

# CORREÇÃO DAS DEFORMIDADES SAGITAIS FIXAS PELA TÉCNICA DE OSTEOTOMIA DE SUBTRAÇÃO PEDICULAR (PSO)

PEDICLE SUBTRACTION OSTEOTOMY (PSO) FOR THE TREATMENT OF SAGITTAL DEFORMITIES

CORRECCIÓN DE LAS DEFORMIDADES SAGITALES FIJAS POR LA TÉCNICA DE OSTEOTOMÍA DE SUSTRACCIÓN PEDICULAR (PSO)

RODRIGO JOSÉ FERNANDES DA COSTA<sup>1</sup>, LUIS EDUARDO CARELLI<sup>2</sup>, ANDRÉ LUIZ LOYELO BARCELLOS<sup>3</sup>, ANTÔNIO EULÁLIO PEDROSA ARAÚJO JÚNIOR<sup>4</sup>, LUIZ CLÁUDIO VILLELA SCHEITINO<sup>5</sup>

## RESUMO

**Objetivo:** O objetivo deste estudo foi avaliar os resultados radiográficos, bem como, as complicações precoces e tardias, da técnica de osteotomia de subtração pedicular (PSO) em pacientes com deformidades sagitais fixas. **Métodos:** Foram avaliados os prontuários e as radiografias panorâmicas em perfil, realizadas no pré- e pós-operatório, de nove pacientes. Todos foram submetidos à osteotomia ao nível lombar (três ao nível L3 e dois ao nível L2). No grupo estudado, quatro pacientes possuíam o diagnóstico de espondilite anquilosante, três cifose lombar pós-artrodeose, um cifoscoliose do adulto e um pseudo-hipoparatiroidismo. Foram avaliados os dados do prontuário como: ruptura da dura-máter, lesão neurológica, infecção e falha da síntese. A avaliação radiológica baseou-se nas incidências em perfil panorâmico ortostático das radiografias pré- e pós-operatórias, com a medição do ângulo de cifose torácica, lordose lombar e eixo sagital. **Resultados:** Os achados radiográficos mostraram um aumento na lordose lombar de 14,6° para 44,7° (30°), enquanto que a cifose torácica permaneceu estável em 48°, redução do desequilíbrio sagital de 13,7 para 5,4mm. O tempo médio de cirurgia foi de 08h10min e sangramento médio de 2.460mL. Um paciente sofreu ruptura da dura-máter (durotomia), dois pacientes apresentaram infecção da ferida operatória, com necessidade de revisões e retirada do material de síntese em apenas um. Nenhum dos pacientes apresentou lesão neurológica. **Conclusão:** Embora seja um procedimento tecnicamente exigente, com perda sanguínea, elevado tempo cirúrgico e complicações severas, a osteotomia de subtração pedicular obteve uma significativa melhora na correção do equilíbrio sagital, sendo um recurso valioso para efetiva correção dos desequilíbrios posturais no plano sagital, como observada na espondilite anquilosante e complicações de cirurgias prévias.

**Descritores:** Osteotomia; Cifose; Espondilite anquilosante; Curvaturas da Coluna Vertebral; Doenças da Coluna Vertebral.

## ABSTRACT

*Objective:* The aim of this study was to assess the early and long term functional and radiographic outcomes of pedicle subtraction osteotomy (PSO) in patients with fixed sagittal deformities. *Methods:* The medical records and radiographs performed during the pre- and post-operative period of nine patients with fixed sagittal deformities caused by ankylosing spondylitis (4 patients), flat back post-arthrodesis (3 patients), adult kyphoscoliosis (1 patient) and pseudohypoparathyroidism (1 patient), were retrospectively reviewed. All patients were submitted to lumbar osteotomy (three at level L3 and two at level L2). Clinical data such as durotomy, neurologic injury, infection of the surgical wound, implant failure and pseudarthrosis were also assessed. Pre- and post-operative radiographic assessment was performed by measuring angles of thoracic kyphosis, lumbar lordosis and sagittal axis. *Results:* In patients with lumbar osteotomy, final follow up radiographs showed an increase in lumbar lordosis from 14.6° to 44.7° (increase of 30°), whereas thoracic kyphosis remained stable from 46° to 48°. Sagittal imbalance reduced from 13.7 to 5.4mm, and thoracic kyphosis remained stable (48°). The mean time of surgery was 8 hours 10 minutes and mean bleeding was 2,460mL. No neurologic complications were found, but one patient showed durotomy and two patients showed wound infection requiring posterior surgical approach. *Conclusions:* Although the pedicle subtraction osteotomy requires great surgical skills and experience, due to the blood loss, long operative time and severe implications, this procedure reaches a significant improvement in sagittal imbalance as observed in ankylosing spondylitis and implications of previous surgeries.

**Keywords:** Osteotomy; Kyphosis; Ankylosing spondylitis; Spinal Curvatures; Spinal Diseases.

## RESUMEN

**Objetivo:** El objetivo de este estudio fue evaluar los resultados radiográficos y clínicos, así como las complicaciones precoces y tardías, de la técnica de osteotomía de sustracción pedicular en pacientes con deformidades sagitales fijas. **Método:** Se evaluaron las historias clínicas y las radiografías panorámicas de perfil, realizadas en el pre y postoperatorio, de 09 pacientes. Todos fueron sometidos a osteotomía a nivel lumbar. En el grupo estudiado, 4 pacientes tenían diagnóstico de espondilitis anquilosante, 3 de cifosis lumbar post artrodesis, 1 de cifoscoliosis de adulto y 1 de pseudohipoparatiroidismo congénito. Se evaluaron datos de la historia clínica tales como: durotomía, lesión neurológica, infección y falla de la síntesis. La evaluación radiológica se basó en las incidencias en perfil panorámico de las radiografías

1 - Médico Colaborador do Centro de Tratamento das Doenças da Coluna do Instituto Nacional de Traumatologia-Ortopedia (INTO)- Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

2 - Mestre, Professor do Centro de Tratamento das Doenças da Coluna do Instituto Nacional de Traumatologia-Ortopedia (INTO)- Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

3 - Staff do Centro de Tratamento das Doenças da Coluna do Instituto Nacional de Traumatologia-Ortopedia (INTO)- Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

4 - Staff do Centro de Tratamento das Doenças da Coluna do Instituto Nacional de Traumatologia-Ortopedia (INTO)- Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

5 - Chefe do Centro de Tratamento das Doenças da Coluna do Instituto Nacional de Traumatologia-Ortopedia (INTO)- Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

pre e postoperatorias, com a medida do ângulo de la cifosis torácica, lordosis lumbar y eje sagital. Resultados: los hallazgos radiográficos mostraron aumento en la lordosis lumbar de 14,6° para 44,7° (30°), mientras que la cifosis torácica se mantuvo estable en 48°, reducción del desequilibrio sagital de 13,7 para 5,4 mm. El tiempo promedio de cirugía fue de 08:10h y el sangrado promedio de 2.460ml. Un paciente sufrió durotomía, dos pacientes presentaron infección de la herida operatoria, con necesidad de revisiones y retirada de material de síntesis sólo en uno. Ninguno de los pacientes presentó lesión neurológica. Conclusión: aún siendo el procedimiento técnicamente exigente, con pérdida sanguínea y tiempo quirúrgico elevados, la osteotomía de sustracción pedicular logró una mejora significativa en la corrección del desequilibrio sagital, constituyendo un recurso valioso para la corrección efectiva de los desequilibrios posturales en el plano sagital.

Descritores: Osteotomía; Cifosis; Espondilitis Anquilosante.; Curvaturas de la Columna Vertebral; Enfermedades de la Columna Vertebral.

## INTRODUÇÃO

O acometimento da coluna vertebral nas doenças ósteo-metabólicas, espondiloartropatias, traumas e nas abordagens cirúrgicas pode levar à redução ou perda da lordose lombar fisiológica e aumento da cifose torácica, causando uma cifose global rígida (Figura 1). Esta postura cifótica global apresenta-se como consequência um desequilíbrio do eixo sagital fixo<sup>1-3</sup>.



Figura 1. Radiografia do pré-operatório do paciente com desequilíbrio sagital após artrotese posterior com haste de Harrington.

Este desequilíbrio pode ser definido como uma síndrome na qual o paciente é incapaz de manter uma postura ereta sem flexionar os joelhos e os quadris<sup>2</sup>. Esta anormalidade postural é bem avaliada nas radiografias panorâmicas em perfil da coluna vertebral, onde se observa uma linha de prumo (linha vertical) da vértebra C7 passando anterior ao corpo da vértebra S1 (Figura 2). Quando esta linha passa anterior ao corpo de S1, é considerado eixo positivo, sobre o corpo, neutro, e atrás do corpo de S1, negativo<sup>3</sup>.

A cifose acentuada em uma coluna com desequilíbrio do eixo sagital apresenta prejuízo da deambulação tanto pela perda do equilíbrio como pela dificuldade de olhar adiante e diminuição da qualidade de vida de relação do indivíduo. Quando grave pode haver compressão de vísceras e impossibilidade de permanecer em pé<sup>4,5</sup>.

As deformidades no eixo sagital da coluna vertebral podem ser avaliadas pela observação radiográfica e clínica do perfil do paciente, quando está em pé com os quadris e joelhos estendidos e o pescoço em sua posição fixa ou neutra. As medições das cifoses torácicas, da lordose lombar, bem como a quantificação do desvio do eixo sagital, são realizadas através de radiografias panorâmicas em perfil com o paciente em pé<sup>3</sup> (Figuras 2 e 3).



Figura 2. Radiografia do pré operatório do paciente 8.

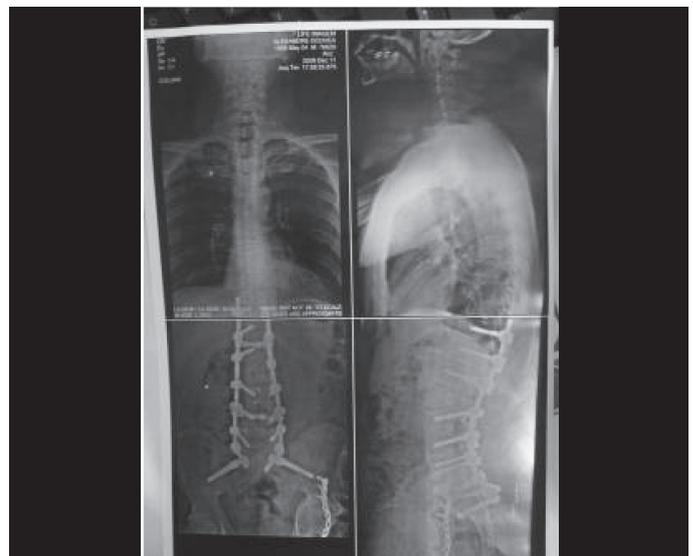


Figura 3. Radiografia pós-operatória do mesmo paciente.

Existem numerosas técnicas de osteotomia vertebral e modificações destas técnicas, para a correção das deformidades sagitais fixas, com resultados e complicações diversas na literatura<sup>2,3,5</sup>.

Os dois principais métodos para a correção das deformidades sagitais fixas incluem a osteotomia de Smith-Petersen e a osteotomia de subtração pedicular<sup>3,5,6</sup>.

Para se obter lordose do seguimento operado com a técnica de Smith-Petersen, a coluna posterior deve ser encurtada e a coluna anterior alongada<sup>5,6</sup>.

A osteotomia de subtração pedicular é uma técnica de correção do eixo sagital, onde são retirados elementos vertebrais ao longo de toda a estrutura vertebral (processos transversos, pedículos, osso esponjoso da porção superior do corpo vertebral e cortical relacionado), obtendo, portanto, correção angular através das três colunas por um único acesso posterior, apresentando uma correção maior da deformidade sagital, por nível de osteotomia, que as demais técnicas (Figuras 4,5 e 6). Outro fator positivo desta osteotomia é não realizar distração na região anterior da vértebra que sofreu osteotomia (Figuras 3 e 4), evento que pode causar ruptura dos grandes vasos aderidos ou com calcificação, tão comuns em paciente com doenças crônico-inflamatórias como a espondilite anquilosante<sup>3,5-7</sup>.



**Figura 6.** Vista do campo cirúrgico com evidência da instrumentação dos níveis adjacentes ao nível da osteotomia de L3.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foi um estudo retrospectivo, de corte transversal, onde foram avaliados os prontuários e as radiografias panorâmicas em AP e Perfil, realizado no pré e pós-operatório com dois meses de evolução e na última avaliação do ambulatório, de nove pacientes operados de outubro de 2004 a outubro de 2009. Todos os pacientes mantiveram acompanhamento ambulatorial no pós-operatório.

Dados do prontuário como: sangramento, durotomia, lesão neurológica, tempo cirúrgico, infecção da ferida cirúrgica, falha da síntese e consolidação da osteotomia foram analisados. Todos os pacientes do estudo foram operados pela mesma equipe cirúrgica. O período de acompanhamento mínimo foi de seis meses. Não foi objeto deste estudo avaliação funcional, grau de satisfação bem como avaliação de dor nestes pacientes.

### Dados Demográficos

Os pacientes incluídos foram cinco homens e quatro mulheres com idade média de 39,8 anos (de 20 a 47 anos). Quatro pacientes tinham diagnóstico firmado de espondilite anquilosante, com tempo de diagnóstico médio de 21 anos (de 18 a 23 anos), três pacientes com cifose pós artrodese (dois com haste de Harrington e um com instrumentação pedicular) e um com diagnóstico de pseudohipoparatiroidismo congênito. Todos os pacientes foram operados e acompanhados pela mesma equipe cirúrgica, com tempo médio de acompanhamento pós-operatório de 18 meses.

Todos os pacientes apresentavam cifose mais pronunciada na região tóraco-lombar, todas as osteotomias de subtração pedicular foram realizadas ao nível lombar, sendo sete osteotomias em L3 e 2 em L2.

### Dados Radiológicos

A avaliação radiológica baseia-se na visualização das incidências em perfil panorâmico das radiografias pré e pós-operatórias, com a medição dos ângulos da cifose torácica, lordose lombar pelo método de Cobb e eixo sagital.

As radiografias panorâmicas são realizadas quando o paciente está em extensão máxima dos quadris e joelhos. O eixo sagital é avaliado medindo-se a distância entre uma linha de prumo passando pela borda ântero-superior de C7 e a borda pósterio-superior de S1. Tanto a cifose torácica como a lordose lombar foram avaliadas através do método de Cobb.



**Figura 4.** Radiografia do pós-operatório do paciente 8.



**Figura 5.** Radiografia em perfil com evidência do fechamento da cunha formada pela osteotomia no corpo vertebral de L3.

A mensuração destes parâmetros é de vital importância para avaliar a deformidade da coluna (cifose torácica, lordose lombar), o equilíbrio do centro de gravidade que se reflete na postura global para caminhar ou manter a postura ereta e capacidade de olhar a frente.

### Dados Clínicos

Foram avaliados dados do prontuário para verificação do tempo cirúrgico, sangramento perioperatório, durotomia, lesão neurológica, infecção e pseudartrose. O sangramento operatório foi estimado avaliando-se o conteúdo no recipiente do aspirador e pesando-se as compressas imediatamente ao saírem do campo operatório subtraindo-se o volume de soro utilizado ao longo da cirurgia.

Não foi objeto deste trabalho a avaliação funcional ou o grau de satisfação dos pacientes com o procedimento cirúrgico.

### TÉCNICA CIRÚRGICA

Todos os pacientes foram operados no nível lombar sendo colocados em decúbito ventral, havendo, portanto, o cuidado de manterem as partes proximais e distais da mesa cirúrgica em declinação, para manterem a postura cifótica global do paciente.

Após a incisão da região a ser submetida a artrodese, foi realizada estabilização com parafusos pediculares cefálicos e caudais no sítio da osteotomia com um mínimo de quatro pontos de fixação acima e abaixo da vértebra comprometida (Figura 6). Realiza-se laminectomia ampla para o acesso do espaço epidural e posterior foraminotomia com liberação das raízes nervosas no respectivo nível. Os pedículos são retirados com auxílio de goivas e curetas após o isolamento cuidadoso das raízes nervosas, havendo, portanto, acesso ao osso esponjoso do corpo vertebral que é retirado de modo meticuloso em formato de cunha de base posterior com o auxílio de osteótomos finos e curetas delicadas, em conjunto com as corticais correspondentes bilaterais.

Após a ressecção de toda a cunha óssea do corpo vertebral, é realizada a compressão cuidadosa entre os níveis acima e abaixo da osteotomia, com correção da declinação das partes proximal e distal da mesa cirúrgica, de forma que ocorra o fechamento gradativo da cunha formada. A osteotomia no nível L3 foi realizada em sete pacientes, e no nível L2 em dois pacientes.

Todas as cirurgias com osteotomia lombar tiveram como indicação a incapacidade de olhar a frente, com dificuldade de deambular.

### RESULTADOS

#### Procedimento operatório

Os pacientes apresentavam uma média de idade de 39,8 anos (20-47), sendo cinco homens, e quatro mulheres. A média estimada de perda sanguínea foi de 2.459 ml (1.200-5.100). Todas as cirurgias foram realizadas em um único tempo cirúrgico, com média de 08h10min (5:00-13:00h) (Tabela 1).

#### Complicações

Um paciente sofreu durotomia inadvertida no ato cirúrgico, foi tratado com sutura da duramater (durorrafia) imediata e utilização suplementar de cola de fibrina. Esse paciente recuperou-se bem e não evoluiu com fístula líquórica. Nenhum paciente apresentou lesão neurológica no pós-operatório. Dois pacientes apresentaram infecção da ferida operatória, um deles com consequente pseudartrose, requerendo retirada do implante após vários procedimentos para cura da infecção (Tabela 2).

Tabela 1. Características demográficas.

| Paciente | Idade | Tempo Cirúrgico | Sangramento | Nível Osteotomia |
|----------|-------|-----------------|-------------|------------------|
| 1        | 42    | 05h00min        | 1.750       | L3               |
| 2        | 41    | 08h40min        | 3.500       | L3               |
| 3        | 44    | 07h00min        | 3.800       | L3               |
| 4        | 40    | 13h00min        | 2.200       | L3               |
| 5        | 20    | 09h00min        | 1.800       | L3               |
| 6        | 46    | 10h00min        | 1.300       | L2               |
| 7        | 42    | 08h30min        | 5.000       | L2               |
| 8        | 36    | 06h30min        | 1.200       | L3               |
| 9        | 47    | 06h00min        | 1.480       | L3               |
| Média    | 39,8  | 08h10min        | 2.460       |                  |

Tabela 2. Complicações clínicas.

| Paciente | Durotomia | Lesão neurológica | Infecção da ferida | Pseudartrose |
|----------|-----------|-------------------|--------------------|--------------|
| 1        | Não       | Não               | Não                | Não          |
| 2        | Não       | Não               | Sim                | Sim          |
| 3        | Não       | Não               | Não                | Não          |
| 4        | Não       | Não               | Não                | Não          |
| 5        | Sim       | Não               | Sim                | Não          |
| 6        | Não       | Não               | Não                | Não          |
| 7        | Não       | Não               | Não                | Não          |
| 8        | Não       | Não               | Não                | Não          |
| 9        | Não       | Não               | Não                | Não          |

### Radiográficos

Houve aumento médio de 14,6 para 44,7 graus na lordose lombar após osteotomia nos pacientes. A cifose torácica sofreu pequeno aumento de 44,7 para 48,2 graus. Na avaliação do equilíbrio sagital houve melhora deste parâmetro com redução da distância da linha de prumo de 13,7 para 5,4 cm (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3. Análise radiográfica no pré-operatório.

| Paciente | Lordose | Cifose | DS   |
|----------|---------|--------|------|
| 1        | 18      | 60     | 10,5 |
| 2        | 20      | 90     | 21,5 |
| 3        | 38      | 68     | 8,5  |
| 4        | 22      | 12     | 8,0  |
| 5        | 05      | 40     | 18   |
| 6        | -5      | 13     | 6,5  |
| 7        | 10      | 22     | 10,2 |
| 8        | 14      | 38     | 18,5 |
| 9        | 10      | 60     | 21,7 |
| Média    | 14,6    | 44,8   | 13,7 |

DS- desequilíbrio sagital de C7.

Tabela 4. Análise radiográfica no pós-operatório.

| Paciente | Lordose | Cifose | DS  |
|----------|---------|--------|-----|
| 1        | 42      | 56     | 7,5 |
| 2        | 24      | 85     | 20  |
| 3        | 62      | 63     | 2,5 |
| 4        | 46      | 15     | 2,0 |
| 5        | 30      | 32     | 5,5 |
| 6        | 47      | 35     | 2,0 |
| 7        | 50      | 54     | 1,0 |
| 8        | 50      | 32     | 2,0 |
| 9        | 52      | 62     | 6,5 |
| Média    | 44,7    | 48,2   | 5,4 |

DS- desequilíbrio sagital de C7.

## DISCUSSÃO

O propósito deste estudo foi avaliar os resultados radiográficos e as complicações clínicas de nove pacientes submetidos à técnica de osteotomia de subtração pedicular.

Nós optamos por realizar as osteotomias nos corpos vertebrais de L3 e L2 por estarem no ápice da deformidade lordótica e tentarmos evitar complicações vasculares mais comuns acima de L2 e lesões neurológicas relacionadas com o estiramento radicular, comum abaixo de L3<sup>7,8</sup>.

O procedimento estudado apresentou sangramento médio importante de 2.459 ml variando de 1.200 ml a 5.100 ml estando muito próximo do que é encontrado na literatura<sup>2,7,9</sup>. O volume de sangramento deve ter contribuição do longo tempo cirúrgico como vemos ao avaliar os pacientes 1, 8 e 9 (Tabela 1) que respondem por três dos quatro menores volumes de sangramento, contudo, podemos perceber que após determinado período de cirurgia (7 a 8 horas) esta relação não é bem estabelecida, pois os três pacientes com os maiores tempos cirúrgicos (4, 5 e 6) não apresentaram as maiores perdas sanguíneas, nos fazendo refletir que fatores com dificuldade técnica intra-operatória, condição clínica do paciente ou mesmo fatores que desencadearam a perda do equilíbrio sagital podem ter igual ou maior relevância que o tempo de duração da cirurgia.

Houve melhora na lordose lombar entorno de 30 graus, valor este próximo ao encontrado na literatura (30 a 50)<sup>1,2,3,8</sup>, (Figura 4) mesmo em consideração que houve um caso de infecção com retirada do material e perda considerável dos ganhos angulares

já obtidos (paciente 2). As avaliações das curvas em cifose não apresentaram melhora importante, tendo números estáveis, o mesmo observado por Bridwell, et al.<sup>2</sup>

O equilíbrio sagital sofreu redução importante com a técnica da osteotomia de subtração pedicular (60%) tal como encontrado em diferentes artigos sobre o tema<sup>1-4</sup>, mesmo sendo este o fator que mais sofreu interferência pela perda dos ganhos angulares do paciente 2. Deve-se observar que como nossa amostra de pacientes é pequena, qualquer perda ou ganho importante nos valores angulares, mesmo que seja em único paciente, pode interferir significativamente nos valores médios.

As complicações clínicas ocorridas, um caso de durotomia e dois casos de infecção podem ser considerados como relativamente comuns em cirurgias de alta complexidade e longo tempo de duração, observando-se que apenas um desses pacientes evoluiu desfavoravelmente com infecção refratária ao tratamento clínico e desbridamentos subseqüentes, tendo havido por fim a necessidade de retirada da instrumentação pedicular, com conseqüente pseudartrose e perda dos parâmetros obtidos.

## CONCLUSÃO

A osteotomia de subtração pedicular mostrou ser um recurso valioso para a melhora clínica e radiográfica do equilíbrio sagital e da lordose lombar com poucas complicações graves ocorridas em nossos pacientes, necessitando, contudo, de uma maior casuística e maior tempo de seguimento para que exista melhor entendimento da evolução desses pacientes.

## REFERÊNCIAS

1. Buchowski JM, Bridwell KH, Lenke LG, Kuhns CA, Lehman RA, Kim YJ. Neurologic complications of lumbar pedicle subtraction osteotomy. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007;32(20):2245-52.
2. Bridwell KH, Lewis SJ, Lenke LG, Baldus C, Blanke K. Pedicle subtraction osteotomy for the treatment of fixed sagittal imbalance. *J Bone Joint Surg Am*. 2003;85(3):454-63.
3. 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(25):E973-9.
4. Kim KT, Suk KS, Cho YJ, Hong GP, Park BJ. Clinical outcome results of pedicle subtraction osteotomy in ankylosing spondylitis with kyphotic deformity. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2002;27(6):612-8.
5. Chang KW, Chen YY, Lin CC, Hsu HL, Pai KC. Closing wedge osteotomy versus opening wedge osteotomy in ankylosing spondylitis with thoracolumbar kyphotic deformity. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2005;30(14):1584-93.
6. Cho KJ, Bridwell KH, Lenke LG, Berra A, Baldus C. Comparison of Smith-Petersen versus pedicle subtraction osteotomy for the correction of fixed sagittal imbalance. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2005;30(18):2030-7.
7. Bridwell KH, Lewis SJ, Edwards C, Lenke LG, Iffrig TM, Berra A, et al. Complications and outcomes of pedicle subtraction osteotomies for fixed sagittal imbalance. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2003;28(18):2093-101.
8. Kim YJ, Bridwell KH, Lenke LG, Cheh G, Baldus C. Results of lumbar pedicle subtraction osteotomies for fixed sagittal imbalance. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007;32(20):2189-97.
9. Murrey DB, Brigham CD, Kiebzak GM, Finger F, Cheung SJ. Transpedicular decompression and pedicle subtraction osteotomy (Eggshell procedure). *Spine (Phila Pa 1976)*. 2002;27(21):2338-45.