

# Perkütan Aksiyel Lomber İnterbody Füzyon (AxiaLİF)

## Percutaneous Axial Lumbar Interbody Fusion (AxiaLIF)

### ÖZ

**AMAÇ:** İnterbody füzyon için L5-S1 disk mesafesine anterior yaklaşım teknik olarak karmaşıktır. L5-S1 interbody füzyon için yeni minimal invazif bir teknik olan AxiaLİF ile ilgili deneyimlerimizi sunmayı amaçladık.

**YÖNTEM ve GEREÇLER:** 11 olgu bu çalışmaya dahil edildi. Bel veya bacak ağrısı lomber dejeneratif disk hastalığı, dejeneratif instabilite veya dejeneratif foraminal stenoza bağlıydı. Tüm hastalarda L5-S1 dejenerasyonunun radyolojik delilleri vardı, perkütan parakoksigeal yaklaşımla kafes ve otogreft veya lokal otogreft ve demineralize kemik matriks ile axial interbody füzyon yapıldı.

**BULGULAR:** Preop VAS 3.4, postop VAS 0.5 di. 10 olguda L5-S1 interbody rodun stabil olduğunun ve yeterli füzyonun oluştuğunun delilleri vardı.

**YORUMLAR:** L5-S1 disk aralığına perkütan parakoksigeal yaklaşım diskektomi ve interbody füzyonun güvenle yapılabildiği minimal invazif bir koridor sağlar.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** AxiaLİF, Enstrümantasyon, Lomber interbody füzyon

### ABSTRACT

**INTRODUCTION:** Anterior access to the L5-S1 disc space for interbody fusion can be technically challenging. We reviewed our experience with a novel minimally invasive technique for L5-S1 interbody fusion which is AxiaLIF.

**METHODS:** 11 patients were included in this analysis. Back or leg pain was secondary to lumbar degenerative disc disease, degenerative instability or degenerative foraminal stenosis. All patients had radiographic evidence of L5-S1 degeneration and underwent percutaneous paracoccygeal AxiaLIF with cage, autograft, or local bone autograft and demineralise bone matrix.

**RESULTS:** Preoperative VAS was 3.4, postoperative VAS was 0.5. Ten patients (91%) had radiographic evidence of stable L5-S1 interbody cage placement and fusion at the last follow-up.

**CONCLUSIONS:** The percutaneous paracoccygeal approach to the L5-S1 interspace provides a minimally invasive corridor through which discectomy and interbody fusion can safely be performed.

**KEY WORDS:** AxiaLif, Instrumentation, Lumbar interbody fusion

Rahmi Kemal KOÇ

Bülent TUCER

Erciyes Üniversitesi Tıp Fakültesi Nöroşirürji  
Anabilim Dalı, Kayseri, Türkiye

Geliş Tarihi : 30.11.2009

Kabul Tarihi : 02.12.2009

Yazışma adresi:

**Rahmi Kemal KOÇ**

E-posta: kocrk@erciyes.edu.tr

## GİRİŞ

Lomber omurgada füzyon gereksinimi olduğunda iki farklı yöntemle yapılabilir; interbody füzyon ve posterior veya posterolateral füzyon.

İnterbody füzyon biyomekanik stabilite ve etki/güvenlik açısından posterolateral füzyondan daha üstündür. İnterbody füzyon işleminde vertebra hareketinin rotasyon merkezine, intervertebral aralığa füzyon konur. İntervertebral aralığa komşu omurga bölgesi oldukça vaskülerdir, greft geniş bir yüzeye konur ve hareketli segmentin yük taşıyan kısmına greft konur.

İnterbody kafes veya benzer aletler omurgayı hemen stabilize eder, disk aralığı yüksekliğini restore eder, normal sagittal dizilimi sağlar, segment aralarında distraksiyonu sağlar, disk aralığının çökmesini önler ve füzyonlaşma oranını artırır.

İnterbody füzyon birkaç teknikle yapılabilir; anterior lomber interbody füzyon (ALIF), aksiyel lomber interbody füzyon (AxiaLİF), posterior lomber interbody füzyon (PLIF), unilateral transforaminal lomber interbody füzyon (TLIF).

Posteriorndan yapılan füzyon cerrahisinde kas ve ligaman disseksiyonu, kasların devaskülarize ve desensitize edilmesi, sinir kökü retraksiyonu, ve kemik yapı alma zorunluluğu, epidural venöz yapıların koagüle edilmesi ve anulusun kesintiye uğraması gibi birçok dezavantaj vardır (9). Üstelik cerrahi yapılan bölgede destabilizasyon ve skar oluşabilir.

Minimal invazif teknikler ile stabilizasyonda amaç füzyonu daha küçük insizyon ve girişler üzerinden, anatomik yapıları koruyarak gerçekleştirmektir. Teknolojideki ilerlemeler ve omurga konusundaki yeni yaklaşım yolları sayesinde minimal invazif omurga cerrahisi son yıllarda gelişme kaydetmiştir. Morbiditeyi azalma ve geleneksel açık cerrahinin sonuçlarını daha iyi hale getirmek isteyen cerrahlar bu gelişmeleri sürüklemektedir.

Lumbosakral omurgada stabilizasyon endike olduğunda, anulusu ve diğer destekleyici yapıları korumak için geliştirilen presakral perkütan AxiaLİF tekniğinde minimal invazif presakral aksiyel giriş yapılarak L5-S1 veya L5-S1 ve L4-5 aralığına enstrüman ve greft yerleştirilerek füzyon amaçlanmaktadır. AxiaLİF (TranS1, INInc., Wilmington, NC) sistemi yeni bir yaklaşım koridoru

ile minimal invazif spinal cerrahi tekniklerin avantajlarını birleştirmiştir. Küçük bir parakoksigeal insizyonla, kasların, ligamanların ve disk anulusunun bütünlüğü korunarak S1 omurga cisminde, L5-S1 disk aralığı ve L5 omurga cisminde yönelen perkütanöz presakral yaklaşım koridoru geliştirilmiştir (2,4,8). Bu bölümde L5-S1 interbody füzyon amacıyla anterior lumbosakral cisme presakral yaklaşım öğelerini içeren minimal invazif cerrahi teknik tanımlandı.

### Presakral Anatomi

Pre-sakral mesafe parietal ve visseral fascia arasındaki bölgedir. Ortalama sagittal çap 1.2 cm dir. Aksiyel anterior spinal girişim sakrumun ön kısmında yaklaşık S1-S2 aralığından osseöz bir yol açılması ile gerçekleştirilir. Orta hattın sakruma giriş noktası alt lomber omurga üzerinde karşılaşılan daha karmaşık damar ve sinir yapılarına kıyasla daha sadedir. Sakral düzeyde, iliak damarlar ve ona eşlik eden sempatik hipogastrik sinirler uzaklaşır. Orta sakral arter sakrum üzerinde oldukça değişken bir yol izler ama genellikle S1-S2 seviyesinde oldukça küçüktür. Rektum ve sigmoid kolon presakral bölgede kolaylıkla hareket ettirilebilir. Presakral boşluk anterior sakrum üzerindeki parietal periton ve rektum üzerindeki visseral periton arasında boşluk yağ ile doludur. Künt bir klavuz kullanarak görece olarak daha kolay bir şekilde boşluğun içinden geçilebilir.

### Avantajları

Posterior yapılarda yaralanma olmaz  
Normal disk yüksekliği tekrar sağlanır  
Normal anatomik dizilimi tekrar sağlanır  
İntervertebral mesafe içine konan kemik grefti bası altında kalır, kemik oluşumunu ve füzyonu artırır

Lomber lordozu sağlar

Kan kaybı ve postop ağrı azdır

### Endikasyonlar

L4/L5-S1 segmentinde füzyon ihtiyacı

Semptomatik dejeneratif disk hastalığı

İnstabilite

Psödoartroz

Spondilolistezis (Grade 1 veya 2)

Başarısız füzyon girişimi

### Kontraendikasyonlar

Koagülopati

Barsak hastalığı (Crohn hastalığı, ülseratif kolit)

Daha önce barsak cerrahisi, pelvik hastalık, perirektal abse

Daha önce anterior pelvik cerrahi (tümör, travma)

Sakral agenezi

İleri spondilolistezis (>Grade 2)

Osteoporoz

Gebelik

Şiddetli skolyoz

### Cerrahi teknik

**Hastanın hazırlanması:** Tüm cerrahi girişimlerde olduğu gibi, ameliyat öncesi titiz planlama başarıyı kolaylaştırır ve riski azaltır. AxiaLİF tekniğinde hastanın uygun bir cerrahi adayı olup olmadığını belirlemek için koksiksi içine alan MR ve BT ile multi-planar görüntüleme, 2 yönlü lumbosakral grafi, fleksiyon-ekstansiyon yan grafi gereklidir. Presakral giriş yönü ve anatomi gözden geçirilir. Standart cerrahi bağırsak hazırlığı yapılır. Gram (-) ve anaerobiklere etkili antibiyotik profilaksisi yapılır.

**Hastaya pozisyon verilmesi:** Cerrahi genel anestezi altında gerçekleştirilmektedir. Hasta floroskopiye uygun bir masaya prone pozisyonda yerleştirilir. Sakrumu yükseltmek ve uygun bir lumbosakral pozisyon elde etmek için kalçaların altına yastıklar yerleştirilir. Perineyi iyi görmek için hastanın kalçaları flaster ile ameliyat masasının yanlarına doğru gerdirilerek yapıştırılır (Şekil 1). Lumbosakral bölgenin AP ve lateral floroskopisine izin verecek şekilde C-kollu skopi ünitesi yerleştirilir. Skopide presakral bölgede büyük hava varsa rektuma bir kateter yerleştirilerek hava boşaltılır.

**Planlama ve cilt kesisi:** Koksiks ve ligamentöz ark palpe edilir. Parakoksigeal çıkıntının sağ veya sol yanının 20 mm kaudalinde orta hat veya orta hattın 5 mm lateralinde deri üzerine 15 mm.lik bir cilt ciltaltı insizyon yapılır. Kelly klemp ile parietal fasiaya kadar ilerlenir. Parietal fasya klemp veya künt rehber ile açılır. Fasyanın uygun şekilde açılmış olduğunu kontrol etmek amacıyla açıklık boyunca künt parmak disseksiyonu yapılır.

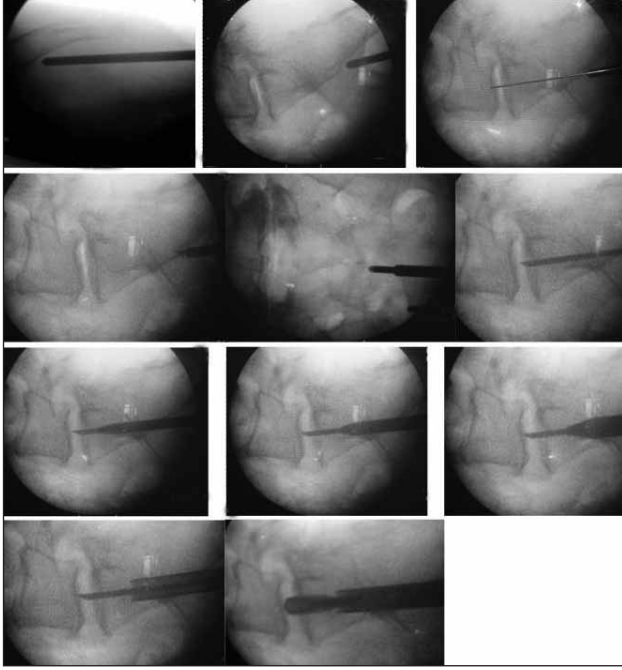


Şekil 1: Hastanın pozisyonu.

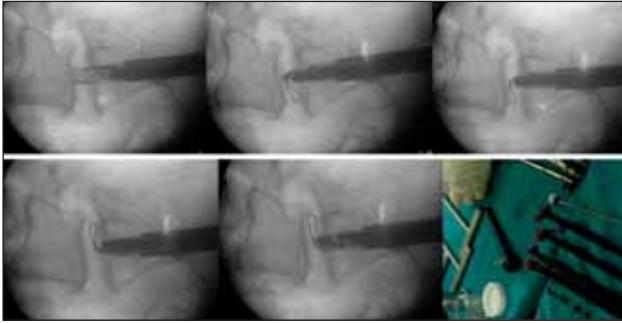
**Kılavuz pin introduseri ve sitilenin presakral ilerletilmesi, sakral giriş, rehber yönlendirme, çalışma kanülü yerleştirilmesi:** Kılavuz pin introduseri ve sitile insizyon içerisine sokulur, yavaş ve kibarca sakrum anterior orta hattı boyunca ilerletilir. İntraduserin kemikle olan sürekli teması elle hissedilir. Sakrumun osseöz tabakasını presakral yağ ve anterior içeriklerinden temizlemek amacıyla ritmik küçük amplitüdü sarkaç hareketi kullanılır. İntraduser presakral bölgede skopi eşliğinde ilerletilerek yaklaşık S1-S2 aralığına yerleşilir. Rehberin doğrultusu yan skopide L5 cismi ortası, ön-arka skopide L5-S1 orta hatta olacak şekilde yönlendirilerek sakruma giriş noktası belirlenir. İntraduserin içindeki stile çıkarılır yerine kılavuz pin konur. kılavuz pin sakrum içerisinden L5-S1 aralığına kadar yönlendirilir. 6 mm'lik dilatör, 8 mm'lik dilatör ve 10 mm'lik dilatörle sakrum içerisinde tunel oluşturulur ve 10 mm sakral çalışma kanülü yerleştirilir. 9 mm'lik matkap ile sakrum drillenerek disk aralığına ulaşılır (Şekil 2).

**Radyal Diskektomi:** Küçük radyal kesici, büyük radyal kesici, küçük radyal yontucu ve büyük radyal yontucu ile diskektomi yapılır, endplate temizlenir, doku ekstraktörleri ile fragmente dokular çıkarılır (Şekil 3).

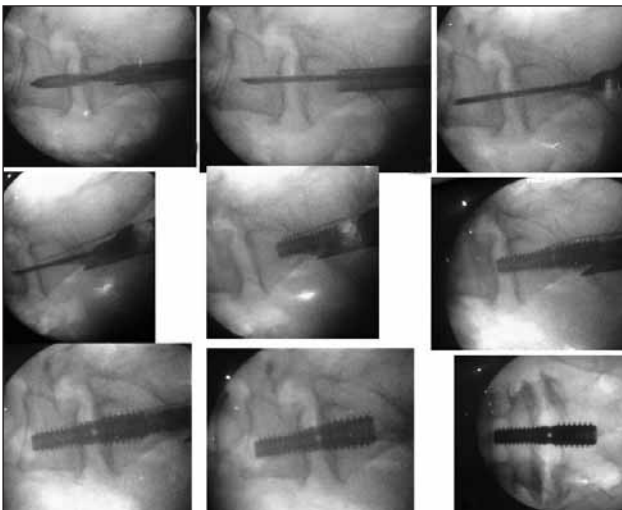
**Füzyon:** İntervertebral yolun oluşturulması sırasında alınan otolog kemik bir kemik büyütücü ve/veya diğer büyüme faktörleri ile karıştırılır veya iliak kanattan alınan kemik ilave edilir. Bu materyal merkezi disk boşluğuna çalışma kanülünden ilerletilen 8 mm kemik grefti yerleştirici ile verilir. Disk aralığı kemik greft ile doldurulduktan sonra L5 omurga cismi üst 2/3 e kadar 7,5 mm'lik matkap ile drillenir. Rehber L5 omurgasında iken çalışma kanülü çıkarılır. Daha geniş 30 veya 45 derece değiştirme kanülü sahaya yerleştirilir (Şekil 4).



Şekil 2: Kılavuz pin introduseri ve sitilenin presakral ilerletilmesi, sakral giriş, rehber yönlendirme, çalışma kanülü yerleştirilmesi.



Şekil 3: Radyal diskektomi.



Şekil 4: Disk aralığına rodun yerleştirilmesi.

**Fiksasyon ve disk yüksekliğinin restorasyonu:** Aksiyel çubuk sürücüsü ile rod yerleştirilerek intervertebral stabilizasyon gerçekleştirilir. Enstrümanlar iki-düzlemli floroskopi ile izlenir. Rod uzunlukları 40, 45, 50, 55, 60 mm dir. Distal dişler proksimal dişlerden daha incedir. Matematiksel distraksiyon miktarı; 9-12 maksimal rod: 6-8 mm, 10-12 medium rod: 4-6 mm, 11-12 minumum rod: 0-3 mm.

Distraksiyon omurlararası yüksekliğin istenildiği şekilde arttırılmasına ve nöral foramenin indirekt olarak dekompresyonuna izin verir. Kemik kalitesi, hareketli segmentin laksitesi, kullanılan rodun uzunluğuna göre distraksiyon miktarı belirlenir.

**Kapatma:** Enstrümantasyon tamamlandıktan sonra erişim kanülü çıkarılır, cilt subkütan kapatılır ve bölge steril örtülür.

**Postop izlem:** Genellikle ameliyat sonrası çok az ağrı oluşur. Gerekirse parasetamol verilebilir. Ameliyattan sonraki ilk gün 2 y lumbosakral grafi çekilir. Postop 1. gün hasta taburcu edilebilir.

### AxiaLİF II (L4-L5-S1 AxiaLİF)

Son yıllarda L4-5 ve L5-S1 seviyelerine iki seviye füzyon yapmak için transsakral rodlar uzatılmıştır. Erkan ve ark. (3), AxiaLİF II tekniği ile enstrümanette ettikleri L4-S1 seviyelerinin biyomekaniğini çalışmışlar, tek başına AxiaLİF ve faset vidası veya pediküler sistem ile desteklenen AxiaLİF II i karşılaştırmışlar, sonuçta faset vidası veya pediküler sistem ile desteklenen AxiaLİF II in biyomekanik olarak daha üstün olduğunu tespit etmişlerdir.

### Transfaset vida fiksasyonu

*Endikasyonları*

*Füzyonlaşmayı arttırmak için*

*Kontrendikasyonlar*

*Pars kırıkları*

*Lamina veya fasetlerin agresif alınması*

**Teknik:** L3 seviyesinde orta hattın giriş yapılır. Rehber tel C-kollu skopi kontrolü ile L5 in inferior artiküler çıkıntısı ve pars interartikülerden S1 in faset eklemi-pediküle yönlendirilir. Tel üzerinden lag vida veya dişli vida gönderilir. Gerekli ise faset eklemi dekortikasyonu yapılabilir.

### Komplikasyonlar

Karşılaşılabilecek olası komplikasyonlar cerrahi giriş ile aksiyel tedaviler ile ilişkilidir.



Presakral giriş yolu bağırsağın arkasından sakrumun önüne doğru ilerler. Olası giriş riskleri bağırsak hasarına bağlı enfeksiyon ve presakral venler veya orta sakral arter yaralanmasına bağlı kanamadan oluşur. Floroskopik takip, rektumda hava olamaması, künt enstrümanlar ve sakral yüzde keskin disseksiyondan ziyade dilatasyon yapılması bu riskleri azaltır. S1-S2 düzeyindeki sakral giriş noktası daha sadedir, bu noktada majör damar ve sinir yapıları orta hattın daha lateralindedir.

Disk aralığına olan çalışma kanülü uygunsuz veya aşırı büyük radyal kesici veya yontucu kullanılır ise spinal kanal içeriği risk altında kalır. Görüntüleme eşliğinde yapılan tüm girişimlerde olduğu gibi komplikasyon riskini azaltmak için işaretlere dikkat edilmeli, çalışma kanülü optimal konuma yerleştirilmelidir.

#### Klinik seri

2006-2009 yılları arasında 8'i bayan, 3'ü erkek, 11 olgu opere edildi. Ortalama yaş 39.4 yıl (dağılım 27-55 yıl), ortalama takip süresi 19.2 aydı (dağılım 12-26 ay). Tüm hastalarda dejeneratif disk hastalığından dolayı bel ağrısı, 4 olguda bacak ağrısı, bir olguda nörojenik kladikasyon ve klinikle uyumlu radyolojik bulgular vardı. Tüm hastalarda tutucu tedaviye yanıt vermeyen, en az 6 ayı semptom vardı. Hastalara perkütan parakoksigeal cilt kesisi yapılarak floroskopi eşliğinde L5-S1 aralığına rod ve lokal otogreft ve demineralize kemik matriks ile interbody füzyon (AxiaLİF) yapıldı (Şekil 5,6).

*İnterbody füzyonlaşma değerlendirme kriterleri* (7,10,11);



**Şekil 6:** Postop 1. yıl, Nörojenik kladikasyon yok. Odom skoru mükemmel. Tetkiklerinde Füzyonun yeterli olduğu ve nöral foramenlerin açıldığı gözleniyor.

*Fleksiyon/ekstansiyon grafilerinde hareket ve/veya kayma olmayışı,*

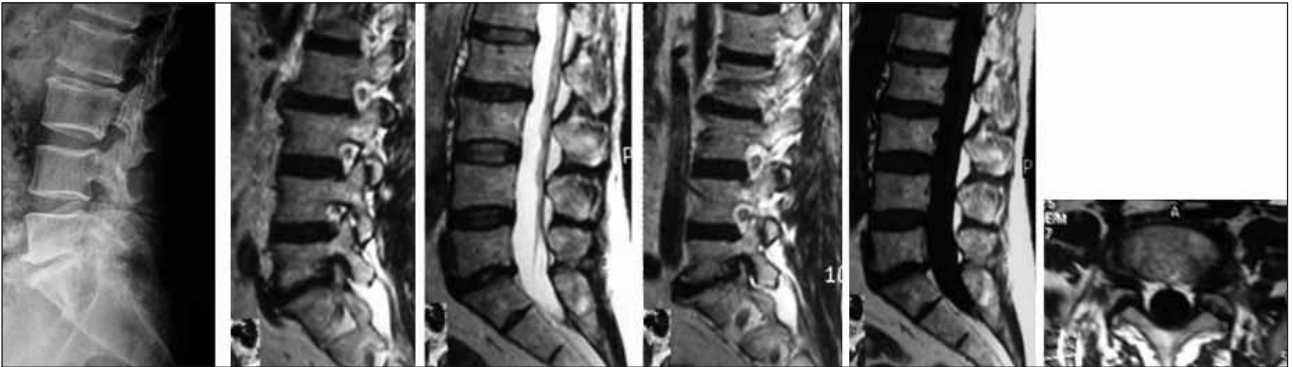
*İmplant çevresinde radyolusen alan olmayışı,*

*Füzyon uygulanan segmentler arasında bilateral devamlı trabeküler kemik varlığı,*

*Hastada cerrahi sonrası radyolojik ve klinik düzelme arasındaki korelasyon.*

Ortalama ameliyat süresi 48 (dağılım 32-65) dk. 1 olguya ek olarak uzak lateral disk çıkarılması yapıldı. 10 olguda L5-S1 interbody rodun stabil olduğunun ve yeterli füzyonun oluştuğunun delilleri, bir olguda vida gevşemesinin radyolojik delilleri vardı. Preop VAS 3.4, postop VAS 0.5. Odom skoruna göre; 8 olguda mükemmel, 2 olguda iyi, 1 olguda orta sonuç vardı.

Bu sonuçlar uygun endikasyonda AxiaLİF tekniğinin etkin ve güvenli olduğunu göstermektedir.



**Şekil 5:** 55 y, E, olguda 3 yıldır 300 m de nörojenik kladikasyon mevcut. Tetkiklerinde L5-S1 aralığında yükseklik kaybı, iki taraflı nöral foramende darlık ve L5 köklerine baskı izleniyor.

## Tartışma

Bu bölümde lumbosakral omurgaya füzyon yapmak için minimal invazif anlayışa uygun AxiALİF teniği tanımlanmıştır. Bu teknik, posterior enstrüman ile birlikte veya posterior enstrüman olmaksızın perkütan aksiyel füzyona ve daha ileri aşamada tek bir insizyon üzerinde çoklu düzeyde füzyonun yanı sıra hareketi koruyan implantların yerleştirilmesine olanak vermektedir.

Transsakral rod uygulanması ile oluşan hareket segmentinin stabilizasyonu taze donmuş dana omurgasından elde edilen 24 hareketli omurga segmentinde test edilmiştir. Örnekler çok dereceli omurga simülöründe test edilmiştir (5). Test edilen transsakral çubuklu örnekler aksiyel kompresif katılıkta sağlam değerlerine kıyasla %143,8 artış sergilemişlerdir. Bu artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $p<0,05$ ). Açısız katılıktaki artış, sağlam yapılarına göre fleksiyonda %14,7, ekstansiyonda %32,5, sağ yana bükülmede %11,1 ve sol yana bükülmede %18,9 olmak üzere belirgin şekilde azalan hareket açıklığı ile belirlenmiştir. Bu değerlerde istatistiksel olarak anlamlıdır ( $p<0,01$ ).

Transsakral rod için ortalama sertlik ve hareket açıklığı daha önce bildirilen BAK, Harms ve Brantigan kafesler, in fix cihazı, femoral ring allogrefti, kemik tıkaç ve ayaklı vida yapıları ile karşılaştırılmıştır (6). Transsakral çubuğun sagittal ve lateral bükülme katılığı tüm diğer interbody cihazlardan daha fazladır. Ek testler ekstansiyon katılığının ve aksiyel kompresyonun plate ve çubuk yapıları ile kıyaslanabilir olduğunu göstermiştir.

Aryan ve ark. (1), 35 olguya AxiALİF tekniğini uygulamışlar, bunlardan 21'ine perkütan L5-S1 vida-rod stabilizasyon ilave edilmiş, olguların %91'inde L5-S1 interbody rodun stabil olduğu ve füzyon oluştuğu gözlenmiştir.

**Gelecekte hareketin korunması:** Aksiyel teknik, alt lomber omurgada hareketin korunması için benzersiz bir biyomekanik yapı gelişimini kolaylaştırmaktadır. Diğer minimal invazif hareket koruyucu implantların girişi için anulusun penetrasyonuna gereksinim duyulur. Bunun ötesinde L5-S1 disk aralığına posterior giriş zordur. L5-S1 disk aralığına perkütan yolla iletilen intraanüler implantlar tam disk replasmanında gerekenden daha az invazif bu girişimler ile daha etkin bir şekilde yapılabilir.

**Sonuç olarak:** İlk sonuçlarımız perkütan aksiyel lomber omurga cerrahisinin güvenli ve etkili bir girişim olduğunu düşündürmektedir. Teknik, açık cerrahi ve diğer minimal invazif posterolateral cerrahi girişimlerde karşılaşılan morbidite olmaksızın biyomekanik implantların yerleştirilmesini mümkün kılar. Bu teknik paraspinal kaslarda disseksiyon olmaksızın tek bir girişim alanından perkütan füzyonu mümkün kılmaktadır. Kası ve anulusu koruyan yaklaşımlar ameliyat sonrası ağrıyı azaltacak, iyileşmeyi hızlandıracak, ameliyat sonrası skar oluşumunu ekarte edecek ve anulusun çıkarılması ile karşılaşılan sorunlardan kaçınılmasını sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

1. Aryan HE, Newman CB, Gold JJ, Acosta FL Jr, Coover C, Ames CP: Percutaneous axial lumbar interbody fusion (AxialİF) of the L5-S1 segment: Initial clinical and radiographic experience. *Minim Invasive Neurosurg* 51(4):225-230, 2008
2. Cragg A, Carl A, Casteneda F, Dickman C, Guterman L, Oliveira C: New percutaneous access method for minimally invasive anterior lumbosacral surgery. *J Spinal Disord Tech* 17(1):21-28, 2004
3. Erkan S, Wu C, Mehdod AA, Hsu B, Pahl DW, Transfeldt EE: Biomechanical evaluation of a new AxialİF technique for two-level lumbar fusion. *Eur Spine J* 18(6):807-814, 2009
4. Ethier DB, Cain JE, Yaszemski MJ, Glover JM, Klucznik RP, Pyka RE, Lauerer WC: The influence of anulotomy selection on disc competence. A radiographic, biomechanical, and histologic analysis. *Spine (Phila Pa 1976)*19(18):2071-2076, 1994
5. Kanayama M, Cunningham BW, Haggerty CJ, Abumi K, Kaneda K, McAfee PC: In vitro biomechanical investigation of the stability and stress-shielding effect of lumbar interbody fusion devices. *J Neurosurg* 93(2 Suppl):259-265, 2000
6. Lim TH, An HS, Hong JH, Ahn JY, You JW, Eck J, McGrady LM: Biomechanical evaluation of anterior and posterior fixations in an unstable calf spine model. *Spine (Phila Pa 1976)* 22(3):261-266, 1997
7. Lin PM, Cautilli RA, Joyce MF: Posterior lumbar interbody fusion. *Clin Orthop* 180: 154-168, 1983
8. Marotta N, Cosar M, Pimenta L, Khoo LT: A novel minimally invasive presacral approach and instrumentation technique for anterior L5-S1 intervertebral discectomy and fusion: Technical description and case presentations. *Neurosurg Focus* 20(1):E9, 2006
9. Perez-Cruet MJ, Fessler RG, Perin NI: Review: Complications of minimally invasive spinal surgery. *Neurosurgery* 51(5 Suppl):S26-36, 2002
10. Santos ER, Goss DG, Morcom RK, Fraser RD: Radiologic assessment of interbody fusion using carbon fiber cages. *Spine (Phila Pa 1976)* 28:997-1007, 2003
11. Togawa D, Bauer TW, Brantigan JW, Lowery GL: Bone graft incorporation in radiographically successful human intervertebral body fusion cages. *Spine (Phila Pa 1976)* 26: 2744-2750, 2001