만큼 전만을 교정해야 하는지 결정이 쉽지 않으며, 이러한 교정 정도의 결정은 성인 척추 변형 수술 시 성패의 가장 중요한 요소 중에 하나이다.<sup>23)</sup> 척추 변형 환자에서 수술 전 다양한 교정각을 계산하는 여러 방법이 소개되고 있지만, 수술 방법에 실제 사용하는 것은 여전히 어려움이 많다. 몇 가지 실제 교정 각도 측정법을 살펴보면, 1) 강직성 척추염처럼 경추부까지 강직된 경우 chin-brow vertical angle을 사용하여 수술 후 정면을 제시할 수 있도록 하며,<sup>24)</sup> 2) 환자의 필름을 절골부위에서 잘라서 교정에 필요한 각도를 측정하는 방법,<sup>25)</sup> 3) PSO 이전에 절골 정도를 수술 전에 계산하는 tangent법,<sup>26)</sup> 4) 흉추 후만증 +20° < 요추 전만증의 방식으로 계산하는 방법과<sup>27)</sup> 5) 골반지표를 이용하는 방법<sup>23)</sup> 등이 있다.

이상적인 요추의 전만곡 재건을 위한 개인별 요추 전만 각도를 예측하기 위해 많은 연구들이 진행되어 왔으며, 2000년대 중반까지만 하더라도 4)번과 같은 방식의 식을 이용하여 전만증을 예측하였으나 이러한 각도는 변화가 가능하고 줄어들기 때문에 실제로는 효용이 떨어진다. 현재 가장 일반적용 받아들여지고 있는 요추 전만증 예측식은 5)번의 골반지표를 이용하는 방법이다. 골반지표와 요추 전만증에 관한 많은 연구 중 가장 널리 받아들여지고 있는 식은 2010년에 Schwab 등<sup>23)</sup>이 발표한 ‘요추 전만증=골반 입사각(pelvic incidence)±9°’이다. 이를 쉽게 설명하면, 척추 변형 수술 후 교정된 요추부의 전만각과 골반 입사각의 차이가 9° 이내여야 수술 후 부작용이 적고 결과가 좋다는 뜻이다. 이후 Rothenfluh 등<sup>28)</sup>은 골반 경사와 요추 전만의 각도가 맞지 않으면 재수술의 가능성이 10배 이상 높다고 언급하면서 다시 한번 요추 전만과 골반 경사의 관계의 중요성을 언급하였다. 이 공식 역시 논란의 여지는 있지만 개인적으로는 현재까지는 가장 신뢰할 수 있는 방법이라 생각한다. 저자들도 이러한 연구를 기본으로, 요추 전만각이 골반 입사각의 9° 이내에서 교정되었을 때, 만족스러운 시상면상 균형을 얻고 이후 교정 소실을 적게 나타남을 확인할

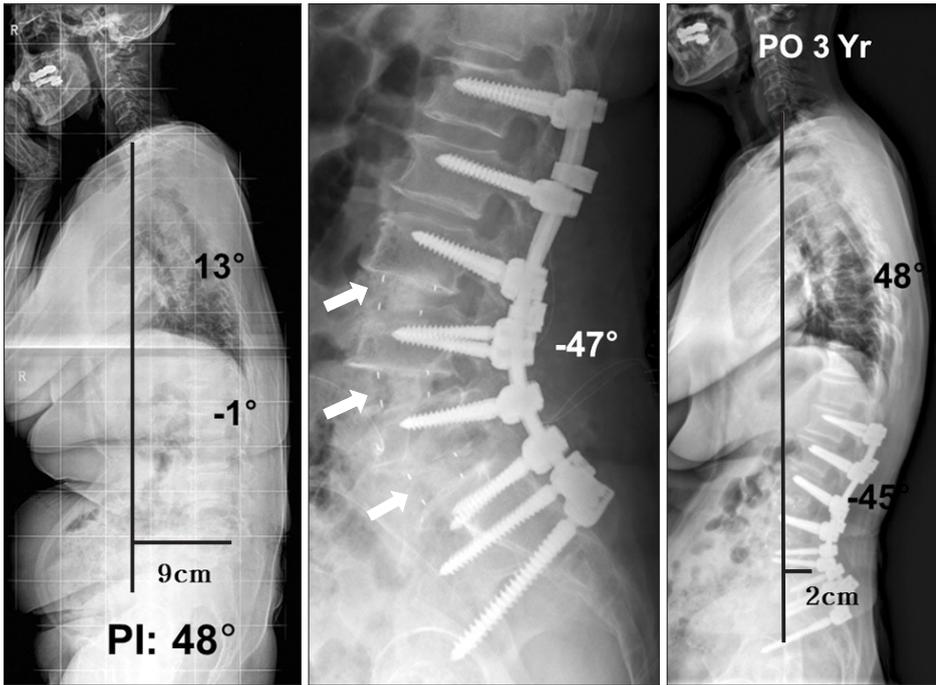


Figure 5. A 63-year-old female patient with operation for stooping and claudication. Preoperative (PO) thoracic kyphosis: 13°, lumbar lordosis (LL): -1°, sagittal vertical axis: 9 cm, pelvic incidence (PI): 48°. The patient underwent anterior lumbar interbody fusion L3-S1 and posterior instrumentation L1-S1. Immediate postoperative LL: -47°. LL-PI: 1°. At postoperative 3 years, the patient showed no correction loss or complications.

수 있었다(Fig. 5).

#### 4) 유합 범위와 척추골반 고정의 역할(fusion length and role of spino-pelvic fixation)

일반적으로 유합 범위는 국소적인 경우, 즉 강직성 척추염에서 절골술을 시행하거나 외상성 질환의 병변에서는 위, 아래로 2-3 분절 정도면 충분하지만, 요추 변성 후만증과 같은 동적인 불균형인 경우에는 장분절 유합이 필요하다. 근위부 고정 유합 범위는 일반적으로 만곡의 정점(apex)는 피하고 상부 만곡의 상태에 따라 결정하게 되며, 원위부는 유합 범위를 제5요추 또는 천추, 골반까지 고정하는 경우마다 각각의 장단점이 있어 여전히 논란 거리로 남아 있다.

최근 척추 변형 수술 후 가장 큰 문제로 대두된 근위부 유합 범위에 따른 후만 변형은 척추 변형 수술 이후에 발생 가능성이 30%-40%까지 보고되고 있기 때문에, 최근까지 이러한 위험인자에 대한 연구가 진행되고 있다. 논란의 여지는 있지만 대표적인 위험인자로는 연령, 골다공증 유무, 교정 정도, 근위부 유합범위, 원위부 유합 범위, 절골술 시행여부 등의 인자가 고려되고 있으며,<sup>29)</sup> 이러한 근위부 후만 변형을 예방하기 위해서 제10흉추나 제4흉추까지 유합을 연장해야 한다는 의견까지 나오고 있으나 아직 확실한 위험인자나 어디 부위까지 유합하는 것이 안전하다는 학문적 정설이 도출되지는 못하고 있다. 또한 원위부 유합 범위로서 제5요추-제1천추간 유합에 대한 장단점도 아직 확실한 근거를 제시하지 못하나 장분절의 유합술을 하는 경우에는 수술 후 인접분절 문제로 인해 제1천추를 포함하여 유합하는 것이 선호되는 추세이다. 하지만 장분절 수술로 인해 발생 가능한 합병증

과 수술 후 기능 저하를 생각한다면 가능한 수술범위는 줄이는 것이 추천된다.<sup>3)</sup>

일반적으로 척추 변형 수술의 경우 장분절 수술이 많으므로 제1천추경 나사에 집중되는 스트레스를 감소시키고 불유합을 줄이기 위해 척추체간 유합술 및 골반나사, 제2천추 나사 등을 이용한 추가적인 척추 골반 고정법의 사용이 권장되고 있다. 특히 제5요-제1천추간 유합술 후에는 불유합률이 높아 장골 나사(iliac screw)를 이용한 골반 고정(pelvic fixation)이 선호되는 편이다. 이러한 척추 골반의 고정은 변형 수술의 원위부인 요천추부의 고정 실패, 불유합, 변형 진행 등을 막을 수 있는 장점이 있으며, 골반까지 유합범위에 포함되므로 더욱 길어진 금속봉의 지렛대 기능을 이용하여 요추 전만의 재건에 도움이 되기도 한다. Chang 등<sup>30)</sup>은 척추 변형 수술에서 골반 고정을 시행한 경우에 골반 지표를 효율적으로 향상시킬 수 있다고 하였고, 장골 고정을 시행한 경우에 양측 피질골을 통과시킨 제1천추경 나사나 제2천추경 나사를 사용한 군보다 척추골반 수치의 의미 있는 회복과 높은 안전성을 보여준 연구도 있다. 하지만 단점으로 수술범위가 넓어지며 골반 나사가 튀어나와 불편감이 생기는 경우가 있으므로 이러한 단점을 숙지하고 수술에 임해야 할 것이다.

## 결론

척추외과의에게 성인 척추 변형의 수술적 치료는 여전히 가장 도전해 보고 싶기도 하지만 여러 합병증 가능성으로 부담이 되는 수술이기도 하다. 성인 척추 변형의 만족스러운 수술적 결과를 얻기 위해서는 무엇보다도 적절한 환자의 선택이 중요하며, 수

술 전 세밀한 환자의 이학적 검사를 비롯하여 수술 전, 후 발생 가능한 합병증에 대한 철저한 대비가 선행되어야 할 것으로 생각된다. 또한 수술 후 발생할 수 있는 여러 합병증과 장분절 유합에 따른 환자의 불편감 등에 대해서 수술 전에 충분히 환자에게 설명하여 이해시키는 것이 수술 후 환자의 만족도를 높여줄 수 있는 방법으로 생각된다. 수술적 치료는 다양한 접근법과 여러 절골술의 방법이 있으므로, 수술자는 각각의 치료 방법에 대해 충분히 숙지하고 치료에 임해야 한다. 기존의 여러 연구들을 통해 입증된 자료를 충분히 참고하고, 충분한 수술 기법 숙련을 기본으로 하여 환자에게 가장 적절한 수술 방법, 수술 각도 및 수술 범위를 결정하여야 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

## CONFLICTS OF INTEREST

The authors have nothing to disclose.

## REFERENCES

- 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.
- Auerbach JD, Lenke LG, Bridwell KH, et al. Major complications and comparison between 3-column osteotomy techniques in 105 consecutive spinal deformity procedures. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012;37:1198-210.
- Lee CS, Chung SS, Shin SK, Park SJ, Lee HI, Kang KC. Differences in post-operative functional disability and patient satisfaction between patients with long (three levels or more) and short (less than three) lumbar fusions. *J Bone Joint Surg Br*. 2011;93:1400-4.
- Gill JB, Levin A, Burd T, Longley M. Corrective osteotomies in spine surgery. *J Bone Joint Surg Am*. 2008;90:2509-20.
- Kim KT, Lee SH, Suk KS, Lee JH, Jeong BO. Outcome of pedicle subtraction osteotomies for fixed sagittal imbalance of multiple etiologies: a retrospective review of 140 patients. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012;37:1667-75.
- Hu SS, Berven SH. Preparing the adult deformity patient for spinal surgery. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31:S126-31.
- Pateder DB, Kebaish KM, Cascio BM, Neubaer P, Matusz DM, Kostuik JP. Posterior only versus combined anterior and posterior approaches to lumbar scoliosis in adults: a radiographic analysis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007;32:1551-4.
- Crandall DG, Revella J. Transforaminal lumbar interbody fusion versus anterior lumbar interbody fusion as an adjunct to posterior instrumented correction of degenerative lumbar scoliosis: three year clinical and radiographic outcomes. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009;34:2126-33.
- O'Neill KR, Lenke LG, Bridwell KH, et al. Clinical and radiographic outcomes after 3-column osteotomies with 5-year follow-up. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2014;39:424-32.
- Cho SK, Bridwell KH, Lenke LG, et al. Major complications in revision adult deformity surgery: risk factors and clinical outcomes with 2- to 7-year follow-up. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012;37:489-500.
- Shufflebarger HL, Grimm JO, Bui V, Thomson JD. Anterior and posterior spinal fusion. Staged versus same-day surgery. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1991;16:930-3.
- Rhee JM, Bridwell KH, Lenke LG, et al. Staged posterior surgery for severe adult spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2003;28:2116-21.
- Tsirikos AI, Chang WN, Dabney KW, Miller F. Comparison of one-stage versus two-stage anteroposterior spinal fusion in pediatric patients with cerebral palsy and neuromuscular scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2003;28:1300-5.
- Dorward IG, Lenke LG, Bridwell KH, et al. Transforaminal versus anterior lumbar interbody fusion in long deformity constructs: a matched cohort analysis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2013;38:E755-62.
- Hsieh PC, Koski TR, O'Shaughnessy BA, et al. Anterior lumbar interbody fusion in comparison with transforaminal lumbar interbody fusion: implications for the restoration of foraminal height, local disc angle, lumbar lordosis, and sagittal balance. *J Neurosurg Spine*. 2007;7:379-86.
- Schwab F, Blondel B, Chay E, et al. The comprehensive anatomical spinal osteotomy classification. *Neurosurgery*. 2014; 74:112-20; discussion 120.
- Geck MJ, Macagno A, Ponte A, Shufflebarger HL. The Ponte procedure: posterior only treatment of Scheuermann's kyphosis using segmental posterior shortening and pedicle screw instrumentation. *J Spinal Disord Tech*. 2007;20:586-93.
- Lehmer SM, Keppler L, Biscup RS, Enker P, Miller SD, Steffee AD. Posterior transvertebral osteotomy for adult thoracolumbar kyphosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1994;19:2060-7.
- Kim KT, Park DH, Lee SH, Suk KS, Lee JH, Park KJ. Partial pedicle subtraction osteotomy as an alternative option for spinal sagittal deformity correction. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2013;38:1238-43.
- Chang KW, Tu MY, Huang HH, Chen HC, Chen YY, Lin CC.

- Posterior correction and fixation without anterior fusion for pseudoarthrosis with kyphotic deformity in ankylosing spondylitis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31:E408-13.
21. Ploumis A, Simpson AK, Cha TD, Herzog JP, Wood KB. Coronal spinal balance in adult spine deformity patients with long spinal fusions: a minimum 2- to 5-year follow-up study. *J Spinal Disord Tech*. 2015;28:341-7.
  22. Lee SH, Kim KT, Suk KS, Lee JH, Seo EM, Huh DS. Sagittal decompensation after corrective osteotomy for lumbar degenerative kyphosis: classification and risk factors. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011;36:E538-44.
  23. 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.
  24. Suk KS, Kim KT, Lee SH, Kim JM. Significance of chin-brow vertical angle in correction of kyphotic deformity of ankylosing spondylitis patients. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2003;28:2001-5.
  25. Gertzbein SD, Harris MB. Wedge osteotomy for the correction of post-traumatic kyphosis. A new technique and a report of three cases. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1992;17:374-9.
  26. Ondra SL, Marzouk S, Koski T, Silva F, Salehi S. Mathematical calculation of pedicle subtraction osteotomy size to allow precision correction of fixed sagittal deformity. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31:E973-9.
  27. 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.
  28. Rothenfluh DA, Mueller DA, Rothenfluh E, Min K. Pelvic incidence-lumbar lordosis mismatch predisposes to adjacent segment disease after lumbar spinal fusion. *Eur Spine J*. 2015;24:1251-8.
  29. Lau D, Clark AJ, Scheer JK, et al; SRS Adult Spinal Deformity Committee. Proximal junctional kyphosis and failure after spinal deformity surgery: a systematic review of the literature as a background to classification development. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2014;39:2093-102.
  30. Chang DG, Ha KY, Kim YH, Lee EW. Spinopelvic alignment by different surgical methods in the treatment of degenerative sagittal imbalance of the lumbar spine. *J Spinal Disord Tech*. Published online December 30, 2014; doi: 10.1097/BSD.0000000000000239.

## 성인 척추 변형

## 성인 척추 변형의 수술적 교정

김기택·강경중<sup>✉</sup>

경희대학교 의과대학 정형외과학교실

척추외과의에게 성인 척추 변형의 수술적 치료는 가장 도전해 보고 싶기도 하지만 여러 합병증 가능성이 높아 부담이 높은 것도 사실이다. 성인 척추 변형의 만족스러운 수술적 결과를 얻기 위해서는 무엇보다도 적절한 환자의 선택이 중요하며, 수술 전 세밀한 환자의 이학적 검사, 수술중 적절한 자세나 신경학적 검사, 마취과나 내과의 긴밀한 협조 등을 통한 철저한 준비를 통해 수술 전, 후 발생 가능한 합병증에 대비하여야 한다. 수술적 치료는 접근 방법에 따라서 후방 단독 접근법과 전후방 동시 접근방법이 있으며, 장분절 수술로 인한 장시간 마취와 환자의 혈액학적 부담감을 고려하여 수술을 하루에 마치는 방법과 일정 간격을 두고 단계적으로 두 번에 걸쳐 수술하는 방법을 선택할 수도 있다. 수술 방법 역시 여러 조건에 따라 전방 유합술과 후방 절골술 등 다양한 방법으로 장단점을 살려 수술적 교정이 가능하며, 후방 절골술은 환자의 상태, 교정이 필요한 각도의 정도와 위치에 따라서 여러 수술법을 이용하여 교정이 가능하다. 본 종설에서는 성인 척추 변형의 수술적 교정에 대해 기존의 여러 연구를 통해 입증된 자료를 참고하여 환자에게 가장 이상적인 수술 방법, 각도 및 범위를 결정하는 데 도움을 주고자 한다.

**색인단어:** 성인 척추 변형, 수술적 치료, 접근법, 절골술, 합병증

접수일 2015년 8월 17일 수정일 2015년 11월 6일 게재확정일 2015년 11월 10일

<sup>✉</sup>책임저자 강경중

02447, 서울시 동대문구 경희대로 23, 경희대학교의료원 정형외과

TEL 02-958-8346, FAX 02-964-3865, E-mail [futurespine@gmail.com](mailto:futurespine@gmail.com)