

Ahmet Tolgay Akıncı¹ , Özkan Ateş² ¹Trakya Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Ana Bilim Dalı, Edirne, Türkiye²Koç Üniversitesi Tıp Fakültesi, Omurga Merkezi

✉ ahmettolgayakinci@gmail.com

Derleme / Review

Geliş tarihi : 30.01.2022

Kabul tarihi : 07.05.2022

Dejeneratif Spondilolistezis: Cerrahi Tedavide Hasta Seçimi

Degenerative Spondylolisthesis: Patient Selection for Surgical Treatment

ÖZ

Lomber dejeneratif spondilolistezis, bel ağrısının en sık nedenlerinden birisi olarak cerrahi tedavi seçenekleri ile yüksek başarı oranları ile tedavi edilmektedir. Basit dekompresyon, enstrümanlı füzyon, posterior enstrüman ile füzyon, minimal invaziv yöntemler, interbody füzyon yöntemlerinin de eklenmesi ile 360 derece füzyon ve dinamik enstrüman sistemleri ile stabilizasyon gibi pek çok tedavi seçeneği mevcuttur. Bu tedavi yöntemlerinin mutlak endikasyonları ve birbirlerine üstünlükleri yüksek kaliteli araştırmalar ile henüz ortaya konulmuş değildir. Aşırı hareketin mevcut olduğu, disk yüksekliğinin fazla olduğu ya da geniş dekompresyon yapılan vakalarda füzyonsuz basit dekompresyon yapılmamalıdır. Enstrüman sistemi ile stabilizasyon referans tedavi yöntemidir ve uzun dönemde etkinliği pek çok çalışma ile gösterilmiştir. Minimal invaziv cerrahi yöntemler tek seviye için yapılan girişimlerde benzer klinik sonuçlara sahip olmakla birlikte iki seviye için yapılan girişimlerde daha iyi sonuçlara neden olmaktadır. Lomber dejeneratif spondilolisteziste füzyonsuz dinamik stabilizasyonun kullanıldığı ve olumlu sonuçlarının bildirildiği çalışmalar mevcuttur. Füzyona dahil edilecek segmentlere karar verirken mutlaka global ve segmental sagittal dizilime dikkat etmek gerekmektedir. Her hasta klinik, radyolojik, sosyodemografik özellikleri ve kişisel tercihleri göz önünde bulundurularak bireysel olarak değerlendirilmeli ve karara hastanın kendisi de müdahil edilmelidir.

Anahtar Sözcükler: Bel ağrısı, Hasta yönetimi, Omurga cerrahisi, Spondilolistezis

ABSTRACT

Lumbar degenerative spondylolisthesis, one of the most common causes of low back pain, is treated with high success rates with surgical treatment options. There are many treatment options such as simple decompression, instrument-less fusion, posterior instrument fusion, minimally invasive methods, 360-degree fusion with the addition of interbody fusion methods, and stabilization with dynamic instrument systems. High-quality studies have not yet demonstrated the absolute indications and superiority of these treatment methods to each other. Simple decompression without fusion should not be performed in cases where excessive movement is present, disc height is high, or extensive decompression is performed. Stabilization with the instrument system is the reference treatment method, and many studies have demonstrated its long-term effectiveness. Minimally invasive surgical methods have similar clinical results in interventions for a single level but lead to better results in interventions for two levels. There are studies in which non-fusion dynamic stabilization is used in degenerative lumbar spondylolisthesis, and positive results are reported. When deciding on the segments to be included in the fusion, it is necessary to pay attention to the global and segmental sagittal alignment. Each patient should be evaluated individually, taking into account clinical, radiological, sociodemographic characteristics and personal preferences, and the patient himself should be involved in the decision.

Keywords: Low back pain, Patient care management, Spine surgery, Spondylolisthesis

GİRİŞ

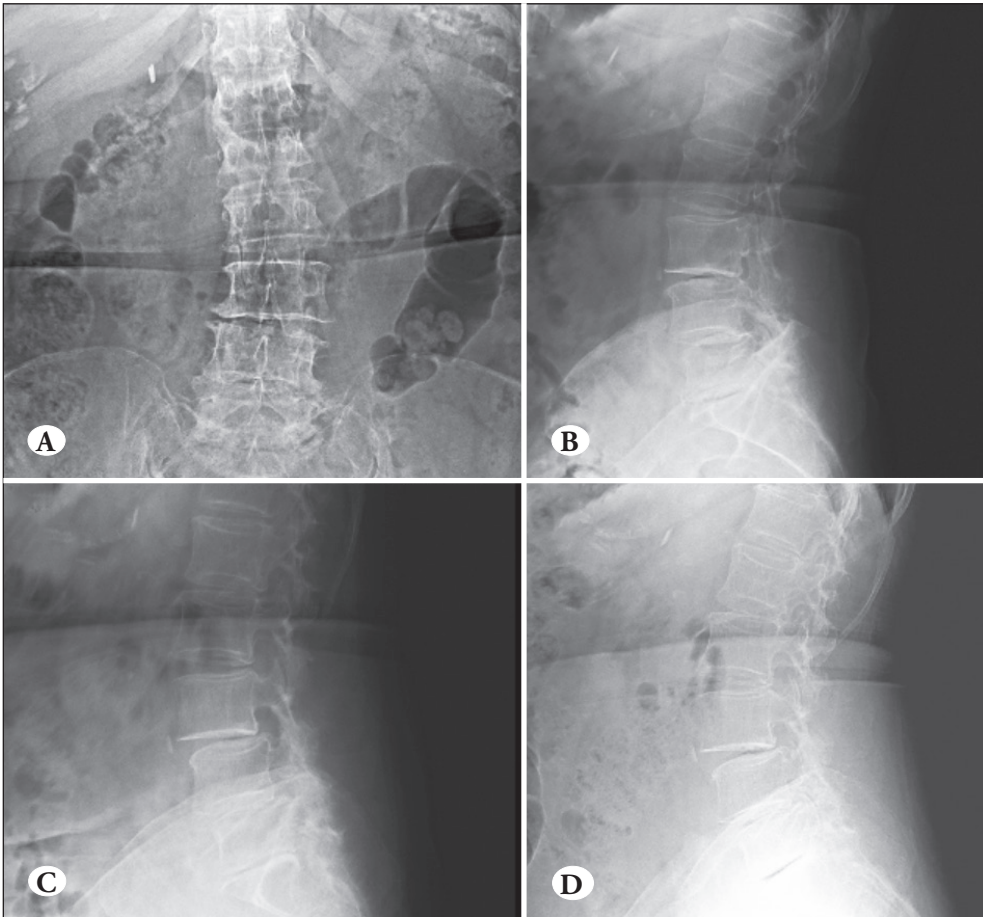
Lomber dejeneratif spondilolistezis (LDS), omur halkasında bir kopukluk olmaksızın, dejeneratif değişikliklere bağlı olarak, bir omurun komşu omur üzerinde kayması olarak tanımlanmaktadır (5) (Şekil 1-5). Bel ağrısının en sık nedenlerinden birisi olarak görülmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde toplumun yaklaşık % 11,5'inde görülmekte ancak bu hastaların yalnızca %20,4'ü bel ağrısı tariflemektedir (14). Bel ağrılı hastalar, bu yaygın probleme çözüm olarak önerilen gittikçe artan sayıda tedavi seçenekleri arasında seçim yapmakta zorlanmaktadır (11).

Cerrahi tedavi yöntemleri, cerrahi olmayanlara kıyasla daha iyi sonuçlar vermektedir (35). Cerrahi seçenekler de oldukça çeşitlidir. Kabaca sınıflanacak olursa; sadece dekompresyon, enstrümanlı füzyon, posterior enstrüman ile füzyon, interbody füzyon yöntemlerinin de eklenmesi ile 360 derece füzyon ve dinamik enstrüman sistemleri ile stabilizasyon olarak sıralanabilir. Dekompresyonun hemen tüm cerrahilere dâhil edilmesi konusunda litera-

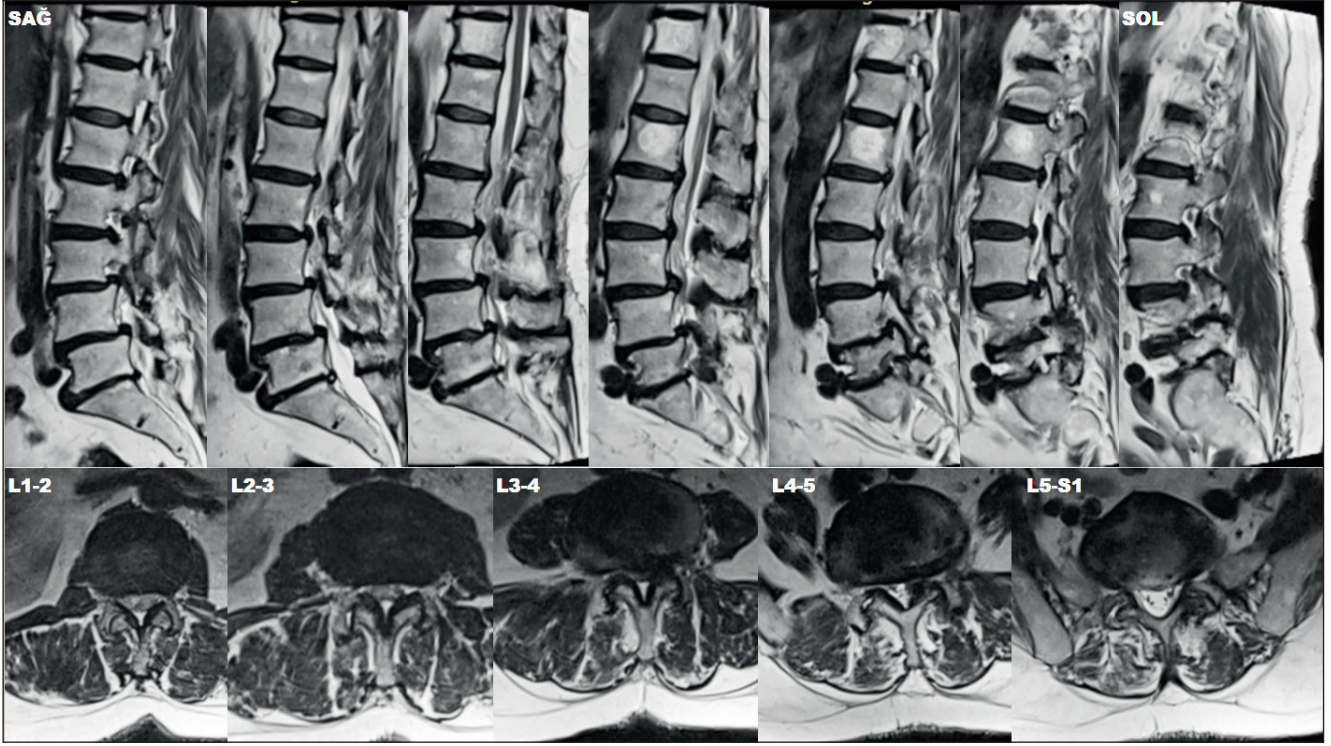
türde görüş birliği mevcuttur. Ancak diğer yöntemlerin birbirlerine üstünlükleri konusu bu kadar net değildir. Bu derlemede dejeneratif spondilolistezisin cerrahi tedavisinde hasta seçiminde dikkat edilmesi gereken noktalar, hastaya ait etmenler ve cerrahi seçenekler açısından incelenecektir.

Basit Dekompresyon

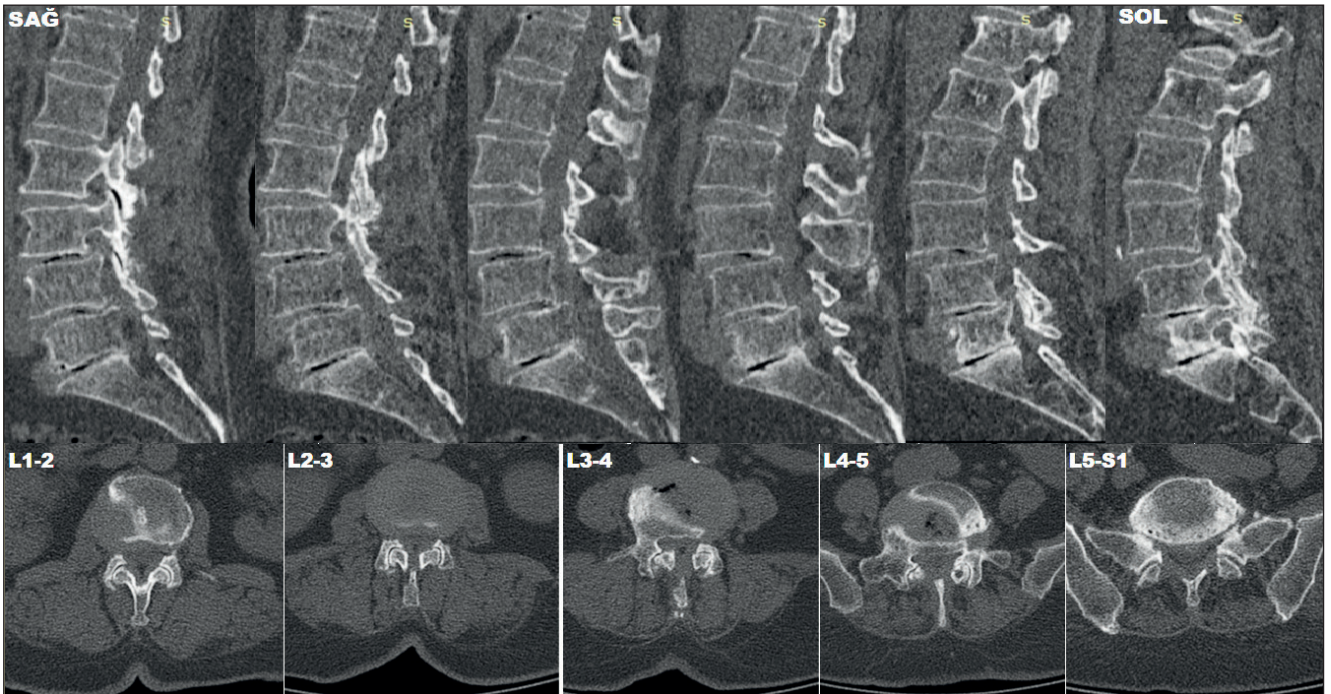
Hemen tüm hastalıklarda olduğu gibi dejeneratif spondilolistezisin de ilk tedavi basamağını konservatif tedavi oluşturmaktadır. Konservatif tedavide fizik tedavi, epidural enjeksiyonlar, kayropraksi, anti-inflamatuar ve opioid analjezik ilaçlar verilmektedir. Konservatif tedaviden cerrahi tedaviye geçme endikasyonlarını ilerleyici nörolojik defisit, 3 aylık tedaviye rağmen sebat eden şiddetli bel ve/veya bacak ağrısı ve mesane veya bağırsak semptomları oluşturur (17). Düşük dereceli dejeneratif lomber spondilolistezis ile ilişkili semptomatik spinal stenozu olan ve semptomatik tedaviden yeterli fayda görmeyen hastalarda basit dekompresyon düşünülebilir (25). Literatürde dekompresyona füzyonun eklenmesinin daha



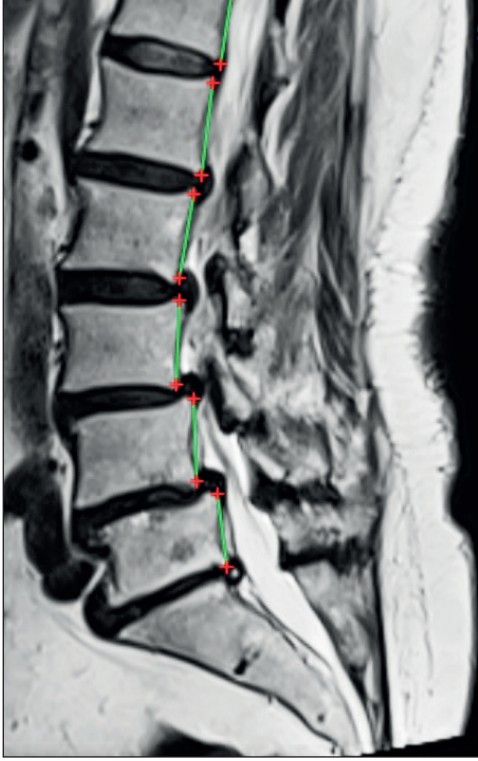
Şekil 1: Şekilde 66 yaşındaki kadın hastanın ön-arka (A), yan (B), fleksiyon (C) ve ekstansiyon (D) grafilerinde lomber bölgede dejeneratif skolyoz, L3-4 ve L4-5 seviyelerinde dejeneratif spondilolistezis, disk mesafelerinde daralma izlenmektedir.



Şekil 2: Lomber MRG tetkikinde L3-4 ve L4-5 seviyelerinde dejeneratif spondilolistez, bu iki seviyede daha belirgin olmak üzere tüm seviyelerde foraminal bölgelerde ve spinal kanalda darlığa neden olan ligamentum flavum ve faset eklem hipertrofileri, ve intervertebral disklerde dejenerasyon görülmektedir.



Şekil 3: Lomber BT tetkikinde L3-4 ve L4-5 seviyelerinde dejeneratif spondilolistez, bu iki seviyede daha belirgin olmak üzere tüm seviyelerde foraminal bölgelerde ve spinal kanalda darlığa neden olan osteofit formasyonları, L2-3 ve L3-4 faset eklemlerinde, L3-4, L4-5 ve L5-S1 intervertebral disk mesafelerinde vakum fenomeni izlenmektedir.



Şekil 4: Lomber Sagittal T2 ağırlıklı görüntülerde vertebra arka kenarları işaretlenerek L3-4 ve L4-5 seviyelerindeki dejeneratif spondilolistez belirgin hâle getirilmiştir.



Şekil 5: Lomber BT lateral rekonstrüksiyonunda L3-4 ve L4-5 mesafelerinde 4 mm'den fazla kayma görülmektedir.

iyi sonuçlar verdiğine dair çok sayıda çalışma mevcuttur (6,10,12,24). Ancak, Försth ve ark. tarafından yayınlanan geniş çaplı randomize kontrollü bir çalışma olan İsveç Spinal Spondiloz Çalışması'nda 2. ve 5. yıldaki sonuçlara füzyon eklenmesinin anlamlı bir fark yaratmadığı bildirilmiştir (9). Bu çalışma spondiloz ve spondilolistezis hastalarını birlikte içermesi ve çoklu seviye ayrımı yapmaması nedeniyle tek seviye dejeneratif spondilolistezis cerrahisinde füzyon eklenmesinin değerlendirilmesi açısından eleştirilmektedir.

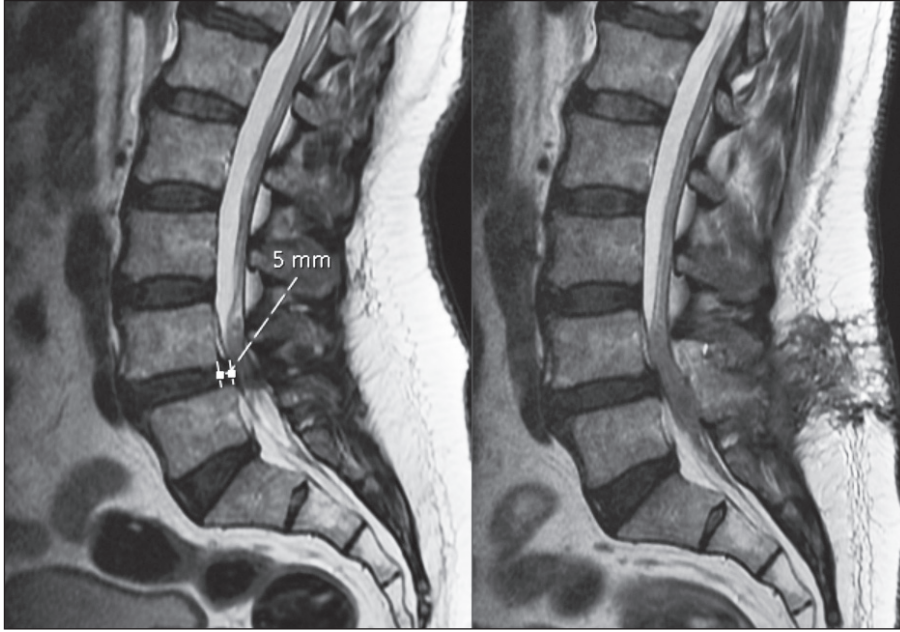
Dekompresyona füzyon eklenmesinin, özellikle uzun vadede sonuçları olumlu etkileyeceği pek çok omurga cerrahına makul görünmektedir. Ancak instabilite riski yüksek olmayan hastalarda basit dekompresyonun kısa ameliyat süresi, daha az kanama miktarı ve son dönemde altın standart hâline gelen tek taraflı yaklaşım ile iki taraflı dekompresyon yöntemi ile iyice minimal invazif oluşu önemli avantajlarını oluşturmaktadır. Kuo ve ark. tek taraflı yaklaşım ile iki taraflı dekompresyonun, enstrümanlı füzyon ile posterior dekompresyona kıyasla 5 yılda daha az tekrar ameliyata yol açtığını bildirmişlerdir. Ayrıca özellikle hastanın genel durumunun geniş çaplı cerrahilere izin vermediği bazı durumlarda basit dekompresyon yegâne seçenek olabilmektedir (19).

Basit dekompresyonun en önemli dezavantajı ise cerrahinin instabiliteyi daha da artırması ve stabilizasyon için ek cerrahi gerekebilmesidir. Bunun için özellikle bazı hastalar daha fazla risk altındadır. Lomber 1. derece spondilolistezis nedeniyle dekompresyon cerrahisi yapılan hastalarda, 1,25 mm'den fazla kayması olan, disk yüksekliği 6,5 mm'den fazla olan ve faset açısı 50 derecenin üzerinde olanlarda daha sıklıkla instabilite geliştiği bildirilmiştir (4). Bu özelliklere sahip hastalarda dekompresyona füzyonun eklenmesi daha uygun olacaktır.

Dejeneratif spondilolistezis için basit dekompresyon yapılan hastalar sıklıkla genel durumları ve ek hastalıkları nedeniyle daha büyük cerrahilerin yapılmadığı hastalardır. Cerrahi tedavinin konservatif tedaviye olan üstünlüğü göz önünde bulundurulduğunda, ek hastalıkları fazla olan hastalarda makul bir seçenektir. Ancak bu cerrahinin ekleyeceği instabilite riskinin göz önünde bulundurulması, füzyon ve stabilizasyon tekniklerinin eklenmemesinin gerekçelerinin iyi belirlenmesi gerekmektedir (Şekil 6).

Dekompresyon ve Füzyon

Ghogawala ve ark. 66 lomber 1. derece spondilolistezis hastasını içeren serilerinde laminektomiye füzyon eklen-



Şekil 6: Basit dekompresyon yapılan 63 yaşında kadın hastanın ameliyat öncesi ve sonrası lomber sagittal T2 ağırlıklı görüntülerinde L4-5 mesafesinde dejeneratif spondilolistezis görülmektedir.

mesinin 3. ay ve 4. yıl kontrollerinde daha iyi sonuçlara neden olduğunu bildirmişlerdir (10). Takip eden çalışmalar da bu sonucu desteklemiştir (6,12,24). Her ne kadar Försth ve ark. füzyonun farklı klinik sonuçlara yol açmadığını bildirmiş olsalar da, çalışmaları homojen bir spondilolistezis hasta grubunda ve tek seviye patolojiler için olmadığı için, klinik sonuçlarda anlamlı bir fark tespit etmede zayıf kaldığı yönünde yoğun eleştirilere maruz kalmıştır (7,9).

Füzyon instabiliteyi engellemeyi ve dejeneratif değişikliklere bağlı ağrıyı azaltmayı amaçlamaktadır. Füzyonun sağlanması için, her iki kemikte korteks alınarak medüller kemik ortaya çıkartılmakta ve bu dekortike alanlar arasına dekompresyon sırasında elde edilen kemik parçalar yerleştirilmektedir. Füzyonun sağlanmasını engelleyen, hastaya ait en önemli risk faktörlerinden bir tanesi düşük kemik yoğunudur (23). Bir diğer önemli risk faktörü ise sigara kullanımıdır (3). Bunların haricinde yaş, vücut kütle indeksi (VKİ), hipertansiyon öyküsü, ameliyat öncesi komşu disk dejenerasyonu, uzun segment füzyon, ameliyat öncesi superior faset sorunları da komşu segment dejenerasyonu gibi önemli bir diğer geç komplikasyonun risk faktörlerini oluşturmaktadır (34).

Dejeneratif spondilolistezisin ileri yaş hastalığı olması, yaş başta olmak üzere bu hasta grubunda füzyonu zorlaştıracak pek çok risk faktörünün eklenmesi omurga cerrahlarını sıklıkla füzyon oranlarını artırmak için enstrüman sistemleri kullanmaya yöneltmektedir.

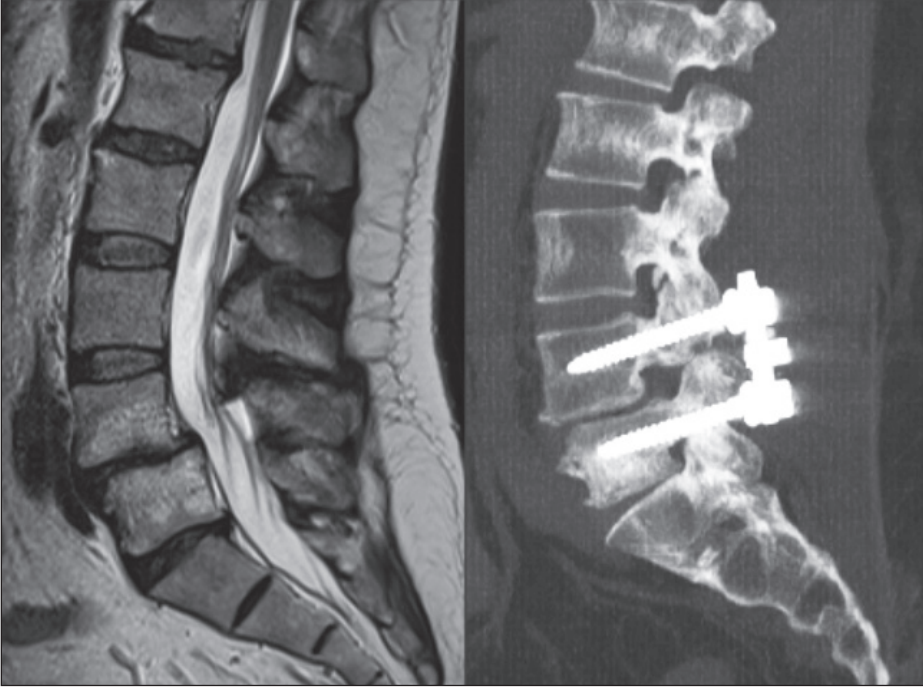
Dekompresyon ve Posterior Stabilizasyon ile Füzyon

Füzyon oranını artırmak ve dolayısıyla klinik sonuçları iyileştirmek amacıyla cerrahiye çoğunlukla transpediküler vidalardan oluşan posterior enstrüman sistemi ile stabilizasyon eklemek klinik sonuçları anlamlı ölçüde değiştirmemiştir (8,16,33). Bazı çalışmalarda enstrümantasyonun füzyon oranlarını artırdığı gösterilmiş ancak bu klinik sonuçlara yansımamıştır (8,16,33). Pedikül vidaları ile tespitin en faydalı olduğu hasta grubu kifozu ve instabilitesi olan hasta grubu olarak tespit edilmiştir (16) (Şekil 7).

Pedikül vidaları ile posterior stabilizasyon sistemleri, deformitelerin kısmen veya tamamen düzeltilmesi gibi ek avantajlara da sahiptir. Ancak, dekompresyon ve füzyon için vurgulanan risk faktörleri ve dikkat edilmesi gereken noktalara ek olarak; enstrüman disfonksiyonu gibi ek riskleri de beraberinde getirmektedir. Stabilizasyonun ekleneceği hastalarda sagittal ve koronal dengeye ayrıca dikkat etmek gerekmektedir. Wang ve ark. yaptıkları kapsamlı metaanalizde lumbosakral eklem açısı, ameliyat öncesi ve sonrası L1-S1 sagittal vertikal eksen, ameliyat sonrası lomber lordoz ve ameliyat öncesi pelvik insidans parametrelerindeki artışın artmış komşu segment dejenerasyonu ile ilişkili olduğunu bildirmişlerdir (34).

Anterior Stabilizasyon Eklenmesi

Posterior stabilizasyonun füzyon oranlarında artışa neden olmasına rağmen, benzer bir farkın klinik sonuçlarda



Şekil 7: Dekompresyon, posterior stabilizasyon ve füzyon ameliyatı yapılan 50 yaşında erkek hastanın ameliyat öncesi MRG görüntülerinde L4-5 mesafesinde kayma ve ameliyat sonrası BT görüntülerinde L4-5 transpediküler vida-rod sistem izlenmektedir.

görülmemesi anteriordan da stabilizasyonu destekleme fikrini akla getirmiştir. Cerrahiye interbody füzyon eklenmesi radyolojik füzyon oranlarını, engellilik miktarlarını ve bel ağrısı şiddetini olumlu yönde etkilemektedir (22). Ancak engellilik ve ağrıdaki azalmanın miktarı çok fazla değildir (26). İnterbody füzyon daha uzun ameliyat süresine neden olmaktadır ve bunun getirdiği ek risklerin artan füzyon oranına değip değmeyeceği iyi değerlendirilmelidir (22,26).

Anterior interbody füzyon (ALIF), Posterior interbody füzyon (PLIF), Transforaminal interbody füzyon (TLIF), Prepsop ve Transpsop lateral interbody füzyon (LLIF) gibi pek çok teknik mevcuttur. ALIF segmental lordozu düzeltmede oldukça başarılı bir yöntemdir (21). LLIF iyi klinik sonuçlar vermekle birlikte posterior stabilizasyon eklenmediğinde nüks oranları yüksektir (1,31). TLIF ise LLIF ile kıyaslandığında spinal kanal çapıda daha fazla artışa imkân vermektedir (13). ALIF, LLIF ve PLIF, her üç yöntem de füzyon oranları ve listezisin düzeltilmesi açısından benzerlik gösterse de komşu segment dejenerasyonu açısından PLIF daha fazla risk oluşturmaktadır (20).

Minimal İnvaziv Füzyon

Minimal invaziv füzyon yöntemleri, perkütan veya tübüler vida fiksasyonunun kullanıldığı yöntemlerdir. Bu yön-

temlerde, ek olarak intervertebral greft de yerleştirilebilmektedir. Klasik açık füzyon yöntemleri ile karşılaştıran çalışmalar; benzer klinik sonuçlara, daha düşük maliyete, daha kısa ameliyat süresine, daha az kan kaybına ve daha kısa hastanede kalış süresine sahip olduğunu bildirmektedir (18,27,29). Ancak bu yöntemlerde cerrahi ekibin ve hastanın görece daha fazla radyasyona maruz kalması da önemli bir dezavantaj oluşturmaktadır (2). Minimal invaziv cerrahi yöntemler tek seviye için yapılan girişimlerde benzer klinik sonuçlara sahip olmakla birlikte iki seviye için yapılan girişimlerde daha iyi sonuçlara neden olmaktadır (27).

Dinamik Stabilizasyon

Dinamik stabilizasyon ile omurganın normal sınırları aşan hareketinin kısıtlanması ve sistemin omurganın ön ve arka elemanlarına destek vererek, binen yükü paylaşması amaçlanmaktadır. Endikasyonları füzyona benzer olup dejeneratif spondilolistezisi de içermektedir. Literatürde de, çalışmalara dâhil edilen hasta sayısı ve takip süreleri kısıtlı olmakla birlikte, dinamik stabilizasyonun dejeneratif spondilolisteziste kullanıldığı ve olumlu sonuçlarının bildirildiği çalışmalar mevcuttur (28,30). İleri yaş hastalarda, görece kısa bir süre için rijit fiksasyonun sorgulanmasından yola çıkan bu çalışmaların uzun dönem sonuçlar ile desteklenmesi gerekmektedir (30). İnterbody füzyonun eklediği artmış risklerden kaçınıl-

ması en önemli avantajını oluşturmaktadır. Stabilizasyon sisteminin rijit mi dinamik mi seçileceği ağırlıklı olarak cerrahın deneyim ve kanaati ile şekillenmekle birlikte, yaşı ileri ve riskleri yüksek hastalarda dinamik sistemler bir miktar daha avantajlı görünmektedirler.

Piyasada dinamik stabilizasyon için pek çok seçenek mevcuttur. Sadece rodların dinamik olduğu sistemler arasında Dynesys (Zimmer spine Inc., Warsaw, IN), Graf System (Surgigraft), Talin Rod (Medikon-Algorithm, İstanbul-Turkey), Bioflex (Biospine Corp., Seoul, Korea), Scient'X Isobar (Scient'x, S.A.), Accuflex (Globus Medical Inc., Audubon, PA), Transition Stabilization system (Globus Medical Inc., Audubon, PA) ve CD Horizon Agile (Medtronic Sofamor Danek, Memphis, TN) sayılabilir. Hem rodların, hem de vidaların dinamik olduğu COSMIC (Ulrich GmbH & Co. KG, Ulm, Germany) ve SAFINAZ (Medikon, Turkey) gibi sistemler de mevcuttur (15).

SONUÇ

Literatürde LDS için çeşitli cerrahi tedavi seçenekleri tarif eden ya da bunlardan bazılarını birbirleri ile kıyaslayan pek çok çalışma bulunmakla birlikte spesifik cerrahi tedavi yöntemi için kesin endikasyonlar belirlemek için hâlen yeterli kanıt düzeyine ulaşılamamıştır (32). Bu nedenle nöroşirürji pratiğinde LDS cerrahi tedavisi için karar almayı kolaylaştıracak araçlar geliştirilmesi büyük kolaylık sağlayacaktır.

Kuzey Amerika Omurga Derneği (North American Spine Society - NASS) tarafından yayınlanan dejeneratif lomber spondilolistezis teşhis ve tedavi kılavuzunun kanıta dayalı önerileri özetlenecek olursa:

“Düşük dereceli dejeneratif lomber spondilolistezis ile ilişkili semptomatik spinal stenozu olan ve semptomları bir tıbbi/girişimsel tedavi denemesine karşı dirençli olan hastaların tedavisi için basit dekompresyon düşünülebilir.

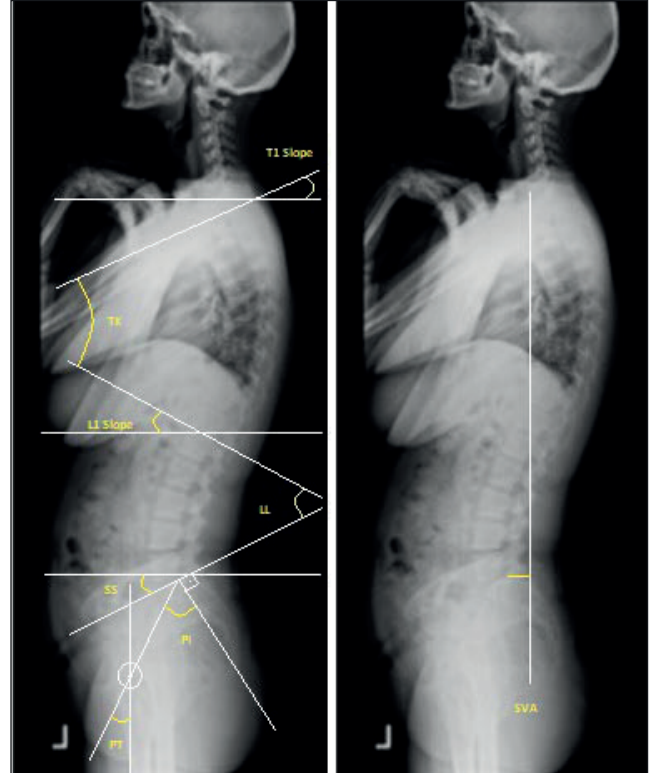
Semptomatik spinal stenozu ve dejeneratif lomber spondilolistezisi olan hastaların tedavisi için dekompresyon + füzyon, tek başına dekompresyona kıyasla klinik sonuçları iyileştirmek için önerilmektedir.

Düşük dereceli (<%20) ve lateral foraminal stenozu olmayan semptomatik tek seviyeli dejeneratif spondilolistezis için, orta hat yapılarını koruyarak tek başına dekompresyon, dekompresyon + füzyon ile benzer sonuçlar sağlar.

Tek seviye dejeneratif spondilolisteziste, dekompresyon + enstrümantasyonlu veya enstrümantasyonsuz füzyonun sonuçları, tıbbi/girişimsel tedaviye kıyasla daha iyidir. Ancak çoklu seviyede, tek başına tıbbi/girişimsel tedaviye kıyasla etkinliğinin daha fazla veya az olduğuna dair literatürde yeterli kanıt yoktur.

Enstrümantasyon eklenmesi füzyon oranlarını iyileştirmekte iken; klinik sonuçlarda belirgin bir iyileşme sağlamamaktadır. Dekompresyon ve füzyon, semptomatik spinal stenoz ve dejeneratif lomber spondilolistezisi olan hastaların tedavisinde, uzun vadeli tatmin edici sonuçlar sağlamanın bir yolu olarak düşünülebilir (25).

Aşırı hareketin mevcut olduğu, disk yüksekliğinin fazla olduğu ya da geniş dekompresyon yapılan vakalarda füzyonsuz basit dekompresyon yapılmamalıdır. Enstrüman sistemi ile stabilizasyon referans tedavi yöntemidir ve uzun dönemde etkinliği pek çok çalışma ile gösterilmiştir. Füzyona dahil edilecek segmentlere karar verirken mutlaka global ve segmental sagittal dizilime dikkat etmek gerekmektedir (Şekil 8).



Şekil 8: Ayakta lateral skolyoz grafisinde sagittal denge için dikkat edilmesi gereken parametreler görülmektedir. T1 Slope: Torakal eğim, L1 Slope: Lomber eğim, SS: Sakral eğim, TK: Torakal kifoz, LL: Lomber lordoz, PT: Pelvik tilt, PI: Pelvik insidans, SVA: Sagittal vertebral aks.

Her hasta klinik, radyolojik, sosyodemografik özellikleri ve kişisel tercihleri göz önünde bulundurularak bireysel olarak değerlendirilmeli ve cerrahi karara hastanın kendisi de müdahil edilerek hasta temelli olarak tedavi yöntemi seçilmelidir.

KAYNAKLAR

1. Ahmadian A, Verma S, Mundis GM, Oskouian RJ, Smith DA, Uribe JS: Minimally invasive lateral retroperitoneal transpoas interbody fusion for L4-5 spondylolisthesis: Clinical outcomes. *J Neurosurg Spine* 19(3):314-320, 2013
2. Arif S, Brady Z, Enchev Y, Peev N, Encheva E: Minimising radiation exposure to the surgeon in minimally invasive spine surgeries: A systematic review of 15 studies. *Orthop Traumatol Surg Res* 107(7):102795, 2021
3. Berman D, Oren JH, Bendo J, Spivak J: The effect of smoking on spinal fusion. *Int J Spine Surg* 11(4):29, 2017
4. Blumenthal C, Curran J, Benzel EC, Potter R, Magge SN, Harrington JF, Coumans JV, Ghogawala Z: Radiographic predictors of delayed instability following decompression without fusion for degenerative grade I lumbar spondylolisthesis. *J Neurosurg Spine* 18(4):340-346, 2013
5. Bydon M, Alvi MA, Goyal A: Degenerative lumbar spondylolisthesis: Definition, natural history, conservative management, and surgical treatment. *Neurosurg Clin N Am* 30(3):299-304, 2019
6. Chan AK, Bisson EF, Bydon M, Glassman SD, Foley KT, Potts EA, Shaffrey CI, Shaffrey ME, Coric D, Knightly JJ, Park P, Wang MY, Fu K-M, Slotkin JR, Asher AL, Virk MS, Kerezoudis P, Chotai S, DiGiorgio AM, Haid RW, Mummaneni PV: Laminectomy alone versus fusion for grade I lumbar spondylolisthesis in 426 patients from the prospective Quality Outcomes Database. *J Neurosurg Spine* 30(2):234-241, 2018
7. Chan AK, Sharma V, Robinson LC, Mummaneni PV: Summary of guidelines for the treatment of lumbar spondylolisthesis. *Neurosurg Clin N Am* 30(3):353-364, 2019
8. Fischgrund JS, Mackay M, Herkowitz HN, Brower R, Montgomery DM, Kurz LT: 1997 Volvo Award winner in clinical studies. Degenerative lumbar spondylolisthesis with spinal stenosis: A prospective, randomized study comparing decompressive laminectomy and arthrodesis with and without spinal instrumentation. *Spine (Phila Pa 1976)* 22(24):2807-2812, 1997
9. Försth P, Ólafsson G, Carlsson T, Frost A, Borgström F, Fritzell P, Öhagen P, Michaëlsson K, Sandén B: A randomized, controlled trial of fusion surgery for lumbar spinal stenosis. *N Engl J Med* 374(15):1413-1423, 2016
10. Ghogawala Z, Dziura J, Butler WE, Dai F, Terrin N, Magge SN, Coumans J-VCE, Harrington JF, Amin-Hanjani S, Schwartz JS, Sonntag VKH, Barker FG, Benzel EC: Laminectomy plus fusion versus laminectomy alone for lumbar spondylolisthesis. *N Engl J Med* 374(15):1424-1434, 2016
11. Haldeman S, Dagenais S: A supermarket approach to the evidence-informed management of chronic low back pain. *Spine J* 8(1):1-7, 2008
12. Herkowitz HN, Kurz LT: Degenerative lumbar spondylolisthesis with spinal stenosis. A prospective study comparing decompression with decompression and intertransverse process arthrodesis. *J Bone Joint Surg Am* 73(6):802-808, 1991
13. Isaacs RE, Sembrano JN, Tohmeh AG: Two-year comparative outcomes of MIS lateral and MIS transforaminal interbody fusion in the treatment of degenerative spondylolisthesis: Part II: Radiographic findings. *Spine (Phila Pa 1976)* 41 Suppl 8:S133-144, 2016
14. Kalichman L, Kim DH, Li L, Guermazi A, Berkin V, Hunter DJ: Spondylolysis and spondylolisthesis: Prevalence and association with low back pain in the adult community-based population. *Spine (Phila Pa 1976)* 34(2):199-205, 2009
15. Kaner T, Sasani M, Oktenoglu T, Ozer AF: Dynamic stabilization of the spine: A new classification system. *Turk Neurosurg* 20(2):205-215, 2010
16. Kimura I, Shingu H, Murata M, Hashiguchi H: Lumbar posterolateral fusion alone or with transpedicular instrumentation in L4-L5 degenerative spondylolisthesis. *J Spinal Disord* 14(4):301-310, 2001
17. Koenig S, Jauregui JJ, Shasti M, Jazini E, Koh EY, Banagan KE, Gelb DE, Ludwig SC: Decompression versus fusion for grade I degenerative spondylolisthesis: A meta-analysis. *Global Spine J* 9(2):155-161, 2019
18. Kotani Y, Abumi K, Ito M, Sudo H, Abe Y, Minami A: Mid-term clinical results of minimally invasive decompression and posterolateral fusion with percutaneous pedicle screws versus conventional approach for degenerative spondylolisthesis with spinal stenosis. *Eur Spine J* 21(6):1171-1177, 2012

19. Kuo CC, Merchant M, Kardile MP, Yacob A, Majid K, Bains RS: In degenerative spondylolisthesis, unilateral laminotomy for bilateral decompression leads to less reoperations at 5 years when compared to posterior decompression with instrumented fusion: A propensity-matched retrospective analysis. *Spine (Phila Pa 1976)* 44(21):1530-1537, 2019
20. Lee CW, Yoon KJ, Ha SS: Which approach is advantageous to preventing development of adjacent segment disease? Comparative analysis of 3 different lumbar interbody fusion techniques (ALIF, LLIF, and PLIF) in L4-5 spondylolisthesis. *World Neurosurg* 105:612-622, 2017
21. Lee N, Kim KN, Yi S, Ha Y, Shin DA, Yoon DH, Kim KS: Comparison of outcomes of anterior, posterior, and transforaminal lumbar interbody fusion surgery at a single lumbar level with degenerative spinal disease. *World Neurosurg* 101:216-226, 2017
22. Levin JM, Tanenbaum JE, Steinmetz MP, Mroz TE, Overley SC: Posterolateral fusion (PLF) versus transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF) for spondylolisthesis: A systematic review and meta-analysis. *Spine J* 18(6):1088-1098, 2018
23. Liu Y, Dash A, Krez A, Kim HJ, Cunningham M, Schwab F, Hughes A, Carlson B, Samuel A, Marty E, Moore H, McMahon DJ, Carrino JA, Bockman RS, Stein EM: Low volumetric bone density is a risk factor for early complications after spine fusion surgery. *Osteoporos Int* 31(4):647-654, 2020
24. Lombardi JS, Wiltse LL, Reynolds J, Widell EH, Spencer C: Treatment of degenerative spondylolisthesis. *Spine (Phila Pa 1976)* 10(9):821-827, 1985
25. Matz PG, Meagher RJ, Lamer T, Tontz WL, Annaswamy TM, Cassidy RC, Cho CH, Dougherty P, Easa JE, Enix DE, Gunnoe BA, Jallo J, Julien TD, Maserati MB, Nucci RC, O'Toole JE, Rosolowski K, Sembrano JN, Villavicencio AT, Witt JP: Guideline summary review: An evidence-based clinical guideline for the diagnosis and treatment of degenerative lumbar spondylolisthesis. *Spine J* 16(3):439-448, 2016
26. Mehta VA, McGirt MJ, Garcés Ambrossi GL, Parker SL, Sciubba DM, Bydon A, Wolinsky J-P, Gokaslan ZL, Witham TF: Trans-foraminal versus posterior lumbar interbody fusion: Comparison of surgical morbidity. *Neurol Res* 33(1):38-42, 2011
27. Mummaneni PV, Bisson EF, Kerezoudis P, Glassman S, Foley K, Slotkin JR, Potts E, Shaffrey M, Shaffrey CI, Coric D, Knightly J, Park P, Fu K-M, Devin CJ, Chotai S, Chan AK, Virk M, Asher AL, Bydon M: Minimally invasive versus open fusion for Grade I degenerative lumbar spondylolisthesis: Analysis of the Quality Outcomes Database. *Neurosurg Focus* 43(2):E11, 2017
28. Ohtonari T, Nishihara N, Suwa K, Ota T, Koyama T: Dynamic stabilization for degenerative spondylolisthesis and lumbar spinal instability. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 54(9):698-706, 2014
29. Parker SL, Adogwa O, Bydon A, Cheng J, McGirt MJ: Cost-effectiveness of minimally invasive versus open transforaminal lumbar interbody fusion for degenerative spondylolisthesis associated low-back and leg pain over two years. *World Neurosurg* 78(1-2):178-184, 2012
30. Ricart O, Serwier JM: Dynamic stabilisation and compression without fusion using Dynesys for the treatment of degenerative lumbar spondylolisthesis: A prospective series of 25 cases. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 94(7):619-627, 2008
31. Sato J, Ohtori S, Orita S, Yamauchi K, Eguchi Y, Ochiai N, Kuniyoshi K, Aoki Y, Nakamura J, Miyagi M, Suzuki M, Kubota G, Inage K, Sainoh T, Fujimoto K, Shiga Y, Abe K, Kanamoto H, Inoue G, Takahashi K: Radiographic evaluation of indirect decompression of mini-open anterior retroperitoneal lumbar interbody fusion: oblique lateral interbody fusion for degenerated lumbar spondylolisthesis. *Eur Spine J* 26(3):671-678, 2017
32. Steiger F, Becker HJ, Standaert CJ, Balague F, Vader JP, Porchet F, Mannion AF: Surgery in lumbar degenerative spondylolisthesis: indications, outcomes and complications. A systematic review. *Eur Spine J* 23(5):945-973, 2014
33. Thomsen K, Christensen FB, Eiskjaer SP, Hansen ES, Fruensgaard S, Bünger CE: 1997 Volvo Award winner in clinical studies. The effect of pedicle screw instrumentation on functional outcome and fusion rates in posterolateral lumbar spinal fusion: A prospective, randomized clinical study. *Spine (Phila Pa 1976)* 22(24):2813-2822, 1997
34. Wang T, Ding W: Risk factors for adjacent segment degeneration after posterior lumbar fusion surgery in treatment for degenerative lumbar disorders: A meta-analysis. *J Orthop Surg Res* 15(1):582, 2020
35. Weinstein JN, Lurie JD, Tosteson TD, Hanscom B, Tosteson ANA, Blood EA, Birkmeyer NJO, Hilibrand AS, Herkowitz H, Cammisa FP, Albert TJ, Emery SE, Lenke LG, Abdu WA, Longley M, Errico TJ, Hu SS: Surgical versus nonsurgical treatment for lumbar degenerative spondylolisthesis. *N Engl J Med* 356(22):2257-2270, 2007