

Sedat Dalbayrak , Buse Sarıgül *Medicana International Ataşehir Hastanesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Kliniği, İstanbul, Türkiye*
✉ busesarigul90@hotmail.com

Derleme / Review

Geliş tarihi : 08.10.2023

Kabul tarihi : 21.10.2023

Lumbosakral Bileşke Kifoza

Lumbosacral Junctional Kyphosis

ÖZ

Lumbosakral bileşkeyi oluşturan sakral kemiğin hareketsiz bir omur olması, bu bölgede görülen deformitelerde erken dekompenzasyon ve üst tarafta uzun bir kompensatuvar eğriliğe sebep olur. Lumbosakral kifoz (LSK), şiddetli ağrı, nörolojik defisit ve kozmetik görünüşte bozulmaya sebep olur. Öte yandan yüksek evreli spondilolisteziste de hastanın ayakta duruşunu olumsuz yönde etkiler. LSK tanısında hem klinik hem radyolojik bulgular önemlidir. Normal sagittal dizilimde lordoz, en fazla L4-S1 segmentleri arasında olup bu bölgedeki lordoz azalması da LSK olarak düşünülmelidir. Öte yandan LSK için kayma açısı, Boxall kayma açısı, Dubouset-lumbosakral açısı gibi parametreler tanımlanmıştır. Bu patolojinin etiyolojik alt grupları arasında spondilolistetik LSK, enfeksiyöz LSK, iyatrojenik LSK ve sakral fraktüre eşlik eden LSK sayılabilir. Tedavide esas amaç, lumbosakral bölgede lordotik dizilimi sağlamak ve bu sayede sağlıklı bir global sagittal dizilim elde etmektir. Bu amaçla farklı derecelerde korreksiyon sağlayabilen osteotomiler, yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatüre bakıldığında LSK'nın cerrahi tedavisindeki sonuçların yüz güldürücü olduğu görülmektedir. Ancak cerrahi sırasında lumbosakral bileşkede güçlü bir fiksasyon sağlamak, uzun dönem komplikasyonların önlenmesinde oldukça önemlidir.

Anahtar Sözcükler: Lumbosakral bileşke, Lumbosakral kifoz, Yüksek dereceli spondilolistezis, Osteotomi

ABSTRACT

Due to the fact that the sacral bone, which forms the caudal component of the lumbosacral junction is an immobile vertebra, early decompensation and a long malaligned curvature of the spinal column evolve following the deformities of this region. Lumbosacral kyphosis (LSK) may cause severe pain, neurological deficit, and cosmetic deterioration. Moreover, it negatively impacts the standing posture of patients with high-grade spondylolisthesis. Both clinical and radiological findings are essential in the diagnosis of LSK. In normal sagittal alignment, lordosis is highest in between L4-S1 vertebrae, and reduced lordosis in this region should also be considered as LSK. Slip angle, Boxall slip angle, and Dubouset-lumbosacral angle are suggested for the evaluation of LSK. LSK may be categorized as spondylolisthetic LSK, infectious LSK, iatrogenic LSK, and LSK accompanying sacral fractures. The main purpose of management is to maintain the lordotic alignment in the lumbosacral region and, therefore obtain a healthy global sagittal alignment. Different osteotomy techniques offering variable degrees of correction are frequently performed for this purpose. In the literature, studies have shown that surgical management of LSK has favorable outcomes. However, ensuring a strong fixation at the lumbosacral junction intraoperatively is essential for preventing long-term complications.

Keywords: Lumbosacral junction, Lumbosacral kyphosis, High-grade spondylolisthesis, Osteotomy

GİRİŞ

Lumbosakral bölgedeki spinal deformite, bölgenin özellikli anatomisi ve biyomekaniği ile diğer deformitelerden ayrılır. Bu bölgenin kaudalinde hareketli bir omurga olmaması, erken trunkal dekompanseasyona ve üst kısımda uzun bir kompensatuvar eğrilige yol açar (25).

Bu bölgedeki kifotik deformite, kozmetik görünüşte bozulmaya, ağrıya ve nörolojik defisite neden olur (17). Literatürde bu deformitenin korse ile tedavi edildiğini gösteren yeterli kanıt düzeyi mevcut değildir (25). Korse, bu hastalarda kompensatuvar eğrilikte bir miktar radyolojik iyileşmeyi sağlar ancak bunu yaparken dekompanseasyonda artışa neden olur.

Lumbosakral kifoz (LSK), spondilolistezis tanısında önemli bir konsepttir ancak hastaların klinik bulgularına olan etkisi henüz gösterilmemiştir (26). Özellikle yüksek evreli spondilolisteziste oluşan lokal deformite, hastanın duruşunu etkilemektedir. Pelvik retroversiyon, kalça ve diz eklemlerinde fleksiyona sebep olur. Bunun sonucunda da lumbosakral kifoz ile komşu lomber segmentlerde kompensatuvar hiperlordoz ve torakal hipokifoz gelişir (23).

Radyolojik Parametreler

Lomber bölgenin sagittal dizilimi, lomber spinal bozuklukların patogeneğinde önemli rol oynar ve bu dizilim bozulduğunda hastaların yaşam kalitesi düşer. Normal lomber omurganın sagittal dizilimi lordotiktir. Bu lordoz miktarı kişiler arasında değişkenlik göstermektedir. Bernhard ve ark., korreksiyon işlemlerinde hedef değerler belirlemek için torakal ve lomber omurgadaki normal segmental dizilimi incelemiş, lomber/lumbosakral lordoz miktarının kişiden kişiye değiştiğini göstermişlerdir. Öte yandan aynı çalışmada lordoz miktarının üst vertebralardan aşağı doğru ilerledikçe arttığını saptamışlar, L4-S1 segmentleri arasının lomber lordoza en fazla katkısı olduğunu göstermişlerdir. Çoğu dejeneratif ve gelişimsel patoloji, alt lomber ve lumbosakral bölgede görüldüğü için bu seviyelerdeki lordozun azalması da kifotik deformite olarak değerlendirilmeli ve buna göre hastada tedavi planlanmalıdır (3,4).

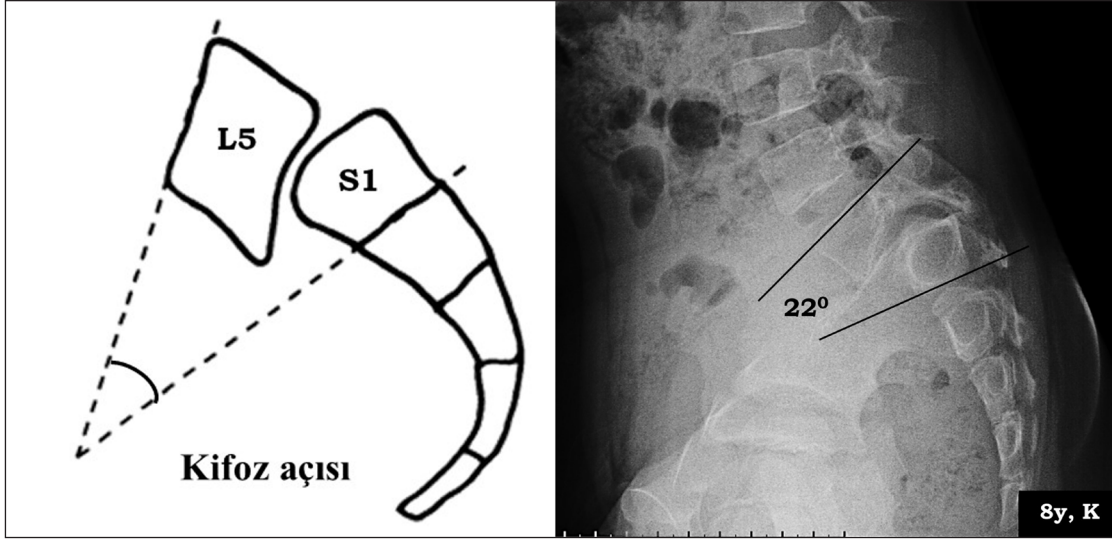
LSK'ü belirlemek için farklı radyolojik parametreler sunulmuştur. Bu değerlerin, klinik bulgular ve spondilolistezis derecelendirmesiyle korrele olduğu gösterilmiştir (26). Boxall ve ark., LSK tanısında ve en iyi cerrahi yaklaşımı belirlemede kayma açısını ölçmeyi önermiştir (7).

Boxall kayma açısı, L5 alt son plağı ile S1 vertebranın posteriorundan dik geçen çizgi arasındaki açıdır. Duboussset, lumbosakral açığı (Dub-LSA) tanımlamış ve cerrahi tedavide başarısızlığı önlemek için bu açının en az 100 derece olmasını önermiştir (10). L5 süperior son plağı ve S1 posterioru arasındaki açıdır. Spinal Deformite Çalışma Grubu'nun belirlediği lumbosakral açı (SDSG-LSA), L5 alt son plak ve S1 üst son plağı arasındaki açıdır. SDSG displastik açı ise L5 süperior son plağı ile S1 süperior son plağı arasındaki açıdır. Sagittal rotasyon, L5'in anterior sınırı ile S1'in posterior sınırı arasındaki açıdır. Kifotik Cobb açısı ise L5 süperior son plağı ve S1 inferior son plağı arasındaki açıdır (Şekil 1) (12).

Pelvik insidans, spinal dengeyi değerlendirmede sıklıkla kullanılan bir parametredir. Ayrıca osteotomi sonrası ne kadar sagittal korreksiyon sağlanabileceği ve deformitenin cerrahinin sonuçlarıyla ilgili de prognostik bir belirteç olarak kullanılmaktadır (22). Öte yandan yüksek dereceli spondilolistezisi olan veya lumbosakral interbody füzyon yapılan hastalarda kubbe şeklindeki sakral son plak, pelvik insidansın ölçülmesini zorlaştırmaktadır. Ayrıca sakral fraktürde S1'in distalinde anatomi bozuk olduğundan, lumbosakral kifozu global lomber lordoz açısıyla (T12-S1) değerlendirmek doğru değildir. Bu amaçla, lumbosakral omurgada sagittal dengeyi değerlendirmek için lumbosakral açı tanımlanmıştır (11,29). Lumbosakral açı, T12 alt son plağı ile S3 ve S4 posteroinferior son plaklarını birleştiren dik çizgi arasındaki açıdır (1).

Spondilolistetik Lumbosakral Kifoz

Yüksek evreli spondilolisteziste global spinopelvik dengede önemli değişiklikler olmaktadır. Bununla birlikte lumbosakral bileşkede de lokal sagittal dengesizlik görülmektedir. Mac-Thiong ve ark., spondilolistezis hastalarını dengeli grup (sakral eğim fazla, pelvik tilt az) ve pelvik retroversiyonu olan grup (sakral eğim az, pelvik tilt fazla) olarak ikiye ayırmış ve iki grup arasında lomber tilt, kayma derecesi, lumbosakral açı, sakral eğim ve pelvik tiltin farklı olduğunu göstermiştir. Pelvik retroversiyonu olan grupta ağırlık merkezi, öne kaymaktadır. Bu da lokal lumbosakral kifoz sonucu oluşan spinal veya foraminal stenozun yarattığı nörolojik kompresyonu ve iritasyonu engellemek için hastanın öne eğilerek rahatlamasıyla açıklanmaktadır. Ayrıca, spondilolistezisin evresi arttıkça pelvik tilt ve pelvik insidans arasındaki korrelasyon bozulmaktadır. Bu hastalarda lokal lumbosakral deformitenin fazla olması, global spinopelvik dengeyi sağlamak için



Şekil 1: Kifotik Cobb açısı.

pelvik tilt artışını gerekli kılmaktadır. Bu kompensasyon mekanizmasında eşik değere ulaşıldığında ise torakal kifozda azalma, global spinopelvik dengeyi kurmakta yardımcı olur (18). Yüksek evreli spondilolisteziste kayma açısının L5-S1 mesafesinde %75'ten fazla olması, prognostik öneme sahiptir. Bu hastalarda lumbosakral kifozla ilişkilendirilebilen kayma açısının düzeltilmesiyle nöral dekompresyon sağlanır ve sagittal lumbosakral oryantasyon dengelenir (Şekil 2) (5). Redüksiyon ile lumbosakral kifozun korreksiyonu, global sagittal dengeyi ve kozmetik görünüşü düzeltirken aynı zamanda torakal hipokifoz ve lomber hiperlordozu da dengeye getirmektedir. Öte yandan bu cerrahilerde nörolojik komplikasyon riski %31 olarak bildirilmiştir. Boachie ve ark., nörolojik hasar riskini azaltmak için nöral dekompresyon, lumbosakral posterolateral füzyon ve enstrümantasyonla birlikte parsiyel kifoz redüksiyonunu önermiştir (5). Altı hastalık serilerinde bu yöntemle nörolojik hasar riskinin, psödoartrozun ve takiplerdeki deformite progresyonunun azaltılabileceğini savunmuşlardır (Şekil 2A, B).

Enfeksiyöz Lumbosakral Bileşke Kifoza

Literatürde, tüberkülozun lumbosakral bileşke tutulumu, %2-3 arasındadır (20). Rathod ve ark.; 42 yaşında kadın hastada, tüberkülozun L2-S1 vertebralari arasında destrüksiyona ve lumbosakral bileşkede kifozu yol açtığını göstermişlerdir. Bu hastada 6 haftalık antitüberküloz tedavisini takiben, posterior dekompresyonla birlikte T10-S2 rekonstrüksiyon yapılmış ve anterior genişleyebilen kafesle desteklenmiştir. Pelvik enstrümantasyonda S2 sakroiliak vida kullanılmıştır (21). Pun ve ark., lumbo-

sakral bileşkede tüberkülozu olan 26 hastalık serilerinde 14 hastada lumbosakral bileşkenin kifotik füzyon gösterdiğini saptamışlardır. Bu hastalarda diğer mobil lomber segmentlerde kompensatuvar lordoz artışı olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca kifotik veya hipolordotik lumbosakral bileşke olan hastalarda ağrı şiddetinin, patolojik vertebra sayısı ve lumbosakral açıda bozulmayla korrele olduğunu saptamışlardır (20).

İyatrojenik Lumbosakral Bileşke Kifoza

Uzun seviye spinal enstrümantasyon, yetişkin spinal deformitede sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Uzun seviye spinal füzyonda füzyon sonlarında, özellikle lumbosakral bileşkede mekanik stres fazladır. Füzyonun L5 seviyesinde sonlanması ile L5-S1 hareket segmenti korunmakta, ancak L5-S1 disk dejenerasyonu riski artmaktadır. Bu disk dejenerasyonu da, sagittal dengesizliğe yol açar. Alt füzyon sınırının S1 olarak belirlenmesi, L5-S1 disk dejenerasyon riskini azaltır ancak bu sefer de psödoartroz riski artar. Sakrumun pedikül vidalarıyla enstrümantasyonunda komplikasyon oranları fazla olduğundan alt spinal bölgede konstrüksiyona iliak fiksasyon eklemek önerilmiştir. Yasuda ve ark., 53 erişkin hastayı değerlendirmiş ve lumbosakral yetmezliğin L5 veya S1de sonlanan pedikül vidalarıyla %24, S1 pedikül vidaları ve iliak vidalarla %7 olduğunu bildirmiştir (30).

Sakral Fraktür ve Lumbosakral Kifoz

Sakral fraktür, özellikle osteoporotik ve uzun segment stabilizasyon yapılan hastalarda sıklıkla görülmektedir ve şiddetli ağrıya sebep olmaktadır. Bu hastalarda fraktüre



Şekil 2: A) Grade 4 displastik spondilolistezis. Preop görüntüler. B) Posterior yaklaşımla reduksiyon ve füzyon sonrası postop görüntüler.

sekonder gelişen kifotik deformite, sagittal dengeyi bozar ve ağrının daha da artmasına neden olur. Kifotik deformite, pelvik insidansı artırır ve kompensatuvar lomber hiperlordoza rağmen bu hastalarda pozitif sagittal denge görülür (13). Lumbosakral bileşkedeki fraktürler, fraktür çizgisinin lumbosakral faset kompleksine göre yerleştiği yere bağlı olarak üç gruba ayrılır. Bunlar; tip 1: fasetin laterali, tip 2: fasete uzanan fraktür, tip 3: faset medialin-

den sentral kanala uzanan fraktürdür (14). Hastalarda tedavi planlaması yapılırken fraktürün mekanik stabilitesi, nörolojik durum, sistemik fizyolojik durum ve beklenen hasta mobilitesi göz önünde bulundurulmalıdır. Yatak istirahati, eksternal ortez, analjezik tedavi gibi seçenekler öncelikle düşünülmelidir. Ancak instabil veya nörolojik defisit olan hastalarda cerrahi planlanmalıdır.

Lumbosakral Kifozun Cerrahi Tedavisi

Lumbosakral eğriliğin in situ füzyonu, primer eğriliğin ilerlemesini önler ancak deformiteyi ve bu bölgenin üzerindeki eğrilikleri düzeltmez (25). Son yıllarda lordoz dağılım indeksi kavramı (L4-S1 lordoz/L1-S1 lordoz *100) ve alt lomber bölgenin lomber lordoza olan katkısı üzerine yapılan çalışmalarda artışla birlikte, LSK'da korreksiyonun en kifotik spinal bölge olan lumbosakral bileşkede yapılması önerilmektedir (11,31). İntervertebral (Smith-Petersen, Ponte) ve intravertebral (PSO, vertebral rezeksiyon) osteotomiler, spinal deformiteye bağlı ağır kifozda yaygın olarak kullanılmaktadır. Öte yandan yüksek pelvik insidans açısı ve yüksek evreli spondilolisteziste lomber hiperlordoz nedeniyle, bu osteotomiler yeterli gelmemektedir. Bu aşamada sakral platoya osteotomi yapılmasıyla pelvik insidans azaltılabilmektedir. Osteotominin sakrum son plağının hemen altındaki ilk sakral korpus veya iliak kanatlara yapılması uygun olmaktadır. İkili Salter ve sakral çıkarma osteotomilerinin, pelvik insidansı azaltmada en etkili yöntemler olduğu gösterilmiştir.

Osteotomiler

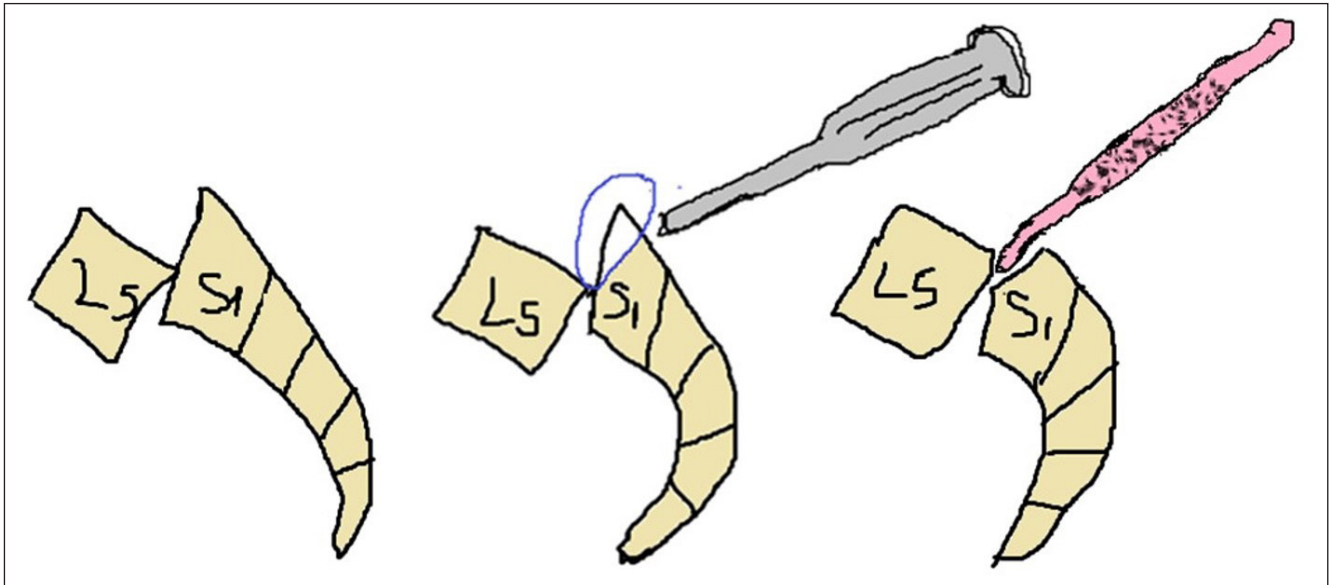
1) Sakral kubbe rezeksiyonu

Özellikle yüksek pelvik insidansı olan veya daha önce füzyon cerrahisi geçirmiş ve fikse lomber eğriliği olan hastalarda uygulanabilir. L5 laminektomi, bilateral L5-S1 Smith-Petersen osteotomi, L5-S1 diskektomi ve S1

korpusunun yarısından fazlasının çıkartıldığı sakral kubbe rezeksiyonu yapılır. (Şekil 3) Ön kolon, interbody kafesle desteklenebilir. Komplikasyonları sakral sinir kökü hasarına bağlı idrar gaita inkontinansı ve L5 hasarına bağlı radikülopatidir (19).

2) S1 pedikül çıkarma osteotomisi

Standart orta hat insizyonu sonrası L3-S2 vertebralari, lateralde transvers çıkıntılara kadar ortaya konulur. L5-S1 ve S1-S2 laminektomi yapılır ve L5 ve S1 sinir kökleri dekomprese edilir. Postoperatif proksimal veya distal komşu segment stenozunu önlemek için bu seviyede yapılacak laminektomi geniş tutulmalıdır (11). S1 pedikülü çıkartıldıktan sonra L5 ve S1 sinir kökleri ortak bir forameninden geçeceğinden bu sinir köklerinde yeterince dekompresyon sağlandığından emin olunmalıdır. Fiksasyon aşamasında L3, L4 ve L5 vertebralara pedikül vidaları ve distalde pelvis fiksasyon vidaları yerleştirilir. Bunun için iliak vidalar veya sakral-alar-iliak vidalar tercih edilebilir. Osteotomi aşamasında öncelikle S1 pedikülleri, motor ve osteotom yardımıyla ortaya konulur. S1 pedikülleri, S1 korpusu sınırına gelene kadar rongeur ile çıkartılır. Sakrumdan kama şeklinde bir parça, apeksi anterior sakral korpus olacak şekilde bilateral çıkartılır. Eğer daha fazla korreksiyon hedefleniyorsa, L5 korpus posteriorunun kaudal kısmı da osteotomiye dahil edilebilir. Disk aralığı açıksa L5-S1 mikrodisektomi yapılması ve interbody kafes yerleştirilmesi önerilir. Sistem, rodlarla sabitlenir ve otogreft veya allogreft ile füzyon uygulanır (9).



Şekil 3: Sakral kubbe rezeksiyonu şematik görünümü.

3) Vertebrektomi

İlk vertebrektomi, Royle tarafından 1928 yılında hemivertebral eksizyonu olarak uygulanmıştır. Daha sonra, kombine anterior ve posterior hemivertebral eksizyonu yapılması önerilmiştir. Hemivertebral eksizyon, tam segmentte hemivertebrada patolojinin direkt çıkarılmasını sağlar ancak anterior ve posterior kolonda aynı anda kontrol sağlayamadığı için sagittal korreksiyon elde etmede etkisi azdır (25).

Enstrümantasyon ve Füzyon

Lumbosakral kifozda stabilizasyon için birçok yöntem mevcuttur. Bunlar; iliosakral vida fiksasyonu, sakroiliak vida fiksasyon, lumbopelvik fiksasyon veya bunların kombinasyonu olarak tanımlanabilir. Biyomekanik açıdan lumbopelvik fiksasyon, tek başına veya sakroiliak fiksasyonla birlikte en fazla stabiliteyi sağlamaktadır. Bu fiksasyon modeli sayesinde sakrumun taşıdığı yük direkt olarak pelvise taşınır. Ayrıca bu teknik, dekompresyon yapılan hastalarda maksimum rijiditeyi sağlamaktadır (24).

1) Sakroiliak fiksasyon

Sakroiliak fiksasyonun, yalnızca S1 fiksasyon yapılmasına kıyasla lomber lordoz, sakral eğim ve pelvik insidans restorasyonunda daha etkili olduğu ve bu yöntemle psödoartroz oranlarının da daha düşük olduğu belirtilmiştir (2). S2-alar-iliak vida fiksasyon yönteminde S2AI vidası; S2 vertebradan, sakroiliak eklemden ve iliumdan geçer. Bu yöntem, klasik iliak vidalamayla benzer güçte fiksasyon sağlamaktadır ancak daha az yumuşak doku diseksiyonu gerektirir (15).

2) İntrasakral rod ile redüksiyon ve fiksasyon

Bu teknikte, posterior yaklaşımla L4-sakrum redüksiyon ve füzyon yapılır. L4-L5-S1 posterior ark çıkartıldıktan ve L4-L5-S1 sinir kökleri bilateral dekomprese edildikten sonra L4 ve L5 vertebralara bilateral pediküler vidalar yerleştirilir. S1 vertebraya multiplanar pediküler vidalar yerleştirilir ve S1 posterior kısmına yönelerek anteriora doğru ilerletilir. L4-5 ve L5-S1 diskektomi sonrası mesafelere L4-5 interbody kafes, L5-S1 kemik greft konulur. Redüksiyon, intrasakral rodlarla sağlanır ve sistem sabitlenir. Thomas ve ark.nın yaptığı bir çalışmada bu teknikte, L5 kayma miktarının %73'ten %17'ye gerilediği, lumbosakral kifozun da 69.8 dereceden 105.13 dereceye kadar azaldığı gösterilmiştir (27).

3) Minimal invazif sakropelvik fiksasyon

Perkütan vida tekniği daha önceden torakolomber omurgada sıklıkla kullanılmaktaydı ancak son zamanlarda floroskopi rehberliği ve 3D navigasyon sayesinde iliak vidaların da minimal invazif yerleştirilmesiyle perkütan cerrahi ile sakropelvik fiksasyon da yapılabilmektedir. Bu yöntemle hem geleneksel iliak vidalama, hem de S2-alar-iliak vidalama uygulanabilir (28).

Komplikasyonlar ve Prognoz

LSK'un cerrahi tedavisinde amaç sagittal dengeyi sağlamak ve lumbosakral bileşkedeki kifozu düzeltmektir ancak bu amaçla yapılan cerrahilerde komplikasyon oranları da fazla olabilmektedir. Funao ve ark., L5 veya sakrum seviyesinde PSO yapılan 25 LSK vakasında postoperatif klinik ve radyolojik sonuçların iyi olduğunu ve bu cerrahideki komplikasyon oranının, üst seviyelerde yapılan PSO cerrahisi ile benzer olduğunu sunmuşlardır (11). Öte yandan, SVA 5 cm ve üzeri olan ve lumbosakral açısı 20 dereceden az olan vakalarda klinik düzelmenin daha az olduğu belirtilmiştir. Bodin ve Raussouly ise spondilopitoz ve lumbosakral yetmezliği olan hastalarda osteotominin sağladığı pelvik insidans redüksiyonunun başarılı sonuçlar verdiğini sunmuştur (6).

Erişkin spinal deformiteli hastalarda uzun posterior spinal füzyondan 7.8 yıl sonra proksimal bileşke kifozu gelişme oranı %39 olarak bildirilmiştir (16). Bridwell ve ark., PJK açısının 20 derece üzerinde olmasının, düşük SRS-22 skorlarıyla sonuçlandığını göstermiştir. (8). Rijid sakropelvik enstrümantasyon, torakal kifozda artışa ve bunun sonucunda PJK'ya yol açabilmektedir. Ancak fleksiyon hareketine direnç gösterebilmek için lumbosakral bileşkede güvenli ve güçlü bir fiksasyon sağlamak şarttır.

KAYNAKLAR

1. Abitbol MM: Evolution of the lumbosacral angle. Am J Phys Anthropol 72(3):361-372, 1987
2. Baek SW, Park YS, Ha KY, Suh SW, Kim C: The analysis of spino-pelvic parameters and stability following long fusions with S1, S2 or iliac fixation. Int Orthop 37(10):1973-1980, 2013
3. Bernhardt M, Bridwell KH: Segmental analysis of the sagittal plane alignment of the normal thoracic and lumbar spines and thoracolumbar junction: Spine 14(7):717-721, 1989

4. Berven S, Wadhwa R: Sagittal alignment of the lumbar spine. *Neurosurg Clin North Am* 29(3):331-339, 2018
5. Boachie-Adjei O, Do T, Rawlins BA: Partial lumbosacral kyphosis reduction, decompression, and posterior lumbosacral transfixation in high-grade isthmic spondylolisthesis: Clinical and radiographic results in six patients. *Spine (Phila Pa 1976)* 27(6):E161-168, 2002
6. Bodin A, Roussouly P: Sacral and pelvic osteotomies for correction of spinal deformities. *Eur Spine J* 24 Suppl 1:S72-82, 2015
7. Boxall D, Bradford DS, Winter RB, Moe JH: Management of severe spondylolisthesis in children and adolescents. *J Bone Joint Surg Am* 61(4):479-95, 1979
8. Bridwell KH, Lenke LG, Cho SK, Pahys JM, Zebala LP, Dorward IG, Cho W, Baldus C, Hill BW, Kang MM: Proximal junctional kyphosis in primary adult deformity surgery: Evaluation of 20 degrees as a critical angle. *Neurosurgery* 72(6):899-906, 2013
9. Bronson WH, Dai A, Protosaltis T: S1 pedicle subtraction osteotomy for fixed sagittal imbalance and lumbosacral kyphosis. *Clin Spine Surg* 32(6):233-236, 2019
10. Dubousset J: Treatment of spondylolysis and spondylolisthesis in children and adolescents. *Clin Orthop Relat Res* (337):77-85, 1997
11. Funao H, Kebaish FN, Skolasky RL, Kebaish KM: Clinical results and functional outcomes after three-column osteotomy at L5 or the sacrum in adult spinal deformity. *Eur Spine J* 29(4):821-830, 2020
12. Glavas P, Mac-Thiong JM, Parent S, de Guise JA, Labelle H: Assessment of lumbosacral kyphosis in spondylolisthesis: A computer-assisted reliability study of six measurement techniques. *Eur Spine J* 18(2):212-217, 2009
13. Hsieh PC, Ondra SL, Wienecke RJ, O'Shaughnessy BA, Koski TR: A novel approach to sagittal balance restoration following iatrogenic sacral fracture and resulting sacral kyphotic deformity. Technical note. *J Neurosurg Spine* 6(4):368-372, 2007
14. Isler B: Lumbosacral lesions associated with pelvic ring injuries. *J Orthop Trauma* 4(1):1-6, 1990
15. Kebaish KM, Gunne APT, Mohamed A, Zimmerman R, Phebe K, Skolasky Jr. R, O'Brien J, Sponseller P: A new low profile sacro-pelvic fixation using S2 alar iliac (S2AI) screws in adult deformity fusion to the sacrum: A prospective study with minimum two- year follow-up: E-Poster #21. *Spine J Meeting Abstracts* 10:170, 2009
16. Kim MK, Lee SH, Kim ES, Eoh W, Chung SS, Lee CS: The impact of sagittal balance on clinical results after posterior interbody fusion for patients with degenerative spondylolisthesis: A pilot study. *BMC Musculoskeletal Disord* 12:69, 2011
17. Leatherman KD: The management of rigid spinal curves. *Clin Orthop Relat Res* 93:215-224, 1973
18. Mac-Thiong JM, Wang Z, de Guise JA, Labelle H: Postural model of sagittal spino-pelvic alignment and its relevance for lumbosacral developmental spondylolisthesis. *Spine (Phila Pa 1976)* 33(21):2316-2325, 2008
19. Pennington Z, Ahmed AK, Goodwin, CR, Westbroek, EM, Sciubba DM: The use of sacral osteotomy in the correction of spinal deformity | technical report and systematic review of the literature. *World Neurosurgery* 130:285-292, 2019
20. Pun WK, Chow SP, Luk KD, Cheng CL, Hsu LC, Leong JC: Tuberculosis of the lumbosacral junction. Long-term follow-up of 26 cases. *J Bone Joint Surg Br* 72(4):675-678, 1990
21. Rathod T, Sathe A, Kolar S: Multidrug-resistant tuberculosis of lumbosacral spine producing extensive destruction with lumbosacral kyphosis. *BMJ Case Rep* 13(5):e234246, 2020
22. Rose PS, Bridwell KH, Lenke LG, Cronen GA, Mulconrey DS, Buchowski JM, Kim YJ: Role of pelvic incidence, thoracic kyphosis, and patient factors on sagittal plane correction following pedicle subtraction osteotomy. *Spine (Phila Pa 1976)* 34(8):785-791, 2009
23. Roussouly P, Pinheiro-Franco JL: Biomechanical analysis of the spino-pelvic organization and adaptation in pathology. *Eur Spine J*. 20 Suppl 5(Suppl 5):609-18, 2011. doi: 10.1007/s00586-011-1928-x. Epub 2011 Aug 2. PMID: 21809016; PMCID: PMC3175914.
24. Schildhauer TA, Bellabarba C, Nork SE, Barei DP, Routh Jr ML, Chapman JR: Decompression and lumbopelvic fixation for sacral fracture-dislocations with spino-pelvic dissociation. *J Orthop Trauma* 20(7):447-457, 2006
25. Suk SI, Chung ER, Lee SM, Lee JH, Kim SS, Kim JH: Posterior vertebral column resection in fixed lumbosacral deformity. *Spine (Phila Pa 1976)* 30(23):E703-710, 2005
26. Tanguay F, Labelle H, Wang Z, Joncas J, de Guise JA, Mac-Thiong JM: Clinical significance of lumbosacral kyphosis in adolescent spondylolisthesis. *Spine (Phila Pa 1976)* 37(4):304-308, 2012
27. Thomas D, Bachy M, Courvoisier A, Dubory A, Bouloussa H, Vialle R: Progressive restoration of spinal sagittal balance after surgical correction of lumbosacral spondylolisthesis before skeletal maturity. *J Neurosurg Spine* 22(3):294-300, 2015

28. Wang MY, Williams S, Mummaneni PV, Sherman JD: Minimally invasive percutaneous iliac screws: Initial 24 case experiences with CT confirmation. *Clin Spine Surg* 29(5):E222–E225, 2016
29. Wiltse LL, Winter RB: Terminology and measurement of spondylolisthesis. *J Bone Joint Surg Am* 65(6):768-772, 1983
30. Yasuda T, Hasegawa T, Yamato Y, Kobayashi S, Togawa D, Banno T, Arima H, Oe S, Matsuyama Y: Lumbosacral junctional failures after long spinal fusion for adult spinal deformity- which vertebra is the preferred distal instrumented vertebra? *Spine Deform* 4(5):378-384, 2016
31. Yilgor C, Sogunmez N, Yavuz Y, Abul K, Boissiere L, Haddad S, Obeid I, Kleinstück F, Perez-Grueso FJS, Acaroglu E, Mannion AF, Pellise F, Alanay A, ESSG: Relative lumbar lordosis and lordosis distribution index: Individualized pelvic incidence-based proportional parameters that quantify lumbar lordosis more precisely than the concept of pelvic incidence minus lumbar lordosis. *Neurosurg Focus* 43(6):E5, 2017