



Deformite Cerrahisinde Dinamik ve Dinamik-Hibrid Enstrümantasyon

Dynamic and Dynamic-Hybrid Instrumentation in Spinal Deformity Surgery

Tunç ÖKTENOĞLU¹, Ali Fahir ÖZER²

¹Amerikan Hastanesi, Nöroşirürji Bölümü, İstanbul, Türkiye

²Koç Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Nöroşirürji Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Yazışma Adresi: Tunç ÖKTENOĞLU / E-posta: tuncoktenoglu@gmail.com

ÖZ

Omurga deformiteleri omurga cerrahisinin en problemlili konularından birisidir. Deformitelerin çeşitliliği, oluş mekanizmalarının farklılığı, tedavi yöntemlerinde büyük farklılığa neden olmaktadır. Bir diğer önemli sorun da deformite ile birlikte omurgada instabilite olmasıdır. Omurga deformitesinin cerrahi tedavisinde amaç, var olan deformitelerin düzeltilmesi ve stabil hale getirilmesidir. Bu nedenle, özellikle füzyon yöntemi olmak üzere, osteotomiler ve enstrümantasyon hemen her olguda uygulanmaktadır. Diğer yandan füzyon cerrahisinin uzun yıllar kullanımı ile birlikte tekniğin neden olabileceği komplikasyonların görülmesi ve sonrasında oluşan ciddi yan etkileri nedeniyle, yeni bazı stabilize teknikleri geliştirilmeye çalışılmaktadır. Son yıllarda deformite cerrahisinde posterior dinamik sistemlerin ve hibrid sistemlerin üzerinde durulmaktadır. Füzyon tekniğinde olabilecek bazı önemli komplikasyonları elimine etmesi ve bazı sorunları da minimize etmesi, dinamik sistemlerin önemli avantajıdır. Yapılan çalışmalar ve kısa süreli sonuçlar bu yeni tekniklerin deformite tedavisinde etkin rol oynayabileceği konusunda ümit vermektedir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Omurga deformitesi, Posterior dinamik stabilizasyon, Hibrid sistemler

ABSTRACT

Spinal deformity is one of the problematic issues of spine surgery. The variety of spinal deformities, the differences in pathomechanism cause different treatment methods. Another important factor is some deformities exist with spinal instability. The aim of surgical treatment in spinal deformity is to correct the existing deformities and to stabilize the spine. Therefore, particularly the fusion method, osteotomies and instrumentation applied to almost all cases. On the other hand, the well known complications and side effects of fusion method lead researchers to develop new techniques to stabilize the spine. In recent years, posterior dynamic and hybrid systems are used in deformity. These new systems have the advantages such as to eliminate some complication and minimize some problems that occurs following fusion method. The reports including short term follow-up with dynamic an/or hybrid systems encourage spine surgeons to use these systems in the treatment of spinal deformity.

KEYWORDS: Spine deformity, Posterior dynamic stabilization, Hybrid systems

DEFORMİTE CERRAHİSİNDE DİNAMİK ve DİNAMİK-HİBRİD ENSTRÜMENTASYON

Omurga deformiteleri üç tipe ayrılır; 1) sagittal plan deformitesi (ör: kifoz, translyasyon), 2) koronal plan deformitesi (ör: skolyoz, translyasyon), 3) aksiyal plan deformitesi (ör: rotasyon). Her tip deformitenin tedavi yöntemi farklılık gösterir. Sadece rotasyonel deformitesi olan olgular genellikle düzeltici cerrahiye gereksinim göstermezler. Diğer yandan, çoğu hastada birden fazla tip deformite çeşidi vardır. Örneğin, bir dejeneratif lomber skolyoz olgusunda hem rotasyonel hem de kifotik deformite vardır. Buna ek olarak birçok olguda da deformiteler birden fazla seviyeyi etkilemektedir. Bir diğer önemli konuda deformitelerin önemli bir kısmının instabilite ile birlikte olmasıdır. Panjabi akut instabilite dışında bir de kronik instabilite kavramını ortaya koymuştur. Deformite ile birlikte olan instabilite çoğunlukla, zaman içerisinde gelişen

kronik bir instabilitedir. Tüm bu birbirini etkileyen faktörler nedeniyle deformite cerrahisi, omurga cerrahisinin en problemlili konularından birisidir.

Omurga deformitesinin cerrahi tedavisinde amaç, var olan deformitelerin düzeltilmesi ve stabil hale getirilmesidir. Bu nedenle, özellikle füzyon yöntemi olmak üzere, osteotomiler ve enstrümantasyon hemen her olguda uygulanmaktadır.

Füzyon Cerrahisi

Omurgada ilk kez füzyon cerrahisi 1911 yılında Albee tarafından Pott hastalığının tedavisinde kullanılmıştır. Aynı yıl içerisinde Hibbs, füzyon yöntemini omurga deformitesinin tedavisinde kullanmıştır (25). Füzyon gelişme hızını ve füzyon oluşma olasılığını belirgin oranda arttıran teknolojiye gelişmelerin (ör: metal implantlar, sentetik kemikler, kemik büyüme faktörleri, vs) katkısı ile, özellikle son 50 yılda, omurga instabi-

litesine yol açan çeşitli patolojilerin tedavisinde füzyon yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde omurga instabilitesinin cerrahi tedavisinde "altın standart" olarak kabul edilmektedir (7,28,65,68). Diğer yandan füzyon yönteminde, füzyon yapılan segmentlere komşu segmentlerde daha fazla yüklenme olmaktadır (11,40). Bu da sonuçta, füzyon bölgesine komşu segmentlerde, dejeneratif değişikliklerin hızlanmasına yol açmaktadır (2,41,42,43,47).

Klinik Bulgular

Klinik olarak yakınmaya neden olan ve bulgu veren tablo "komşu segment hastalığı" olarak adlandırılır (Şekil 1). Bu klinik tabloyu oluşturan patolojiler, dejeneratif disk hastalığı, disk herniasyonu, dejeneratif spondilolistezis, segmental instabilite, dar kanal, faset eklem dejeneratif artrit ve proksimal bileşke kifozu gibi durumları içermektedir.

Bazı yazarlar, füzyon sonrası gelişen komşu segmentteki dejeneratif değişikliklerin klinik önemi olmadığını bildirmişlerdir (39,42,44). Lehmann ve ark. (42), lumbosakral füzyon yapılan 32 hastanın en az 21 yıllık takiplerinde hastaların %45'inde üst komşu segmentte radyolojik instabilite saptadıklarını ancak bu deformitenin klinik yakınmaya neden olmadığını bildirdiler. Kumar ve ark. (39), füzyon yapılan ve yapılmayan olguların 30 yıllık uzun dönem takip sonuçlarını yayınladılar. Yaptıkları çalışmada, füzyon uygulanan hastaların füzyon segmentine üst komşu segmentte dejeneratif değişikliklerin görülme ora-

nının füzyon yapılmayan olgulara göre iki kat fazla olduğunu ancak bu radyolojik farkın klinik bir yansımasının olmadığını bildirdiler.

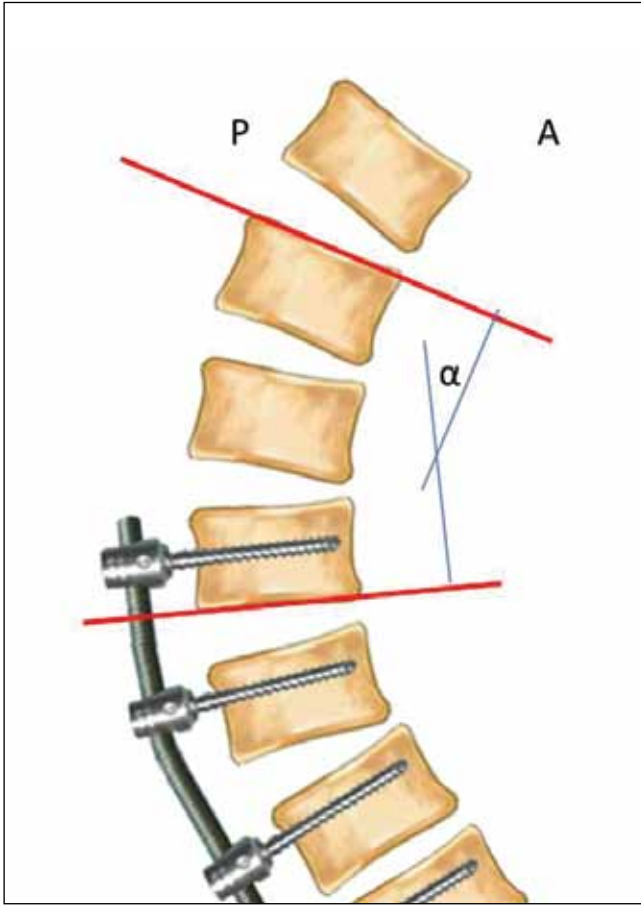
Diğer yandan, Rahm ve Hall (54) füzyon yaptıkları 49 hastanın 5 yıllık sonuçlarında, hastaların %35'inde klinik bulgu veren komşu segment hastalığı geliştiğini bildirdiler. Benzer şekilde Etebar ve Cahill (17) füzyon uygulanan 125 hastanın yaklaşık 4 yıllık takip sonuçlarında, hastaların %18'inde semptomatik komşu segment hastalığı geliştiğini yayınladılar.

Leong ve ark. (43), anterior füzyon yapılan 40 hastanın 10 yıllık takiplerinde %52.5 oranında komşu segmentte disk dejenerasyonu geliştiğini bildirdiler.

Özellikle birden fazla segmenti içeren deformitenin tedavisinde uygulanan uzun segment enstrümantasyonu sonrasında, proksimal bileşke kifotik deformitesi gelişebilmektedir (Şekil 2,3A-D). Adölesan çağ idiopatik skolyoz cerrahisi sonrası olgularda %30'dan az, erişkin yaş deformite cerrahisi sonrası olgularda %35'den fazla oranda, proksimal bileşke kifotik deformitesi gelişmektedir (24,34,35,64,67). Yoon ve ark. (24), omurga deformitesi nedeniyle uzun segment enstrümantasyon ve füzyon uyguladıkları 89 hastanın iki yıllık takip sonuçlarını yayınladılar. Hastaların %11.2'sinin (10/89 hasta) gelişen proksimal bileşke kifozu nedeniyle ve %38.2'sinin (34/89 hasta) diğer nedenler ile (psödoartroz, implant çökmesi, enfeksiyon, ağrı kaynağı implant) tekrar opere olduklarını bildirdiler.



Şekil 1: L4-5 spondilolistezis nedeniyle L4-5 füzyon yapılan hastada postop 2. yılda bel ve bacak ağrıları nedeniyle yapılan MR tetkiki (Sagittal T2). L3-4 mesafesinde gelişen komşu segment hastalığı görülmekte.



Şekil 2: Uzun posterior enstrümantasyon sonrası proksimal bileşkede kifotik angulasyon gelişimi (sagittal plan görünümü, A;anterior ve B; posterior). En üst enstrümente edilen vertebra korpusunun alt "end-plate"ine çekilen dik açılı hat ile, en üst enstrümente edilen vertebra'nın, iki üstündeki vertebra'nın üst "end-plate"ine çekilen dik açılı hattın kesişim yerindeki açı (alfa) ölçülür. Bu açı değerinin 1) 10 dereceden büyük olması ve 2) preop değerle karşılaştırıldığında 10 dereceden fazla artmış olması halinde proksimal kifotik deformite geliştiği saptanır.

Yapılan çalışmalar ve klinik gözlemler sonucunda rijid stabilizasyon tekniğinde anormal sagittal balans gelişme riski olduğu gösterilmiştir. Cerrahi sırasında omurga dizilimi bozulursa komşu posterior kolona olan yüklenme normalin çok üstüne çıkar. Faset eklemleri, sıyrılma güçlerinin oluşturduğu artan bu stres nedeniyle çabuk dejenere olarak komşu segment hastalığına neden olur (1,17,38,56,57,60). Bunun yanında, bir üstteki disk dejenere ise füzyondan sonra dejenerasyon süreci hızlanabilir (26,38).

Lomber dar kanal nedeniyle yapılan füzyonlarda komşu segment hastalığı olasılığı yüksektir. Bunun nedeni de, dar kanalın dejenerasyonun bir bulgusu olması ve bu hastalarda füzyondan sonra diğer segmentlerin artan bu stresi kaldıracak kapasitelerinin çok fazla olmamasıdır (23).

Yaş önemli bir faktör olup 55 yaş üzerindeki füzyonlarda komşu segment hastalığı olasılığı yüksektir. Yaşa bağlı yaygın

bozulma nedeniyle füzyondan sonra komşu segment artan stresi kaldıramaz denilmektedir (1,3,17,38,54,66).

Klinikte gözlemlenen rijid stabilizasyon sonrası komşu segment hastalığı biyomekanik çalışmalar ile de desteklenmiştir. Cunningham ve ark (11), kadavra omurgası ile yaptıkları çalışmada, rijid enstrümantasyonun üst komşu disk dokusunda aksiyel kompresif ve fleksiyon yüklenmelerinde %45 daha fazla yük artışına yol açtığını gösterdiler.

Görüldüğü gibi deformite cerrahisinde kullanılan füzyon yöntemi, erken dönemde sorunları çözsede, önemli bir hasta grubunda (%30) geç dönemde komşu segment hastalığına neden olmaktadır (5,9,14).

Dinamik Stabilizasyon

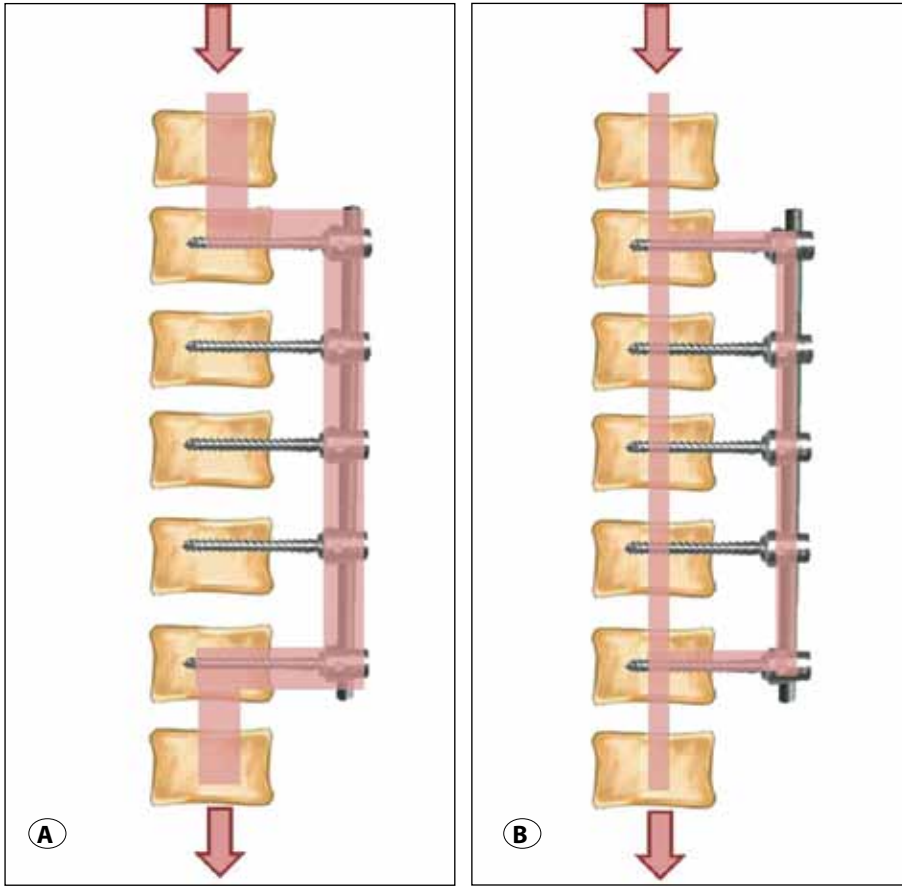
Omurgada füzyonun yarattığı problemler ve sınırlamalar, hareketi koruyucu stratejilerin gelişmesine neden oldu. Son yıllarda yapay nukleus replasmanı (37,55), yapay disk replasmanı (10,21) ve posterior dinamik stabilizasyon (19,20,22,27,45,49,59) tekniklerinin, dejeneratif omurga deformitesi tedavisinde kullanımı ile ilgili çalışmalar gittikçe artan sayıda yayınlanmaktadır.

Posterior dinamik stabilizasyon tekniği, omurgaya füzyon için uygulanan posterior rijid stabilizasyon tekniğinden farklı olarak, omurgaya uygulanan yükü omurga ile paylaşarak taşır. Rijid sistemde yük omurga ile paylaşılmaz (Şekil 4A,B) (4). Rijid sistemde enstrümente edilen segmentler hareketsiz kalırlar ve uzun kemik gibi davranırlar. Bu nedenle, omurga doğal hareket aralığına ulaşabilmek için enstrümente edilen segmentlerin komşu segmentlerdeki hareketi arttırır ve buda komşu segmentelerde yük artışına neden olur (40). Instrumente edilen segment ile ona komşu enstrümente edilmeyen segment arasındaki belirgin yüklenme (stres) farkı, deformite gelişimine zemin hazırlar (36).

Yukarıda sayılan tüm bu nedenlerden dolayı son yıllarda deformite cerrahisinde dinamik ve hibrid enstrümantasyon tekniklerinin füzyona alternatif olarak kullanılması gündeme gelmiştir. Kronik instabilite ile giden omurga deformiteleri son yıllarda gittikçe artan oranda posterior dinamik stabilizasyon teknikleri ile tedavi edilmektedir. Bu konuda ilk kez 1992 yılında Henry Graf (19) dejeneratif disk hastalığı tedavisinde kendi adını verdiği dinamik yapay ligamanı kullanmıştır. Ancak Graf ligamanının, kompresyon yolu ile stabilizeyi sağlarken, nöral forameni daraltması ve hiperekstansiyonda gevşemesi nedeniyle bu eksiklikleri gidermek amacı ile Dynesiss sistemi geliştirilmiştir (13). Bu sistemde vidalar arasına konan ayırıcılar (spacer) vasıtası ile foraminal daralma önlenmiştir. Ayrıca yapılan biyomekanik çalışmalar ile bozuk olan segmentte dağılmış nötral zonu stabilize ettiği gösterilmiştir (4,46). Dynesis sistemi koronal ve sagittal balans bozukluğu olmayan ama dejeneratif deformitesi olan hastalarda kullanılmış ve başarılı sonuçlar yayınlanmıştır (12,58). Ancak uzun segmentte kullanılan hastalarda ayırıcıların düz deformite sendromuna yol açtığı ifade edilmektedir. Bizim kendi deneyimizde hastaya ameliyat öncesi nötr pozisyon verip, vidaları yerleştirdikten sonra masayla hafif hiperekstansiyon



Şekil 3: **A)** Kifotik deformite olgusu (lateral direkt grafi), **B)** Uzun segment rijid fiksasyon uygulaması (lateral direkt grafi), **C)** Postop 6. ayda yapılan sagittal tomografi tetkikinde proksimal kifotik deformite geliştiği görüldü, **D)** Hasta tekrar opere edilerek enstrümantasyon proksimale doğru uzatıldı.



Şekil 4: A) Posterior rijid enstrümantasyonda omurgadan geçen yük metalik fiksasyon sistemi üzerinden transfer edilir. **B)** Posterior dinamik stabilizasyon tekniğinde omurgadan geçen yük, metalik enstrümantasyon ve omurga arasında paylaştırılır.

pozisyonuna getirerek kord ve spacerlar yerleştirildiğinde hastanın ameliyat öncesi balansı bozuk olsa bile bir miktar düzelme sağlamak mümkündür (Şekil 5).

Dinamik sistemde diğer bir gelişme de, aslında konulan grefte daha fazla yük bindirerek füzyon olasılığını artırmak için düşünülen eklemliler vidaların, bazı hastalarda füzyon gelişmemesine rağmen bozuk segmenti stabilize ettiğinin izlenmiş olmasıdır. Bu teknik ile, füzyon yapılmadan tedavi edilen olgu serilerinden iyi sonuçlar alındığı ortaya konmuştur (61,62,63).

Burada karşımıza çıkan en önemli soru, dinamik sistemlerin de rijid sistemler kadar stabilize edici etkilerinin olup olmadığıdır. Bu konuda çok fazla sayıda biyomekanik çalışma maalesef yoktur. Ancak yapılan çeşitli çalışmalar dinamik sistemlerin omurgayı rijid sistemler kadar etkin bir şekilde stabilize edebildiğini göstermiştir (4,6,46,50,57).

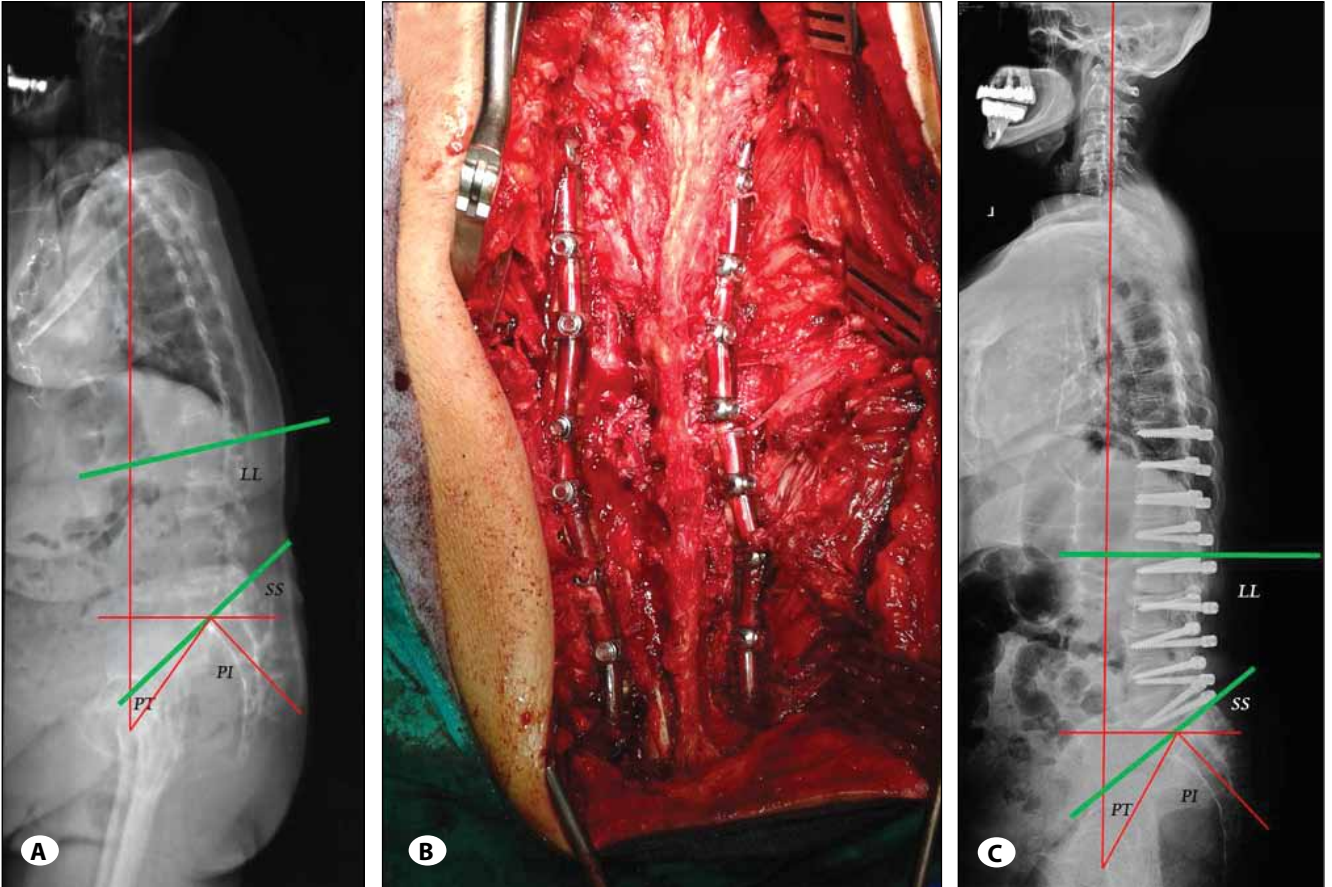
Tek seviye kullanımlarında bir sorun çıkmazken birden fazla seviyeyi içeren deformite tedavisi gibi uzun segment kullanımlarında gerek Dynesis tekniğinde gerilen rod adeta rijid bir rod gibi davranacağından ve gerekse eklemliler vida sisteminde uygulanan rijid rod, seviye sayısı arttıkça posterior kolonu rijid hale getireceğinden, her iki sistem içinde tam bir dinamizmden bahsedemeyiz. Dinamik rod kullanan sistemler, teorik olarak bozulan bir omurgada ki bu bozulma bir veya

daha fazla hareket segmentte olabilir, posterior gerilim bandını güçlendirerek omurgayı stabilize etmektedir. Bizim savımız posterior gerilim bandını destekleyen ve sağlıklı hareketini sağlayacak olan dinamik rodun, omurgaya sağlıklı ve sıkı bir şekilde tutturulmasıdır. Birden fazla seviyenin stabilizasyonu yani deformitenin çözümünde ancak bu şekilde olabilir. Rijid vidalar ile eklemliler vidaları karşılaştırdığımız sonlu eleman (finite element) çalışmasında, rijid vidaların büyük stress altında kaldığını ancak dinamik vidalarda stresin çok daha az olduğunu gösterdik (Şekil 6) (50). Bu nedenle dinamik rod omurgaya tutturacak en sağlıklı yöntemin dinamik vidalar ile olacağını düşünüyoruz. Bu amaca yönelik olarak posterior gerilim bandının hareketlerine uyumlu olabilecek daha esnek bir rod dizayn ettik (Talin). Hem sonlu eleman çalışması ve hemde kadavra çalışması olarak yaptığımız iki ayrı biyomekanik çalışmada, bozulmuş olan nötral zonu, normal omurga nötral zon hareket aralığına en yakın şekilde restore ettiğini gördük (Şekil 7A,B). Bu dinamik stabilizasyonda yeni bir kavramdır. Çalışmalar ve kısıtlı hasta uygulamaları, dinamik rod omurgaya tutturacak en sağlıklı yöntemin dinamik vidalar ile olacağını savımızı haklı çıkarmıştır (Şekil 8A-D) (50). Kronik deformite tedavisinin anahtarı olmasına karşın markette Talin roda benzer esneklikde rod yoktur, sadece tek mesafe stabilizasyonlarda benzer esneklikde olan BalanC rod (Medtronic, USA) kullanılmaktadır. Tek seviyede dinamik

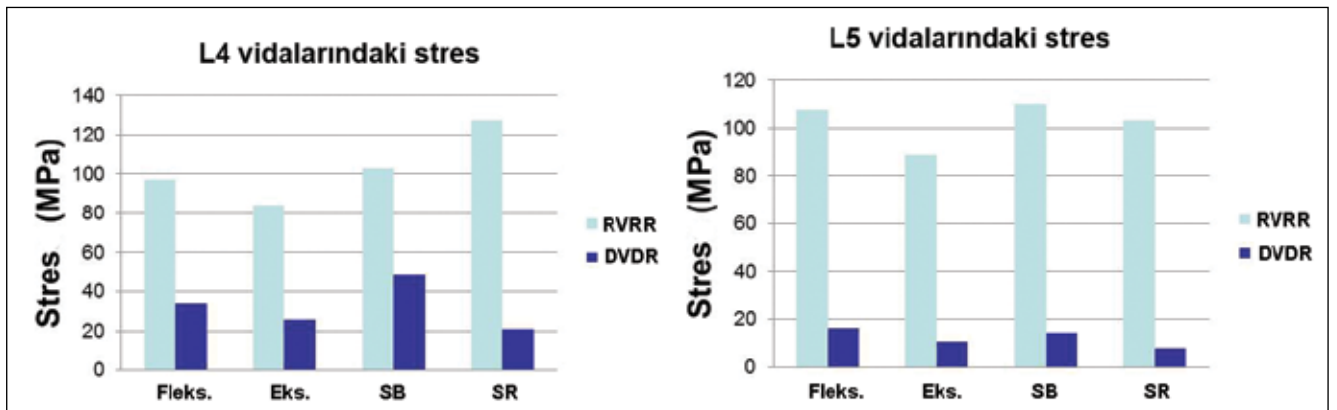
rod ve dinamik vida kombinasyonunun bile hareket segmentinin normale yakın fonksiyonlarını sağlayabilmektedir (Şekil 9A,B).

Tek seviyeli deformitelerde kendi kliniğimizde yapılan bir çalışmada, dejeneratif spondilolistezis olgularında füzyon ile dinamik sistemler karşılaştırılmıştır. Dinamik sistemlerin füzyon kadar etkili olduğu görülmüştür. Dejeneratif deformitesi olan olgularda aşikar bir instabilite yok ise bu hastalar poste-

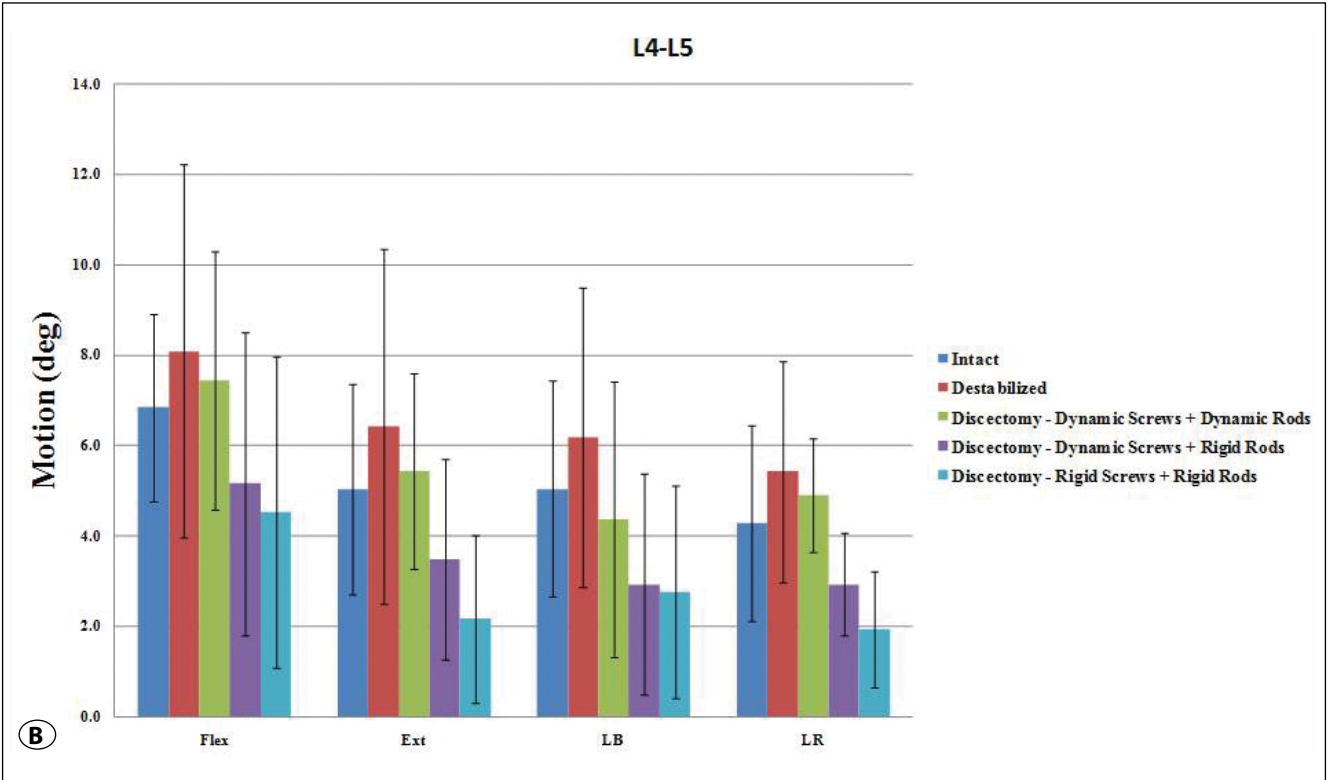
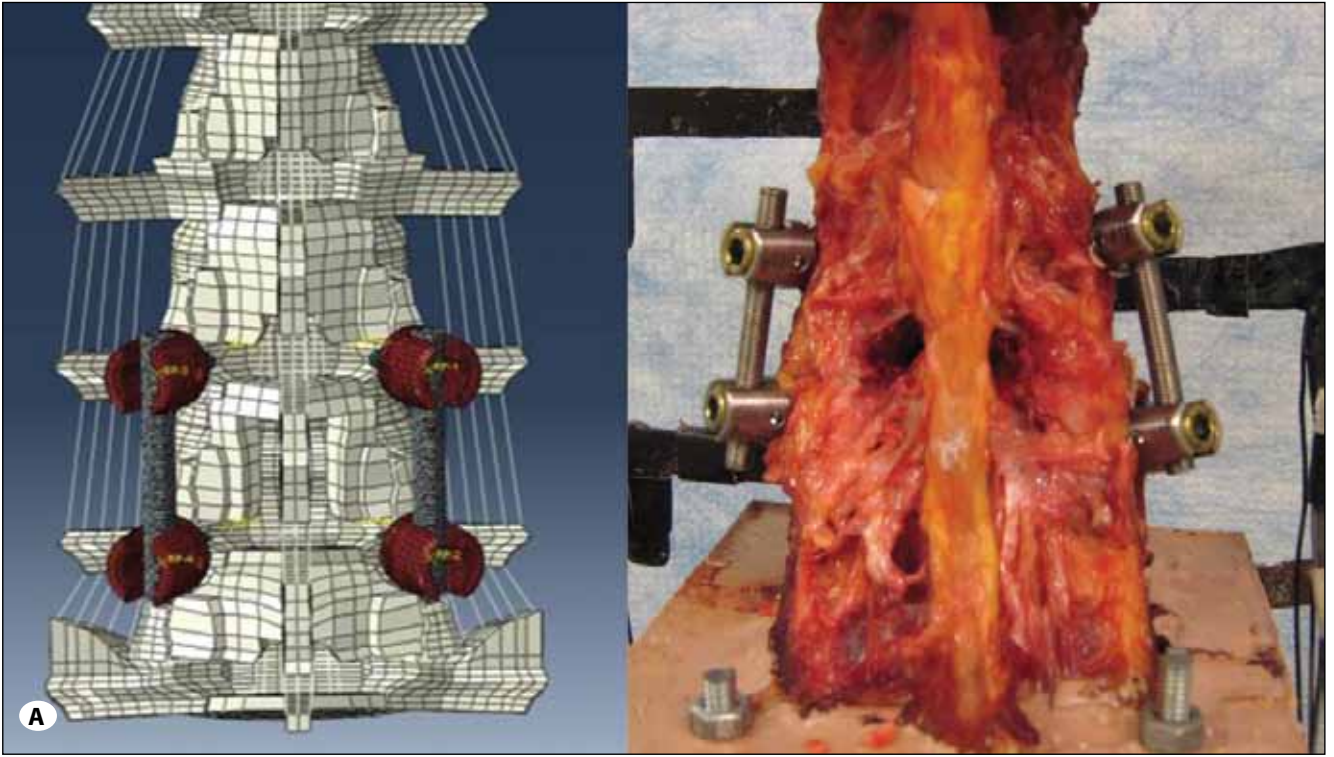
rior dinamik stabilizasyon teknikleri ile tedavi edilebilirler (29) (Şekil 10A,B). Bizim klinik tecrübemizde bu görüşü desteklemektedir (8,15,16,18,30,31,32,33,48,51,52,53). Diğer yandan deformiteye eşlik eden instabilite aşikar ise tedavide hibrid sistemler kullanılabilir. Bu teknikle amaç, füzyonu sadece deformitenin aşikar instabil olduğu segmentlerine yapmak ve diğer segmentleri füzyon yapmadan stabilize etmektir.



Şekil 5: A) Sagittal inbalansda bozulma var, sagittal vertebral aksisin pelvise olan uzaklığı artmış ve PI ve PT de artma var. B) Cerrahi sırasında Dynesys sisteminin yerleştirilmesi, C) Ameliyat sonrası pelvik parametrelerdeki düzelme izlenmektedir.



Şekil 6: Sonlu eleman biyomekanik çalışmasında dinamik sistem (dinamik vida-dinamik rod; DVDR) vidalarına uygulanan stres, rijid sistem (rijid vida-rijid rod; RVR) vidalarındaki stresden, tüm yüklenme koşullarında daha az olarak ölçülmüştür. (Fleks; Fleksiyon, Eks; Ekstansiyon, SB; Sola lateral bending, SR; sola rotasyon).



Şekil 7: A) Dinamik vida dinamik rod sisteminin hem sonlu eleman hem de kadavra çalışmalarında testleri yapıldı. Bozulmuş olan nötral zonu restore ettiği görüldü. **B)** rijid vida-rijid rod ve dinamik vida-rijid rod kullanılan sistemlerin nötral zonu restore ettiği ancak hareketi ileri derecede kısıtladığı görülmektedir. Dinamik vida- dinamik rod kullanılan sistemde bozulmuş olan nötral zon intakt omurgaya en yakın şekilde restore edilmiştir.

Scharzenbach ve ark. (58), dejeneratif disk hastalığı için hibrid bir sistem uyguladıkları 31 hastanın ortalama 39 aylık takip sonucunda hem füzyon gelişimi açısından ve hemde klinik yakınmaların düzelmesi yönünden istatistiki olarak anlamlı ölçüde iyileşme olduğunu bildirdiler.

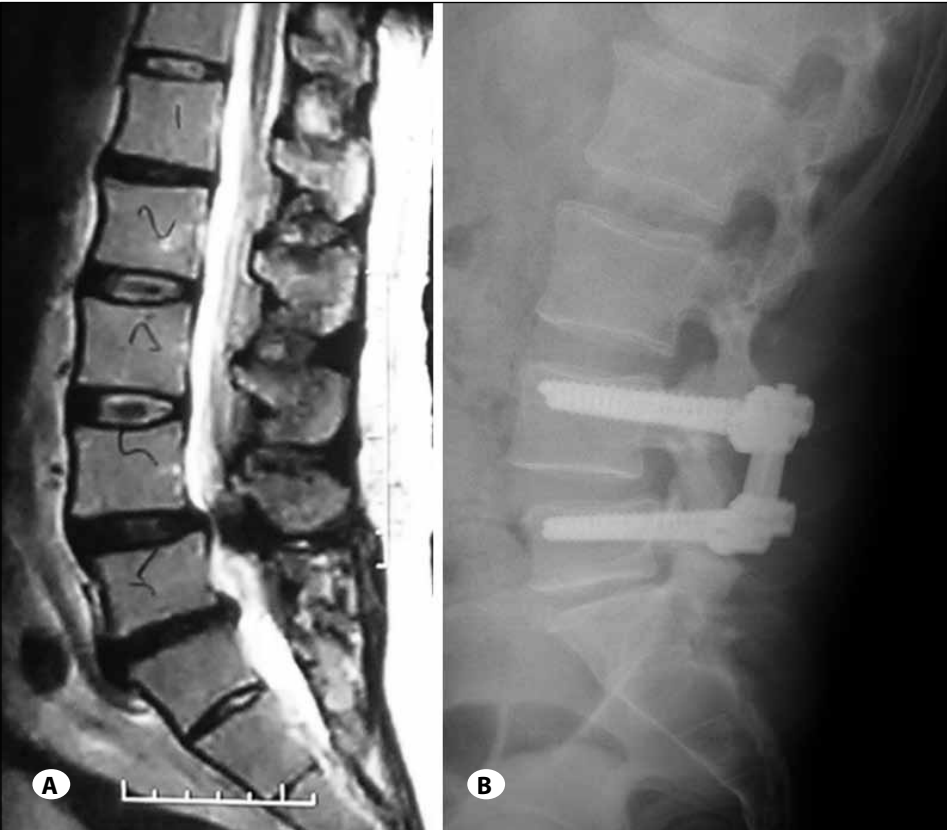
Bu konuda yapılacak olan çalışmalar hibrid sistemlerin omurga deformitesinde ne derece rol alacağını ortaya koyacaktır. Ancak sahip olduğu biyomekanik özellikler, sınırlı sayıda deneyimler bize hibrid sistemlerin gelecekte daha yaygın kullanılacağını işaret etmektedir (Şekil 3A-D, 11A,B, 12A-C).



Şekil 8: Dejeneratif skolyoz (A,B,C) olgusu posterior dinamik stabilizasyon tekniği ile opere edildi (D) (dinamik vida-rijid rod).



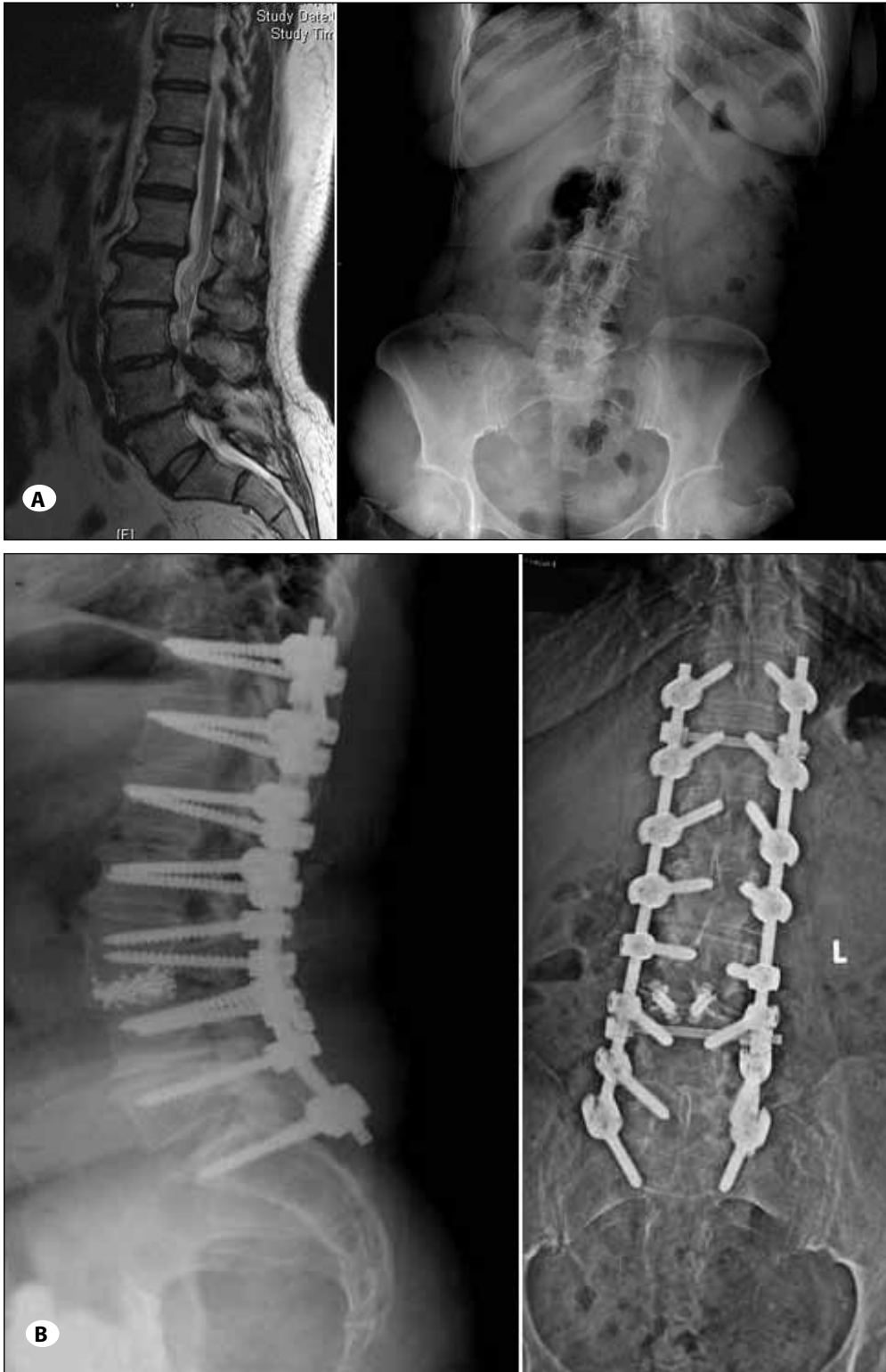
Şekil 9: L5-S1 disk hernisi olgusuna (A) dinamik vida-dinamik rod (BalanC) sistemi ile stabilizasyon (B) yapıldı.



Şekil 10: A) Dejeneratif spondilolistezis (Sagital T2 MR), B) posterior dinamik stabilizasyon tekniği ile opere edildi (dinamik vida-rijid rod).

Son olarak bizim kanımızca tek seviyeli deformitelerde minör veya dejeneratif instabilite varsa tedavide dinamik sistemlerin kullanılması yönünden büyük bir sorun yoktur. Ancak dejeneratif çok seviyeli deformite söz konusuysa sorun halledilmiş değildir. Birden fazla seviyede kullanılacak

posterior gerilim bandını destekleyecek ve gerekirse balans sorunu olan hastalarda füzyona olanak sağlayacak (hibrid sistem) Talin esnekliğinde dinamik bir rod henüz mevcut değildir. Talin rodun hasta tedavisine yönelik klinikte kullanılabilecek malzeme çalışmalarımızda devam etmektedir.



Şekil 11: A) Lomber dar kanal (MR, sagittal T2)ile olan dejeneratif skolyoz (AP direkt grafi) olgusu. **B)** Dekompresyon girişimi ile birlikte instabilitenin en belirgin olduğu L3-4 segmentine füzyon yapıldı (lateral ve AP direkt grafiler, L3-4 mesafesinde metalik fiksasyon materyali görünüyor). L3 ve L4 vertebralarına rijid vidalar yerleştirildi, diğer tüm segmentlere dinamik vidalar yerleştirilerek hibrid stabilizasyon sağlandı.



Şekil 12: **A)** L5-S1 spondilolistezis L3-4 bulging (sagittal MR T2), **B)** L5-S1 istmik defekt (Sagittal BT) **C)** hasta hybrid sistemle opere edilerek stabilize edildi. L5-S1 düzeyine rijid stabilizasyon ile füzyon yapıldı, L3- 4 ve L4-5 düzeyleri dinamik sistem ile stabilize edildi. Dinamik rod kullanıldı rodun esnek bölümü L3-4 mesafesine yerleştirildi (ok).

KAYNAKLAR

1. Ahn DK, Park HS, Choi DJ, et al: Survival and prognostic analysis of adjacent segments after spinal fusion. *Clin Orthop Surg* 2(3): 140-147, 2010
2. Anderson AL, McLiff TE, Asher MA, Burton DC, Glattes RC: The effect of posterior thoracic spine anatomical structures on motion segment flexion stiffness. *Spine (Phila Pa 1976)* 34: 441-446, 2009
3. Aota Y, Kumano K, Hirabayashi S: Postfusion instability at the adjacent segments after rigid pedicle screw fixation for degenerative lumbar spinal disorders. *J Spinal Disord* 8: 464-473, 1995
4. Aylott C, McKinlay KJ, Freeman BJC, McNally DS: The dynamic neutralisation system for the spine (Dynesys): Acute biomechanical effects on the lumbar spine. *Journal of Bone and Joint Surgery (Br)* 87(B)(suppl 1):39, 2005
5. Bae JS, Lee SH, Kim JS, Jung B, Choi G: Adjacent segment degeneration after lumbar interbody fusion with percutaneous pedicle screw fixation for adult low-grade isthmic spondylolisthesis: Minimum 3 years of follow-up. *Neurosurgery* 67(6):1600-1607, Discussion 1607-1608, 2010
6. Bozkuş H et al: Dynamic lumbar pedicle screw-rod stabilization: In vitro biomechanical comparison with standard rigid pedicle screw-rod stabilization. *J Neurosurg Spine* 12(2): 183-189, 2010
7. Bridwell KH, Sedgewick TA, O'Brien MF et al: The role of fusion and instrumentation in the treatment of degenerative spondylolisthesis with spinal stenosis. *J Spinal Disord* 6:461-472, 1993
8. Canbay S, Aydin AL, Aktas E, Erten SF, Basmacı M, Sasani M, Ozer AF: Posterior dynamic stabilization for the treatment of patients with lumbar degenerative disc disease: Long-term clinical and radiological results. *Turk Neurosurg* 23(2): 188-197, 2013
9. Cheh G, Bridwell KH, Lenke LG, Buchowski JM, Daubs MD, Kim Y, Baldus C: Adjacent segment disease following lumbar/thoracolumbar fusion with pedicle screw instrumentation: A minimum 5-year follow-up. *Spine* 32(20):2253-2257, 2007
10. Cinotti G, David T, Postacchini F: Results of disc prosthesis after a minimum follow-up period of 2 years. *Spine* 21: 995-1000, 1996
11. Cunningham BW, Kotani Y, McNulty PS et al: The effect of spinal destabilization and instrumentation on lumbar intradiscal pressure: An in vitro biomechanical analysis. *Spine* 22:2655-263, 1997
12. Di Silvestre M, Lolli F, Greggi T, Vommaro F, Baioni A: Adult's degenerative scoliosis: Midterm results of dynamic stabilization without fusion in elderly patients-is it effective? *Adv Orthop* 2013:365059, 2013
13. Dubois G, de Gernay B, Schaerer NS, Fennema P: Dynamic neutralization: A new concept for restabilization of the spine. Szpalski M, Gunzburg R, Pope MH (ed), *Lumbar Segmental Instability*. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins, 1999:233-240
14. 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. *Eur Spine J* 18(8):1175-1186, 2009
15. Erbulut DU, Zafarparandeh I, Ozer AF, Goel VK: Biomechanics of posterior dynamic stabilization systems. *Adv Orthop* 2013:451956, 2013
16. Eser O, Gomeksiz C, Sasani M, Oktenoglu T, Aydin AL, Ataker Y, Suzer T, Ozer AF: Dynamic stabilisation in the treatment of degenerative disc disease with modic changes. *Adv Orthop* 2013:806267, 2013
17. Etebar S, Cahill DW: Risk factors for adjacent-segment failure following lumbar fixation with rigid instrumentation for degenerative instability. *J Neurosurg* 90:163-169, 1999
18. Gomeksiz C, Sasani M, Oktenoglu T, Ozer AF: A short history of posterior dynamic stabilization. *Adv Orthop* 2012:629698, 2012
19. Graf H: Lumbar instability: Surgical treatment without fusion. *Rachis* 412:123-137, 1992
20. Grevitt MP, Gardner AD, Spilsbury J, et al: The Graf stabilisation system: Early results in 50 patients. *Eur Spine J* 4:169-175, 1995, discussion 176
21. Griffith SL, Shelokov AP, Buttner-Janz K, et al: A multicenter retrospective study of the clinical results of the LINK SB Charite intervertebral prosthesis: The initial European experience. *Spine* 19:1842-1849, 1994
22. Grob D, Benini A, Junge A, et al: Clinical experience with the Dynesys semirigid fixation system for the lumbar spine: Surgical and patient-oriented outcome in 50 cases after an average of 2 years. *Spine* 30:324-331, 2005
23. Guigui P, Lambert P, Lassale B, et al: Long-term outcome at adjacent levels of lumbar arthrodesis. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 83: 685-696, 1997
24. Ha Y, Maruo K, Racine L, Schairer WW, Hu SS, Deviren V, Burch S, Tay B, Chou D, Mummaneni PV, Ames CP, Berven SH: Proximal junctional kyphosis and clinical outcomes in adult spinal deformity surgery with fusion from the thoracic spine to the sacrum: A comparison of proximal and distal upper instrumented vertebrae. *J Neurosurg Spine* 19(3):360-369, 2013
25. Hilibrand AS, Robbins M: Adjacent segment degeneration and adjacent segment disease: The consequences of spinal fusion. *Spine J* 4(Suppl 6):1905-1945, 2004
26. Hsu K, Zucherman J, White A: The long-term effect of lumbar spine fusion: Deterioration of adjacent motion segments. Yonenobu K, Ono K, Takemitsu Y, (ed), *Lumbar Fusion and Stabilization*. Tokyo: Springer, 1993: 54-64
27. Kanayama M, Hashimoto T, Shigenobu K, Togawa D, Oha F: A minimum 10-year follow-up of posterior dynamic stabilization using Graf artificial ligament. *Spine (Phila Pa 1976)* 32(18):1992-1996, 2007
28. Kaneda K, Kazama H, Satoh S et al: Follow-up study of medial facetectomies and posterolateral fusion with instrumentation in unstable degenerative spondylolisthesis. *Clin Orthop* 203:159-67, 1986

29. Kaner T, Dalbayrak S, Oktenoglu T, Sasani M, Aydin AL, Ozer AF: Comparison of posterior dynamic and posterior rigid transpedicular stabilization with fusion to treat degenerative spondylolisthesis. *Orthopedics* 33(5), 2010
30. Kaner T, Ozer AF: Dynamic stabilization for challenging lumbar degenerative diseases of the spine: A review of the literature. *Adv Orthop* 2013:753470, 2013
31. Kaner T, Sasani M, Oktenoglu T, Aydin AL, Ozer AF: Minimum two-year follow-up of cases with recurrent disc herniation treated with microdiscectomy and posterior dynamic transpedicular stabilisation. *Open Orthop J* 4:120-125, 2010
32. Kaner T, Sasani M, Oktenoglu T, Cosar M, Ozer AF: Utilizing dynamic rods with dynamic screws in the surgical treatment of chronic instability: A prospective clinical study. *Turk Neurosurg* 19(4):319-326, 2009
33. Kaner T, Sasani M, Oktenoglu T, Ozer AF: Dynamic stabilization of the spine: A new classification system. *Turk Neurosurg* 20(2):205-215, 2010
34. Kim YJ, Bridwell KH, Lenke LG, Glattes CR, Rhim S, Cheh G: Proximal junctional kyphosis in adult spinal deformity after segmental posterior spinal instrumentation and fusion: Minimum five-year follow-up. *Spine (Phila Pa 1976)* 33:2179-2184, 2008
35. Kim YJ, Bridwell KH, Lenke LG, Kim J, Cho SK: Proximal junctional kyphosis in adolescent idiopathic scoliosis following segmental posterior spinal instrumentation and fusion: Minimum 5-year follow-up. *Spine (Phila Pa 1976)* 30:2045-2050, 2005
36. Kim YJ, Bridwell KH, Lenke LG, Rhim S, Kim YW: Is the T9, T11, or L1 the more reliable proximal level after adult lumbar or lumbosacral instrumented fusion to L5 or S1? *Spine* 32:2653-2661, 2007
37. Klara PM, Ray CD: Artificial nucleus replacement: Clinical experience. *Spine* 27:1374-1377, 2002
38. Kumar MN, Baklanov A, Chopin D: Correlation between sagittal plane changes and adjacent segment degeneration following lumbar spine fusion. *Eur Spine J* 10:314-319, 2001
39. Kumar MN, Jacquot F, Hall H: Long-term follow-up of functional outcomes and radiographic changes at adjacent levels following lumbar spine fusion for degenerative disc disease. *Eur Spine J* 10(4):309-313, 2001
40. Lee CK, Langrana NA: Lumbosacral spinal fusion: A biomechanical study. *Spine* 9:574-581, 1984
41. Lee CK: Accelerated degeneration of the segment adjacent to a lumbar fusion. *Spine* 13:375-377, 1988
42. Lehmann TR, Spratt KF, Tozzi JE, Weinstein JN, Reinartz SJ, el-Khoury GY, Colby H: Long-term follow-up of lower lumbar fusion patients. *Spine* 12:97-104, 1987
43. Leong JC, Chun SY, Grange WJ, et al: Long-term results of lumbar intervertebral disc prolapse. *Spine* 8:793-799, 1983
44. Luk KD, Lee FB, Leong JC, Hsu LC: The effect on the lumbosacral spine of long spinal fusion for idiopathic scoliosis: A minimum 10-year follow-up. *Spine* 12(10):996-1000, 1987
45. Markwalder TM, Dubach R, Braun M: Soft system stabilization of the lumbar spine as an alternative surgical modality to lumbar arthrodesis in the facet syndrome: Preliminary results. *Acta Neurochir (Wien)* 134:1-4, 1995
46. Niosi Ca, Zhu QA, Wilson DC, Keynan O, Wilson DR, Oxland TR: Biomechanical characterization of three-dimensional kinematic behaviour of the Dynesys dynamic stabilization system: An in vitro study. *Eur Spine J* 15(6): 913-922, 2006
47. Nowakowski A: Some aspects of spine biomechanics and their clinical implications in idiopathic scoliosis. *Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol* 69:349-354, 2004
48. Oktenoglu T, Ozer AF, Sasani M, Ataker Y, Gomleksiz C, Celebi I: Posterior transpedicular dynamic stabilization versus total disc replacement in the treatment of lumbar painful degenerative disc disease: A comparison of clinical results. *Adv Orthop* 2013:874090, 2013
49. Oktenoglu T, Ozer AF, Sasani M, Kaner T, Canbulat N, Ercelen O, Sarioglu AC: Posterior dynamic stabilization in the treatment of lumbar degenerative disc disease: 2-year follow-up. *Minim Invasive Neurosurg* 53(3):112-116, 2010
50. Oktenoglu T, Erbulut D, Ozer AF, Sasani M, Ferrara Lisa, Goel VK: Dinamik enstrümantasyonun lomber omurga kinematiği-ne etkileri: Biyomekanik çalışma. *Türk Nöroşirürji Derneği 25. Bilimsel Kongresi*, 22-26 Nisan 2011, Antalya
51. Ozer AF, Crawford NR, Sasani M, Oktenoglu T, Bozkus H, Kaner T, Aydin S: Dynamic lumbar pedicle screw-rod stabilization: Two-year follow-up and comparison with fusion. *Open Orthop J* 4:137-141, 2010
52. Ozer AF, Goel VK, Alanay A, Sasani M, Oktenoglu T, Erbulut D: Posterior transpedicular dynamic systems in the treatment of chronic lumbar instability. *Adv Orthop* 2013:432520, 2013
53. Ozer AF, Keskin F, Oktenoglu T, Suzer T, Ataker Y, Gomleksiz C, Sasani M: A novel approach to the surgical treatment of lumbar disc herniations: Indications of simple discectomy and posterior transpedicular dynamic stabilization based on carragee classification. *Adv Orthop* 2013:270565, 2013
54. Rahm MD, Hall BB: Adjacent-segment degeneration after lumbar fusion with instrumentation: A retrospective study. *J Spinal Disord* 9:392-400, 1996
55. Ray CD: The PDN prosthetic disc-nucleus device. *Eur Spine J* 11(suppl 2):137- 142, 2002
56. Schlegel JD, Smith JA, Schleusener RL: Lumbar motion segment pathology adjacent to thoracolumbar, lumbar, and lumbosacral fusions. *Spine* 21:970-981, 1996
57. Schmoelz W, et al: Non-fusion instrumentation of the lumbar spine with a hinged pedicle screw rod system: An in vitro experiment. *Eur Spine J* 18(10):1478-1485, 2009
58. Schwarzenbach O, Rohrbach N, Berlemann U: Segment-by-segment stabilization for degenerative disc disease: A hybrid technique. *Eur Spine J* 19(6):1010-1020, 2010
59. Stoll TM, Dubois G, Schwarzenbach O: The dynamic neutralization system for the spine: A multi-center study of a novel non-fusion system. *Eur Spine J* 11(suppl 2):170-178, 2002

60. Umehara S, Zindrick MR, Patwardhan AG, et al: The biomechanical effect of postoperative hypolordosis in instrumented lumbar fusion on instrumented and adjacent spinal segments. *Spine* 25:1617–1624, 2000
61. von Strempel A, Moosmann D, Stoss C, et al: Stabilization of the degenerated lumbar spine in the nonfusion technique with Cosmic posterior dynamic system. *WSJ* 1(1):40-47, 2006
62. von Strempel A, Neckritz A, Mualenaere P, du Toit G: Dynamic versus rigid spinal implants. Gunzburg R, Szpalski M (ed), *Lumbar Spinal Stenosis*. Philadelphia: Lippincott-Williams and Wilkins, 2000:275-285
63. von Strempel A: Nonfusion stabilization of the degenerated lumbar spine with Cosmic. Kim DH, Cammisa FP, Fessler RG (ed), *Dynamic Reconstruction of the Spine*, birinci baskı, New York: Thieme, 2006:330-339
64. Watanabe K, Lenke LG, Bridwell KH, Kim YJ, Koester L, Hensley M: Proximal junctional vertebral fracture in adults after spinal deformity surgery using pedicle screw constructs: Analysis of morphological features. *Spine (Phila Pa 1976)* 35:138–145, 1976
65. West JL 3rd, Bradford DS, Ogilvie JW: Results of spinal arthrodesis with pedicle screw-plate fixation. *J Bone Joint Surg Am* 73:1179–1184, 1991
66. Wiltse LL, Radecki SE, Biel HM, et al: Comparative study of the incidence and severity of degenerative change in the transition zones after instrumented versus noninstrumented fusions of the lumbar spine. *J Spinal Disord* 12:27–33, 1999
67. Yagi M, Akilah KB, Boachie-Adjei O: Incidence, risk factors and classification of proximal junctional kyphosis: Surgical outcomes review of adult idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 36:E60–E68, 1976
68. Zdeblick TA: A prospective, randomized study of lumbar fusion: Preliminary results. *Spine* 18:983–991, 1993