

ÖZGÜN ARAŞTIRMA

Dejeneratif Lomber Hastalıklarda Uygulanan Spinal Enstrümantasyon Sonrası Gelişen Komşu Segment Dejenerasyonu: İnsidans ve Risk Faktörleri

Mehmet Emin AKYÜZ¹, Mustafa Nevzat FİRİDİN²

¹ Siirt Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Beyin ve Sinir Cerrahi Kliniği, Siirt.

² Siirt Üniversitesi Tıp Fakültesi, Beyin ve Sinir Cerrahi Anabilim Dalı, Siirt.

ÖZET

Posterior spinal enstrümantasyon, dejeneratif omurga patolojilerinin tedavisi için oldukça yaygın uygulanan cerrahi bir prosedürdür. Spinal enstrümantasyon sonrası komşu segment dejenerasyonu (KSD) gelişimi önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmanın amacı KSD gelişimi için risk faktörlerinin değerlendirilmesidir. Bu çalışmada posterior segmental enstrümantasyon uygulanan ve cerrahi işlemi üzerinden 4 yıldan fazla geçen 126 hasta retrospektif olarak incelenmiştir. Bu hastalar KSD ve n-KSD olarak iki gruba ayrılmıştır. İki grubun hasta karakteristikleri, preoperatif ve postoperatif radyolojik parametreleri ve cerrahi farklılıkları karşılaştırılarak KSD gelişimi için prediktif faktörler ortaya konulmaya çalışıldı. Çalışmaya dahil edilen hastaların on beşinde (%11.9) KSD geliştiği görüldü. Her iki grup arasında cinsiyet, diyabetes mellitus, sigara kullanımı ve osteoporoz açısından anlamlı farklılık yok idi ($p>0.05$). Lojistik regresyon analizine göre preoperatif yüksek vücut kitle indeksi, preoperatif komşu segmentteki faset dejenerasyonu varlığı, postoperatif lomber lordozda azalma ve 4 seviyeden daha fazla posterior enstrüman uygulanması KSD gelişimi için bağımsız risk faktörleridir. Spinal enstrümantasyon cerrahisi öncesi yukarıda bahsedilen risk faktörlerinin bilinmesi, cerrahi açıdan daha uygun sonuçlar alınabilmesi için önlem almaya imkan tanımaktadır. Hastaların ve işlemi uygulayacak cerrahların modifiye edilebilecek risk faktörleri açısından gerekli önlemleri almaları uzun dönem komplikasyonları azaltabileceğini düşünmekteyiz.

Anahtar Kelimeler: Komşu segment dejenerasyonu. Füzyon cerrahisi. Lomber omurga.

Adjacent Segment Degeneration Following Spinal Fusion for Degenerative Lumbar Disease: Incidence and Risk Factors

ABSTRACT

Posterior spinal instrumentation is a fairly common surgical procedure for the treatment of degenerative spine pathologies. The development of adjacent segment degeneration (ASD) after spinal instrumentation is an important problem. The aim of this study is to evaluate the risk factors for the development of ASD. In this study, 126 patients who underwent posterior segmental instrumentation and who had undergone surgery for more than 4 years were reviewed retrospectively. These patients were divided into two groups as ASD and non-ASD. By comparing the patient characteristics, preoperative and postoperative radiological parameters and surgical differences of the two groups, predictive factors for the development of ASD were tried to be revealed. Fifteen of the patients (11.9%) included in the study had ASD. There was no significant difference between the two groups in terms of gender, diabetes mellitus, smoking and osteoporosis ($p>0.05$). According to logistic regression analysis, preoperative high body mass index, presence of facet degeneration in the preoperative adjacent segment, decrease in postoperative lumbar lordosis, and posterior instrumentation of more than 4 levels are independent risk factors for the development of ASD. Knowing the above-mentioned risk factors before spinal instrumentation surgery allows taking precautions to obtain more appropriate surgical results. We think that taking the necessary precautions in terms of risk factors that can be modified by the patients and the surgeons who will perform the procedure can reduce long-term complications.

Key Words: Adjacent segment degeneration. Fusion surgery. Lumbar spine.

Geliş Tarihi: 13.Haziran.2022

Kabul Tarihi: 01.Ağustos.2022

Dr. Mehmet Emin AKYÜZ
Siirt Eğitim ve Araştırma Hastanesi,
Beyin ve Sinir Cerrahi Kliniği,
Siirt.
Tel: 0531 495 12 98
E-posta: mehmeteminyuz25@gmail.com

Yazarların ORCID Bilgileri:

Mehmet Emin AKYÜZ: 0000-0003-0626-3509
Mustafa Nevzat FİRİDİN: 0000-0002-0927-8848

Spinal enstrümantasyon cerrahisi dejeneratif deformiteleride içeren bir çok spinal patolojinin tedavisinde uygulanmaktadır¹. Posterior füzyon için transpediküler posterior enstrümantasyon yapılması dejeneratif spinal hastalıklarda standart tedavi yöntemidir³. Spinal enstrümantasyon stabiliteyi sağlasada, spinal kolonun normal biyomekanikini bozduğu için füze edilmemiş komşu segmentte dejenerasyonu hızlandırmaktadır⁶. Komşu segmentte spondilolistezis, kanal stenozu, disk herniasyonu, disk yükseklik kaybı, osteofit formasyonu ve skolyoz gibi çeşitli patolojiler gelişebilir⁹. Yapılan çalışmalarda

komşu segment dejenerasyonunun (KSD) % 5.2-18.5 arasında geliştiği rapor edilmiştir ve bir çok çalışma muhtemel risk faktörlerini ortaya koymaya çalışmıştır⁸. En önemli risk faktörleri; yaş, cinsiyet, vücut kitle indeksi (VKİ), sigara içimi, osteoporoz, komşu segmentte önceden var olan dejenerasyon, sagittal imbalans, rijit fiksasyon ve enstrümantasyonun uzunluğu olarak rapor edilmiştir¹⁴. Bu çalışmaların metodolojik farklılıklar içermesi, takip sürelerinin farklı olması ve genellikle retrospektif gözlem ile sonuç çıkarılmaya çalışılması nedeni ile sonuçlar arasında tutarsızlıklar mevcuttur.

Bu çalışmada amacımız posterior segmental enstrümantasyon uygulanan ve komşu segment dejenerasyonu gelişmesi sonucu polikliniğimize müracaat eden hastalarda, preoperatif görüntüleme yöntemlerine ve medikal kayıtlarına ulaşılarak en önemli risk faktörlerini objektif olarak değerlendirmek olmuştur.

Gereç ve Yöntem

Bu çalışma Sağlık Bakanlığı Siirt Eğitim ve Araştırma Hastanesi Beyin ve Sinir Cerrahi polikliniğine 2020 Aralık ve 2022 Şubat ayları arasında müracaat eden lomber posterior enstrümantasyon uygulanan hastaların medikal kayıtlarının retrospektif incelenmesi ile yapılmıştır. Üniversitemiz etik kurulundan alınan, 2022/05.07 karar sayılı etik kurul onayı ile çalışma başlatılmıştır.

Cerrahi yapılmasının üzerinden 4 yıldan daha fazla zaman geçmiş hastalar çalışmaya dahil edildi. Dejeneratif spondilolistezis, spinal stenoz, disk herniasyonu ve dejeneratif skolyoz için posterior lomber enstrümantasyon uygulanan hastalar çalışmaya dahil edildi.

Hastaların preoperatif, erken postoperatif ve son müracaat vizitindeki anteroposterior ve lateral X-ray grafileri, preoperatif ve son vizitindeki magnetik rezonans görüntüleme (MRG) ve bilgisayarlı tomografi (BT) görüntülemeleri incelendi.

Travma, tümör, enfeksiyon ve lomber cerrahi öykü gibi non-dejeneratif spinal patolojiler için enstrümantasyon uygulanan hastalar çalışmaya dahil edilmedi. Komşu segment dejenerasyonu için radyolojik kriterler şu şekilde belirlendi; disk yüksekliğinde %20'den fazla çökmesi, 4mm'den daha fazlaolistezis olması, lateral fleksiyon ve ekstansiyon radyografilerde 10⁰'den fazla segmental instabilite izlenmesi, takip MR'larında komşu segmentte disk hernisi veya kanal darlığı tespit edilmesi.

Lomber lordotik açı, S1 sagittal slop açısı, L1-S1 sagittal plump çizgisi ve komşu segmentteki disk yüksekliği ilk cerrahiden önce ve son başvuru esnasında çekilen radyografilerde her iki grup (KSD olan ve olmayan) için ölçüldü (Şekil 1). Preoperatif

komşu segmentteki disk dejenerasyonu Pfirrmann sınıflandırmasına göre değerlendirildi¹³.



Şekil 1:

Lomber direkt grafilerde radyolojik parametrelerin ölçüm yöntemleri; A; Lomber lordotik açı, B; S1 sagittal slop, C; L1-S1 sagittal plump line

Son başvuru muayenesinde KSD olup olmamasına göre hastalar iki gruba ayrıldı; KSD grup ve non-KSD grup. KSD gelişimi için risk faktörü olabilecek yaş, sigara kullanımı, vücut kitle indeksi (VKİ), osteoporoz, diyabetes mellitus (DM), komşu faset eklemlerde preoperatif dejenerasyon varlığı ve füzyon uzunluğu her iki grup için kıyaslandı.

İstatistiksel Analiz

İstatistiki analizler istatistik programı kullanılarak yapıldı (SPSS, versiyon 21.0, Chicago, ABD). Verilerin normal dağılımı Shapiro-Wilk testi ile değerlendirildi. Normal dağılım gösteren kantitatif veriler bağımsız t testi, kategorik veriler χ^2 testi ile kıyaslandı. Normal dağılım göstermeyen verilerin kıyaslanması için Mann-Whitney U testi kullanıldı. KSD ile ilişkili olabilecek değişkenlerin tespiti için lojistik regresyon analizi yapıldı. Odds oranının (OO) güven aralığı %95 olarak belirlendi. P<0.05 istatistiki olarak anlamlı kabul edildi.

Bulgular

Bu çalışmaya polikliniği peş peşe müracaat eden 126 spinal enstrümantasyonlu hasta dahil edildi, bu hastaların 60'ı kadın (%48), 66'sı erkek (%52) idi. On beş hastada (%11.9) KSD tespit edildi. Cerrahi esnasında ki yaş ortalaması KSD grup için 63±4.2 yıl, n-KSD grup için 62.3±3.9 yıl idi ve iki grup arasında anlamlı farklılık yok idi (p=0.67) (Tablo I).

Ortalama takip süresi KSD ve n-KSD grup için sırasıyla 55±2.3, 52±3.4 aydı, anlamlı fark yok idi (p=0.78). KSD grubunda radyolojik grafilerde en sık tespit edilen patolojiler spondilolistezis ve spinal darlıktı, en sık klinik yakınmada progresif sırt ağrısı idi.

İki grup arasında cinsiyet, sigara içimi, DM ve osteoporoz açısından anlamlı istatistiki fark yok idi. VKİ; KSD grupta ortalama 27.8±4.2 kg/m², n-KSD grubunda 23.15±3.7 kg/m² idi ve istatistiki olarak anlamlı derecede farklı idi (p=0.03) (Tablo II).

Komşu Segment Dejenerasyonu Risk Faktörleri

Tablo I. Değişkenlerin tanımlayıcı özellikleri (osteoporoz kemik dansitometri ölçümünde L1-4 vertebralardan herhangi birinden elde edilen T değerinin 2.5 altında olması sonucunda karar verildi)

Değişken		Sıklık	Sıklık yüzdesi (%)
Cinsiyet	Erkek/Kadın	66/60	52/48
KSD	Evet/Hayır	15/111	11.9/88.1
Enstrümantasyon uzunluğu	<4 >4	70/56	55.5/44.5
Sigara kullanımı	Evet/Hayır	41/85	32.5/67.5
DM	Evet/Hayır	29/97	23/77
Komşu faset eklem dejenerasyonu (Pfirrmann klasifikasyonu)	<3 >3	82/44	65/35
Osteoporoz	Evet/Hayır	39/87	30.9/69.1

Tablo II. Komşu segment dejenerasyonu olan hastalarda tespit edilen radyolojik patoloji ve klinik prezentasyon bulguları

Değişken		Sıklık	Sıklık yüzdesi (%)
KSD tipi	Belirgin disk hemiasyonu	3	20
	Spinal stenoz	5	33
	Disk mesafesinde daralma	2	14
	spondilolistezis	5	33
Klinik müracaat semptomları	Progresif sırt ağrısı	8	53
	Radkülüpati	5	33
	Parestezi	2	14

Radyolojik tetkik sonuçları incelendiğinde iki grup arasında preoperatif S1slop açısı ve postoperatif L1-S1 sagittal plump çizgisi açısından anlamlı farklılık yok idi. Preoperatif ve postoperatif lomber lordotik açı, preoperatif L1-S1 sagittal plump çizgisi ve preoperatif komşu faset dejenerasyon varlığı açısından anlamlı farklılık tespit edildi. Dört seviyeden daha fazla enstrümantasyon uygulanan hastalarda KSD daha fazla tespit edildi (Tablo III).

Tablo III. Kategorik değişkenlerin iki grup arasında kıyaslanması (*=istatistiki olarak anlamlı)

Değişken		KSD		P değeri
		Evet (n)	Hayır (n)	
Cinsiyet	Erkek/Kadın	8/7	58/53	0.450
Enstrümantasyon seviye uzunluğu	<4 >4	4/11	66/45	<0.001*
Sigara kullanımı	Evet/Hayır	6/9	35/76	0.18
DM	Evet/Hayır	3/12	26/85	0.085
Komşu disk dejenerasyonu (Pfirrmann sınıflaması)	<3 >3	6/9	76/35	0.001*
Osteoporoz	Evet/Hayır	5/10	34/77	0.798

Lojistik regresyon analizine göre preoperatif VKİ (OO 1.243, p = 0.005), preoperatif komşu segment disk dejenerasyonu (OO 1.043, p=0.034), postoperatif azalmış lomber lordoz (OO 2.080, p = 0.021) ve 4 seviyeden daha fazla enstrümantasyon (OA 4.380, p = 0.017) komşu segment gelişimi için bağımsız risk faktörleridir (Tablo IV).

Tablo IV. Kantitatif değişkenlerin iki grup arasında kıyaslanması (*=istatistiki olarak anlamlı)

	KSD		P değeri
	Evet (ortalama±SD)	Hayır (ortalama±SD)	
Yaş	63±4.2	62.3±3.9	0.67
Takip süresi (ay)	55±2.3	52±3.4	0.78
VKİ (kg/m ²)	27.8±4.2	23.15±3.7	0.03*
Preoperatif lomber lordoz	31.26±10.2	40.42±1.2	0.02*
Postoperatif lomber lordoz	31.25±10.2	39.82±24	0.03*
Preoperatif L1-S1 sagittal plump çizgisi (mm)	22.13±9.4	15.43±9.2	0.04*
Postoperatif L1-S1 plump çizgisi (mm)	19.34±7.1	14.323.9	0.08
Preoperatif S1 sagittal slop açısı	35.32±13.8	37.15±11.8	0.28

Tartışma ve Sonuç

Posterior lomber laminektomi ve füzyon dejeneratif spinal patolojilerin tedavisi için oldukça yaygın kullanılan ve standartlaşmış bir tedavi modalitesidir⁴. Spinal enstrümantasyon sonrası implant başarısızlığı, psödoartroz, yüksek reoperasyon sayısı, spinal sagittal imbalans ve komşu segment dejenerasyonu gibi bir çok komplikasyon gelişebilmektedir¹⁹.

Komşu segment dejenerasyonu spinal füzyon cerrahisinin önemli bir komplikasyonu olarak karşımıza çıkmaktadır ve birçok defa revizyon cerrahisine sebep olmaktadır. Komşu segmentteki dejenerasyon normal yaşlanmanın bir sonucu olarak ilerlese, spinal füzyon sonrası komşu segmentte meydana gelen anormal stres bu süreci hızlandırmaktadır¹⁷. Yapılan biyomekanik araştırmalar spinal enstrümantasyon sonrası proksimal komşu segmentin mobilitesinin önemli miktarda arttığını göstermiştir².

Literatür incelendiğinde KSD insidansının % 5.2-100 gibi geniş ve tutarsız bir oranda geliştiği rapor edilmiştir¹². Bizim çalışmamızda ortalama 4 yıl takip sonunda %11.9 oranında KSD geliştiğini tespit ettik. Sonuçların farklı çıkmasına her kliniğin kendi serisini rapor etmesi ve bu durumun subjektif değerlendirmeye sebep olması ve KSD tanısı için radyolojik kriterlerin seçiminde farklı değerlendirme kriterleri kullanılmasının sebep olduğu düşünülmektedir. Kim ve ark. yaptıkları çalışmada KSD tanısı için lateral grafide komşu segmentte 4

mm'den fazla yer değiştirme olması, disk yükseklik kaybının %10'dan fazla olması ve dinamik direkt grafilerde 10⁰'den fazla hareketlenme olmasını kabul etmişlerdir ve KSD gelişim oranını %16 olarak raporlamışlardır⁸, Ghasemi ve ark. yaptıkları çalışmada radyolojik kriter olarak lateral direkt grafide komşu segmentte 3 mm'den fazla yer değiştirme olması, disk yükseklik kaybının %20'den fazla olması ve dinamik grafilerde 15⁰'den fazla hareketlenme olması olarak kabul etmişlerdir ve KSD gelişim oranlarını % 3 olarak raporlamışlardır⁶.

Önemli sayıda çalışma yapılmış olmasına rağmen KSD gelişimi için kesin sebepler ortaya konulamamıştır, ancak komşu segmentte artan faset yüklenmesi, intradiskal basıncın artması ve komşu segmentteki hipermobilitenin KSD gelişimi için anahtar rol oynadığı düşünülmektedir¹⁰. Weinhoffer ve ark. yaptıkları çalışmada füzyon sonrası komşu segmentte fleksiyon hareketinin ve intradiskal basıncın arttığını göstermişlerdir¹². Umehara ve ark. lomber füzyon sonrası posterior kolonun yük taşınma noktasının komşu segmente kaydığını göstermişlerdir¹⁶.

Komşu segment dejenerasyonunun dejeneratif bir sürecin devamını yoksa biyomekanik değişikliklerin bir sonucunu olduğu konusunda fikir birliği yoktur. Yapılan çalışmalarda ileri yaşın rölatif olarak kötü prognoz ile ilişkili olduğu belirtilmiştir. Yaşlı hastalarda osteoporoz varlığı, dejeneratif sürecin başlamış olması ve biyomekanik değişikliklere adaptasyonun daha zor olmasının KSD gelişimi için artmış risk oluşturduğu düşünülmektedir¹. Park ve ark. yaptıkları çalışmada ileri yaşın KSD gelişimi için risk faktörü olduğunu belirtmektedirler¹², ancak ileri yaşın bağımsız risk faktörü olmadığını raporlayan çalışmalarda mevcuttur¹⁵. Biz çalışmamızda ileri yaşın KSD gelişimi için risk faktörü olmadığını tespit ettik. Liang ve ark. artmış VKİ, preoperatif komşu segmentte dejenerasyon varlığının ve komşu disk mesafesinde bulging varlığının KSD gelişimi için risk faktörü olduğunu belirtmişlerdir¹¹. Bizde yaptığımız çalışmada benzer şekilde artmış VKİ ve komşu faset eklemlerde dejenerasyon varlığının KSD gelişimi için risk faktörü olduğunu gördük.

Posterior füzyon cerrahisinden sonra sagittal balansın önemi birçok çalışmada gösterilmiştir. Ekman ve ark. kifotik lomber füzyonun komşu segmentte dejeneratif değişikliklere sebep olduğunu göstermişlerdir⁵. Postoperatif sagittal imbalans ve uzun seviye enstrümantasyon KSD gelişimi için çok önemli risk faktörleridir. Uzun seviye enstrümantasyon sonucu komşu segmente aşırı yük binmesi ve uzun seviye füze segmentin telafi edici kapasitesindeki sınırlamanın KSD gelişimine zemin hazırladığı düşünülmektedir¹⁸. Nagata ve ark. enstrümantasyon seviyesinin artmasıyla komşu segment mobilizasyonunun arttığını raporlamıştır⁷, ancak Soh

ve ark. enstrümantasyon uzunluğu ile KSD arasında belirgin bir ilişki olmadığını rapor etmişlerdir¹⁵. Bizde çalışmamızda 4 seviyeden fazla enstrümantasyon uygulanmasının KSD gelişimi için risk oluşturduğunu gördük.

Yapılan çalışma göreceli olarak az sayıda hasta ile retrospektif olarak yapılmıştır, sonuçların daha anlamlı olabilmesi için daha geniş katımlı ve kriterleri çalışmanın başlangıcından belirlenecek prospektif bir çalışmanın daha uygun olacağını düşünmekteyiz.

Sonuç olarak; preoperatif disk dejenerasyonu, yüksek VKİ, postoperatif lomber lordozda azalma ve 4 seviyeden daha fazla spinal enstrümantasyon KSD gelişmesi için bağımsız risk faktörleridir. Spinal enstrümantasyon cerrahisi öncesi bahsedilen risk faktörlerine göre KSD gelişebileceği hakkında hastalara bilgi verilmelidir. Cerrahiden önce ve sonra kilo vermek KSD gelişimi için önleyici olabilir. Spinal biyomekanik normalde yakın devam edebilmesi ve sagittal balansın korunabilmesi ve dolayısı ile KSD gelişim riskini azaltabilmek için intraoperatif lomber lordoz restorasyonun uygun şekilde yapılması önem arz etmektedir.

Etik Kurul Onay Bilgisi:

Onaylayan Kurul: Siirt Üniversitesi, Tıp Fakültesi

Onay Tarihi: 31.05.2022

Karar No: 2022/05.07

Araştırmacı Katkı Beyanı:

Fikir ve tasarım: M.E.A. M.N.F.; Veri toplama ve işleme: M.E.A. M.N.F.; Analiz ve verilerin yorumlanması: M.E.A.; Makalenin önemli bölümlerinin yazılması: M.E.A.

Destek ve Teşekkür Beyanı:

Bu makalenin hazırlanmasında finansal destek kullanılmamıştır. Teşekkür edeceğimiz kimse yoktur.

Çıkar Çatışması Beyanı:

Makale yazarlarının çıkar çatışması beyanı yoktur.

Kaynaklar

1. Ahn DK, Park HS, Choi DJ, Kim KS, Yang SJ: Survival and prognostic analysis of adjacent segments after spinal fusion. *Clinics in Orthopedic Surgery* 2:140-147, 2010
2. Akamaru T, Kawahara N, Yoon ST, Minamide A, Kim KS, Tomita K, Hutton WC: Adjacent segment motion after a simulated lumbar fusion in different sagittal alignments: a biomechanical analysis. *Spine* 28:1560-1566, 2003
3. Alentado VJ, Lubelski D, Healy AT, Orr RD, Steinmetz MP, Benzel EC, Mroz TE: Predisposing characteristics of adjacent segment disease after lumbar fusion. *Spine* 41:1167-1172, 2016
4. Chen B-L, Wei F-X, Ueyama K, Xie D-H, Sannohe A, Liu S-Y: Adjacent segment degeneration after single-segment PLIF: the risk factor for degeneration and its impact on clinical outcomes. *European Spine Journal* 20:1946-1950, 2011
5. Ekman P, Möller H, Shalabi A, Yu YX, Hedlund R: A prospective randomised study on the long-term effect of lumbar fusion on adjacent disc degeneration. *European spine journal* 18:1175-1186, 2009

Komşu Segment Dejenerasyonu Risk Faktörleri

6. Ghasemi AA: Adjacent segment degeneration after posterior lumbar fusion: An analysis of possible risk factors. *Clinical Neurology and Neurosurgery* 143:15-18, 2016
7. Hashimoto K, Aizawa T, Kanno H, Itoi E: Adjacent segment degeneration after fusion spinal surgery—a systematic review. *International orthopaedics* 43:987-993, 2019
8. Kim JY, Paik HK, Ahn SS, Kang MS, Kim KH, Park JY, Chin DK, Kim KS, Cho YE, Kuh SU: Paraspinal muscle, facet joint, and disc problems: risk factors for adjacent segment degeneration after lumbar fusion. *The Spine Journal* 16:867-875, 2016
9. Lawrence BD, Wang J, Arnold PM, Hermsmeyer J, Norvell DC, Brodke DS: Predicting the risk of adjacent segment pathology after lumbar fusion: a systematic review. *Spine* 37:S123-S132, 2012
10. Lee CS, Hwang CJ, Lee S-W, Ahn Y-J, Kim Y-T, Lee D-H, Lee MY: Risk factors for adjacent segment disease after lumbar fusion. *European spine journal* 18:1637-1643, 2009
11. Liang J, Dong Y, Zhao H: Risk factors for predicting symptomatic adjacent segment degeneration requiring surgery in patients after posterior lumbar fusion. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research* 9:1-6, 2014
12. Park P, Garton HJ, Gala VC, Hoff JT, McGillicuddy JE: Adjacent segment disease after lumbar or lumbosacral fusion: review of the literature. *Spine* 29:1938-1944, 2004
13. Pfirrmann CW, Metzdorf A, Zanetti M, Hodler J, Boos N: Magnetic resonance classification of lumbar intervertebral disc degeneration. *Spine (Phila Pa 1976)* 26:1873-1878, 2001
14. Scemama C, Magrino B, Gillet P, Guigui P: Risk of adjacent-segment disease requiring surgery after short lumbar fusion: results of the French Spine Surgery Society Series. *Journal of Neurosurgery: Spine* 25:46-51, 2016
15. Soh J, Lee JC, Shin BJ: Analysis of risk factors for adjacent segment degeneration occurring more than 5 years after fusion with pedicle screw fixation for degenerative lumbar spine. *Asian Spine Journal* 7:273, 2013
16. Umehara S, Zindrick MR, Patwardhan AG, Havey RM, Vrbos LA, Knight GW, Miyano S, Kirincic M, Kaneda K, Lorenz MA: The biomechanical effect of postoperative hypolordosis in instrumented lumbar fusion on instrumented and adjacent spinal segments. *Spine* 25:1617-1624, 2000
17. Untch C, Liu Q, Hart R: Segmental motion adjacent to an instrumented lumbar fusion: the effect of extension of fusion to the sacrum. *Spine* 29:2376-2381, 2004
18. Wang H, Ma L, Yang D, Wang T, Liu S, Yang S, Ding W: Incidence and risk factors of adjacent segment disease following posterior decompression and instrumented fusion for degenerative lumbar disorders. *Medicine* 96:2017
19. Zhong Z-M, Deviren V, Tay B, Burch S, Berven SH: Adjacent segment disease after instrumented fusion for adult lumbar spondylolisthesis: incidence and risk factors. *Clinical neurology and neurosurgery* 156:29-34, 2017

