



TC  
MARMARA ÜNİVERSİTESİ  
TIP FAKÜLTESİ ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ ANABİLİM DALI

**SKOLYOZDA ÇİFT KORTEKS PEDİKÜL VİDASI  
KULLANIMININ DİREKT VERTEBRAL ROTASYON  
KUVVETİNE ETKİSİ  
(DANA OMURGASINDA BİYOMEKANİK ÇALIŞMA)**

**Dr. İSMAİL EMRE KETENCİ  
UZMANLIK TEZİ**

**İSTANBUL, 2009**





TC  
MARMARA ÜNİVERSİTESİ  
TIP FAKÜLTESİ ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ ANABİLİM DALI

**SKOLYOZDA ÇİFT KORTEKS PEDİKÜL VİDASI  
KULLANIMININ DİREKT VERTEBRAL ROTASYON  
KUVVETİNE ETKİSİ  
(DANA OMURGASINDA BİYOMEKANİK ÇALIŞMA)**

**Dr. İSMAİL EMRE KETENCİ  
UZMANLIK TEZİ**

**Danışman: Doç.Dr. MURAT BEZER**

**İSTANBUL, 2009**

## İÇİNDEKİLER

	SAYFALAR
ÖNSÖZ .....	..II
ÖZET.....	III
İNGİLİZCE ÖZET (ABSTRACT) .....	IV
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	2
2.1. Skolyoz Cerrahisinde Posterior Girişimlerin Tarihsel Gelişimi.....	2
2.1.1. Distraksiyon – Kompresyon Sistemleri.....	2
2.1.2. Segmental Enstrümantasyon.....	3
2.1.3. Derotasyonel Sistemler.....	3
2.1.4. Pedikül Vidalı Translasyonel Sistemler.....	5
2.2. Skolyoz Düzeltme Manevraları .....	5
2.2.1. Rod Derotasyonu .....	5
2.2.2. Rod Translasyonu.....	6
2.2.3. Yardımcı Manevralar .....	6
2.2.4. Direkt Vertebral Rotasyon.....	6
2.3. Direkt Vertebral Rotasyonla İlgili Sorunlar.....	8
3. AMAÇ.....	9
4. GEREÇ VE YÖNTEM.....	10
4.1. Çalışma Gruplarının Oluşturulması .....	10
4.2. Pedikül Vidalarının Uygulanması Ve Biyomekanik Testler .....	12
4.3. İstatistiksel Analiz.....	15
5. SONUÇLAR.....	16
6. TARTIŞMA.....	18
7. KAYNAKLAR.....	23

## ÖNSÖZ

Marmara Üniversitesi Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı'nda geçirdiğim asistanlık dönemim boyunca bana vermiş oldukları emeklerden ve desteklerinden dolayı hocalarım Prof.Dr. Cihangir Tetik, Prof.Dr. Selim Yalçın, Prof.Dr. Mustafa Karahan, Doç.Dr. Murat Bezer ve Yard.Doç.Dr. Bülent Erol'a teşekkürü borç bilirim.

Emekli hocalarım Prof.Dr. Osman Güven ve Prof.Dr. Tanıl Esemeli'ye eğitimime katkılarından ötürü teşekkür ederim.

Tezimin gerçekleşmesinde desteğini esirgemeyen danışman hocam Doç.Dr. Murat Bezer'e ayrı bir teşekkürü borç bilirim.

Asistanlık eğitimim boyunca her zaman desteklerini hissettiğim tüm asistan arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Dr. İsmail Emre Ketenci

Aralık 2009, İstanbul

## ÖZET

Skolyoz cerrahisinde direkt vertebral rotasyon manevrasının iyi yapılması, transvers plandaki rotasyonu düzelterek kostal kamburluğu ortadan kaldırır, koronal dengeyi ve selektif torakal füzyon sonrası spontan düzelmeyi artırır. Bu manevranın apikal bölgede daha etkili ve güvenli yapılabilmesi için pedikül vidalarının özellikle kısa kalma riskinin bulunduğu konveks tarafta çift korteks yerleştirilmesi uygun olacaktır. Bunu göstermek amacıyla tek korteks ve çift korteks yerleştirilen vidaların döndürme kuvveti birbirleriyle ve ideal yönde ve uzunlukta yerleştirilen vidalarinkiyle karşılaştırıldı.

Çalışmada 24 adet dana omuru kullanıldı. Omurlar üç gruba eşit olarak dağıtıldı ve her biri bir adet pedikül vidasıyla uygun şekilde enstrümante edildi. Tek korteks grubunda (Grup 1) pedikül vidaları, skolyozda konveks tarafta yeterli uzunluk ve düzgün yönde konulamamış vidaları taklit edecek şekilde, ucu lateralize edilerek yerleştirildi. Çift korteks grubunda (Grup 2) pedikül vidaları, tek korteks grubunda olduğu gibi uygun olmayan yönde fakat ucu omur gövdesinin anterior korteksini geçecek şekilde yerleştirildi. Kontrol grubunda (Grup 3) pedikül vidaları ideal yönde ve ideal uzunlukta yerleştirildi. Omurlar özel bir aparata fiske edildikten sonra tüm vidalara sabit uzunluktaki bir derotatörle mediale doğru rotasyon uygulanarak direkt vertebral rotasyon manevrası taklit edildi. Bu işlem sırasında oluşan kuvvet ve deplasman miktarı kaydedildi.

En yüksek kuvvetler kontrol grubunda (ort: 414 N; SS:55,72), en düşük kuvvetler tek korteks grubunda (ort: 235,75 N; SS:68,12) ortaya çıktı. Çift korteks grubundaki kuvvetlerin (ort: 333,13 N; SS:49,92) tek korteks grubundakilerden istatistiksel olarak anlamlı ölçüde fazla olduğu görüldü ( $p<0,01$ ). Tek korteks grubunda iki adet omurda kemik yetmezliği görülürken çift korteks grubunda görülmedi.

Sonuç olarak skolyoz cerrahisinde direkt vertebral rotasyon kuvvetinin artırılması ve kemik yetmezliğinin azaltılabilmesi için konveks tarafa yerleştirilen vidaların kısa kaldıkları durumda çift korteks yerleştirilmesi uygun olacaktır.

**Anahtar Sözcükler:** Direkt vertebral rotasyon, çift korteks pedikül vidası, skolyoz

## ABSTRACT

In scoliosis surgery, if direct vertebral rotation (DVR) is performed well, the rotational deformity and thoracic hump can be corrected. DVR also provides a better coronal balance and increases spontaneous lumbar curve correction after selective thoracic fusion. At the apical region pedicle screws on the convex side are inserted usually shorter than the concave side. In order to perform effective and safe DVR in this region, it may be useful to insert these short screws bicortically. To show this we compared the forces that act on unicortical, bicortical and ideally placed screws.

24 calf vertebral bodies were divided into three groups equally. Each vertebral body was instrumented with one pedicle screw. In group 1 (unicortical) screws were placed laterally and short as in the convex side of a scoliosis patient. In group 2 (bicortical) screws were placed with the same direction as group 1 but bicortically. In group 3 (control group) screws were inserted in ideal length and direction. Vertebral bodies were rigidly anchored in a custom device. Each screw was rotated using a constant length lever arm under displacement control at 0,5 mm/s while collecting displacement (mm) and force (N) data.

Highest forces were obtained in the control group (mean: 414; SD:55,72), lowest forces were obtained in group 1 (mean: 235,75; SD:68,12). The forces in group 2 (mean: 333,13; SD:49,92) were higher than group 1 and the difference was statistically significant. There were 2 catastrophic failures in group 1.

In order to make an effective DVR with higher forces and to decrease the bone failure, apical screws on the convex side should be inserted bicortically in scoliosis patients.

**Keywords:** Direct vertebral rotation, bicortical pedicle screw, scoliosis.

## 1. GİRİŞ

İdiyopatik skolyoz üç boyutlu bir deformitedir. Omurga koronal planda laterale deviye olurken, sagittal planda torasik hipokifoz, transvers planda ise intravertebral ve intervertebral rotasyon mevcuttur. Transvers plandaki rotasyon en fazla apikal bölgededir. Skolyoz cerrahisinde kullanılacak ideal bir sistemin ve manevraların her üç plandaki deformiteyi de düzeltmesi gerekir (1).

Skolyoz cerrahisinde yeni sistemlerin ve korreksiyon manevralarının gelişmesi ile deformitenin düzeltilebilme oranı artmıştır. Biyomekanik açıdan daha stabil olan pedikül vidalarının her seviyeye konulması ile koronal, sagittal ve transvers planlarda daha iyi düzelme sağlandığı bildirilmiştir (2,3).

Direkt vertebral rotasyon geleneksel rod derotasyonu tekniklerine göre üç planda da daha iyi düzelme sağlamıştır (1). Bu teknikte pedikül vidalarına fiske edilen derotatörlerle transvers plan deformitesinin ters yönüne doğru derotasyon yapılır. Bu şekilde transvers plan kontrolünün daha iyi sağlandığı, kostal kamburluğun daha iyi düzeltildiği gösterilmiştir (1,4,5). Direkt vertebral rotasyon aynı zamanda selektif torakal füzyon sonrası lomber eğikliklerdeki spontan düzelme oranını da arttırmıştır (1).

Apikal bölgedeki omurlar direkt vertebral rotasyon sırasında kritik öneme sahiptir (6). Bu nedenle bu bölgeye mutlaka vida konmalıdır ve vidalar yeterli uzunlukta olmalıdır. Ancak apikal bölgedeki kostal kamburluk nedeniyle, konveks taraftaki vidalar istenilen yönde gönderilemeyebilir ve konkav tarafa göre kısa kalabilir (7). Kısa vidalar omur gövdesinin yeteri kadar anterioruna ulaşamaz. Bu nedenle manevra sırasında yeterli döndürme kuvveti sağlanamayacağı gibi fiksasyon yetersizliğine bağlı olarak vidanın manevra sırasında pozisyon değiştirme ya da pedikül duvarını kırma riski artacaktır (8).

Bu çalışmada, konveks tarafta kısa kalan vidaların yerine, omur gövdesinin anterior korteksini geçecek şekilde çift korteks vidalar gönderilerek, daha kuvvetli ve güvenli bir derotasyon sağlanması amaçlanmıştır. Daha kuvvetli derotasyonla deformitenin daha iyi düzeltilmesi ve komplikasyonlarının azaltılması hedeflenmiştir.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Skolyoz Cerrahisinde Posterior Girişimlerin Tarihsel Gelişimi

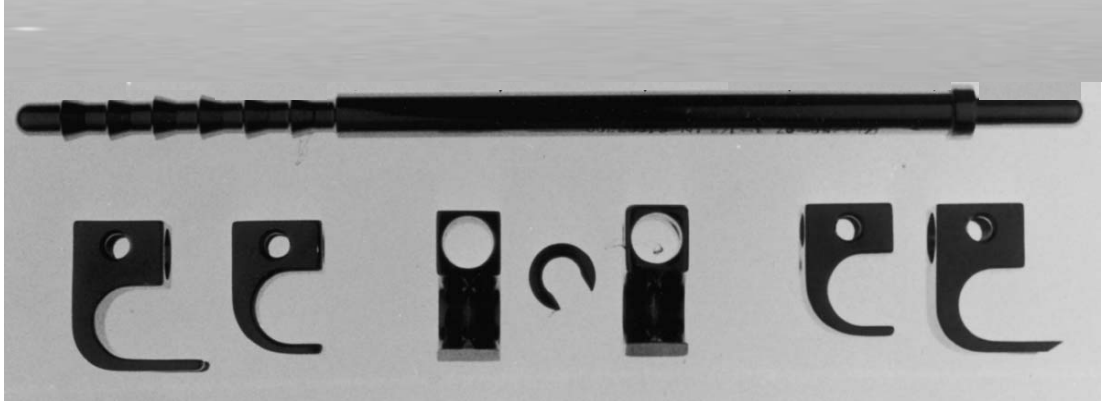
Skolyoz cerrahisinde uygulanan ilk yaklaşım Hibbs'in tarif ettiği posterior füzyon ve alçı uygulamasıdır (9). Posterior enstrümantasyon sistemleri, 1950'lerin sonlarına doğru Harrington tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Erken dönem enstrümantasyon sistemlerinin teknik yetersizlikleri nedeniyle ve her zaman daha fazla korreksiyon hedeflendiği için yeni sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemler fonksiyonel açıdan sınıflandığında dört ana başlık altında toplanabilir: Distraksiyon ve kompresyon sistemleri, segmental stabilizasyon sistemleri, derotasyonel sistemler ve pedikül vidalı tranlasyonel sistemler (10).

#### 2.1.1. Distraksiyon – Kompresyon Sistemleri

Traksiyon Hipokrat tarafından tanımlanan ve skolyoz tedavisinde uzun yıllardır kullanılan bir yöntemdir. Daha sonra bu yönetime lateralden uygulanan basınçla düzeltme ve alçılama eklenmiştir.

Bu prensipten yola çıkan Harrington enstrümantasyonunda skolyotik omurgayı düzeltmek için konkav tarafa internal traksiyon yani distraksiyon uygulanmıştır (11). Buna konveks tarafa uygulanan kompresyon da eklenebilir. Bu yöntemle dışarıdan uygulanan traksiyona göre daha fazla düzeltme gücü sağlandığı gibi alçıda ya da korsede bekleme süresi azaltılmıştır.

Distraksiyon ve kompresyon güçlerini kullanan Harrington enstrümantasyonu (Şekil 1) koronal planda (uniplanar) düzelme sağlamasına rağmen sagittal planda *flat-back* deformitesine neden olmakta, transvers planda ise rotasyonu düzeltememektedir. Korreksiyon kaybı ve psödoartroz oranının yüksek olması nedeniyle Harrington enstrümantasyonu skolyoz cerrahisindeki önemini kaybetmiştir (10).



Şekil 1) Orijinal Harrington rodu ve kancalar (10)

### **2.1.2. Segmental Enstrümantasyon**

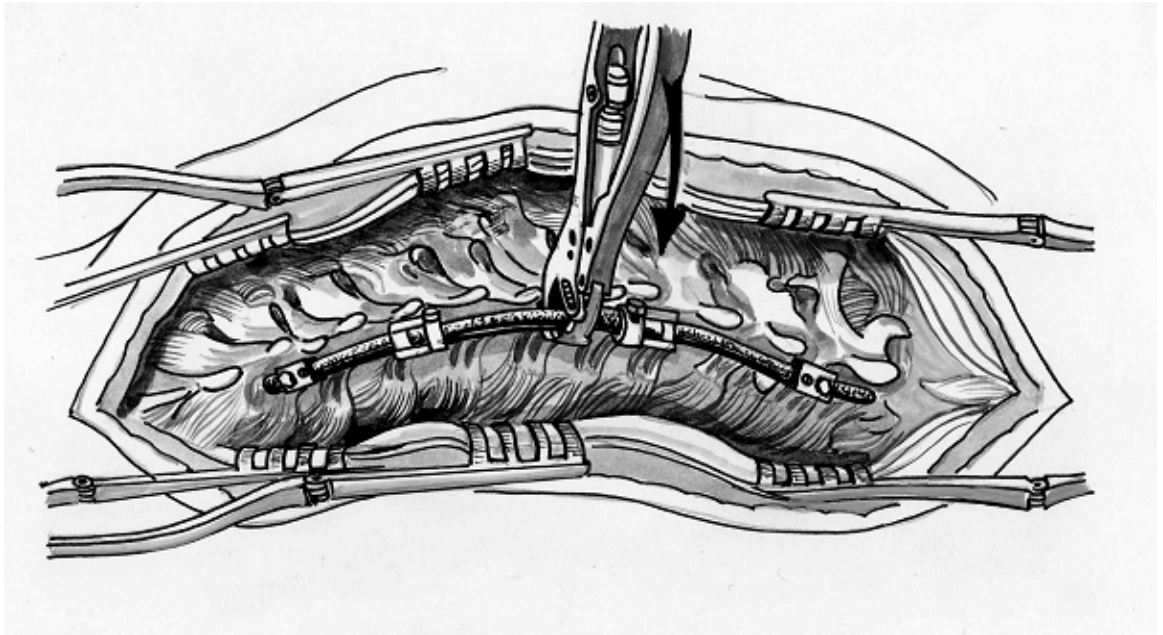
1972 yılında Luque tarafından geliştirilen sistemde omurga her seviyede laminaların altından geçirilen tellerle rodlara bağlanarak eğikliğin apeksi orta hatta yaklaştırılır (12). Bunun bir modifikasyonu olan Drummond sisteminde teller spinöz proseslerin içinden geçirilerek roda bağlanır (13). Luque sisteminin avantajları şunlardır:

- Enstrümantasyon rodların sadece ucundaki segmentlere değil, tüm segmentlere uygulanarak düzeltici kuvvet tüm omurgaya dağıtılır.
  - İmplant ve kemik arasındaki stresi azaltarak cerrahi sonrasında korse ihtiyacını azaltır.
  - Sadece distraksiyon yerine lateralden de düzeltici güç (translasyon) uygulayarak biplanar düzelme sağlar.
  - Dikdörtgen rodla konstrüksiyonun stabilitesi arttırılabilir.
- Dezavantajı ise transvers plandaki rotasyonu düzeltememesidir.

### **2.1.3. Derotasyonel Sistemler**

Derotasyon kavramı skolyozdaki üç boyutlu deformiteyi düzeltmek amacıyla Cotrel ve Dubousset tarafından geliştirilmiştir (Şekil 2)(14). Bu yeni sistem eski sistemlerin avantajlı yönlerini getirdiği yeniliklerle kombine etmiştir:

- Harrington sistemindeki distraksiyon ve kompresyon manevralarını kullanır.
- Luque sistemindeki kemik ve implant arasındaki stresi azaltan segmental enstrümantasyonu kullanır.
- Daha iyi rotasyonel kontrol sağlar.
- Bu sistemde transvers traksiyon cihazı (DTT) yeniliği getirilmiştir. Bu şekilde sağ ve sol rodlar birbirine bağlanarak daha stabil bir konstrüksiyon oluşturulmuştur.
- Ameliyat sonrası alçı ya da korse ihtiyacı olmadan hastaların erken mobilizasyonu sağlanmıştır.



**Şekil 2)** Cotrel-Dubousset sistemiyle yapılan rod derotasyonu

Cotrel-Dubousset enstrümantasyon sisteminin skolyoz cerrahisinde başarıyla kullanılmasıyla beraber, benzer prensiplere dayanan TSRH, Moss Miami ve Isola gibi enstrümantasyon sistemleri geliştirilmiştir (10).

Erken dönem yayınlar iyi sonuçlar bildirirse de (14,15) Cotrel-Dubousset enstrümantasyonu ile ilgili son yayınlarda koronal ve sagittal plandaki tatmin edici sonuçların transvers planda sağlanmadığı gösterilmiştir (16,17).

#### **2.1.4. Pedikül Vidalı Translasyonel Sistemler**

Spinal cerrahide pedikül vidası ilk olarak Roy-Camille ve arkadaşları tarafından vertebra kırıklarının stabilizasyonunda kullanılmıştır. Adölesan idiyopatik skolyoz tedavisinde ilk vida uygulamaları, Cotrel-Dubousset sisteminde, lomber bölgede kanca yerine pedikül vidalarının konulması ile başlamış, daha sonra Suk ve arkadaşları torasik bölgede de pedikül vidalarını kullanmışlardır (18).

Skolyoz cerrahisinde pedikül vidaları ile segmental enstrümantasyonun avantajları şunlardır:

- Omurun en kuvvetli bölümü olan pediküllere her seviyede bilateral vidaların konulması ile koronal, sagittal ve transvers planlarda daha iyi düzelme sağlandığı bildirilmiştir (3,4).
- Kanca-tel ya da kanca-vidalı sistemlere göre daha kısa seviye füzyon gerektirir.
- Korreksiyon kaybının daha az olduğu gösterilmiştir (10).

### **2.2. Skolyoz Düzeltme Manevraları**

#### **2.2.1. Rod Derotasyonu**

Rod derotasyonu ilk olarak kanca ve vidaların kullanıldığı Cotrel-Dubousset enstrümantasyonu ile tanımlanmıştır (14). Manevra şu şekilde yapılır:

- 1) Önceden bükülen rod konkav taraftaki kanca ve vidalara yerleştirilir.
- 2) Proksimal ve distaldeki tepe vidaları rodun kaymasına izin verecek ama çıkmasına izin vermeyecek şekilde sıkılır.
- 3) Rodun apeksi düzelme yönünde 90 dereceye kadar döndürülür. Düzeltme yönü kifotik bölge için posteromediale, lordotik bölge için anteromediale doğrudur.
- 4) Rod döndürülmüş pozisyonda tutulurken diğer kanca ve vidalar sıkılır.

Enstrümante edilmiş olan omurlar kanca ve vidaların çekim gücüyle dönen rodu takip eder. Bu şekilde skolyoz, normal torasik kifoz ve lomber lordoza dönüşür (19).

### **2.2.2. Rod Translasyonu**

Rod translasyonu 1990'larda popülerize olmuştur (19). Manevra şu şekilde yapılır:

- 1) Rod olduğu şekilde en üst ve en alt seviyelerdeki kanca veya vidalara, çıkmasına izin vermeyecek ama kaymasına izin verecek şekilde yerleştirilir.
- 2) Diğer vidalar çeşitli aletler kullanılarak sırayla roda doğru yaklaştırılır.
- 3) Her seviyedeki vidalar rodlara fiske edilerek kilitlenir.

### **2.2.3. Yardımcı Manevralar**

Gerek rod derotasyonu, gerekse rod translasyonu sonrasında kompresyon, distraksiyon ve yerinde bükme manevralarıyla son düzeltmeler yapılır. Komşu vidalar arasında uygulanan kompresyonla konveks eğiklikler, distraksiyonla konkav eğiklikler düzeltilir. Yerinde bükme fizyolojik kifoz ve lordozu sağlamada yardımcı olur (19).

### **2.2.4. Direkt Vertebral Rotasyon**

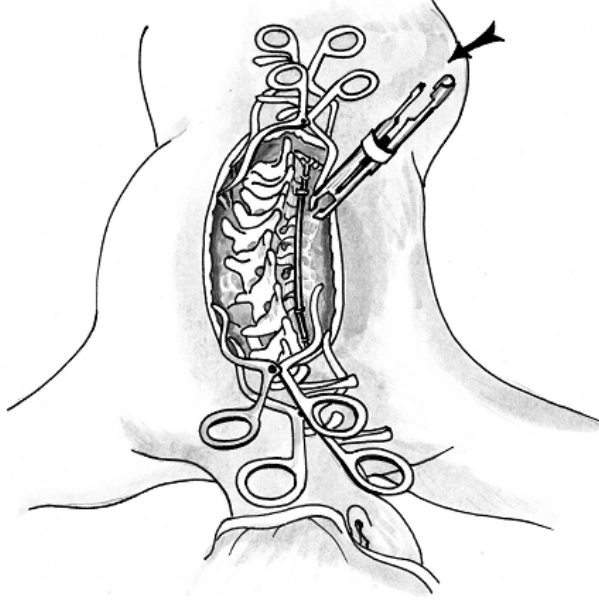
Rod derotasyonu ile üç boyutlu düzelme sağlanamadığı gösterilmiştir (16,17). Kanca ve sublaminar teller kullanıldığı zaman döndürme kuvveti omurun dönme merkezinin posterioruna uygulanır ve bu nedenle yeterli düzelme sağlanamaz. Pedikül vidaları anterior omur gövdesine kadar ulaşarak döndürme kuvvetini tüm omura yayar (20). Direkt vertebral rotasyonda, konkav ve konveks taraftaki pedikül vidalarına bağlanan uzun derotatörlerle rotasyon deformitesinin ters yönüne doğru tork uygulanarak intervertebral rotasyon düzeltilir (1). Manevra blok halinde ya da segmental döndürme şeklinde yapılabilir. Blok halinde döndürmede:

- 1) Konkav ve konveks taraflara pedikül vidaları yerleştirilir.
- 2) Rodlara kifoz ve lordoz verilir. Apikal bölgedeki hipokifoz veya lordozu düzeltmek için konkav roda daha fazla kifoz verilir.
- 3) Translasyon manevrası kullanılarak konkav rod yerleştirilir (Şekil 3).

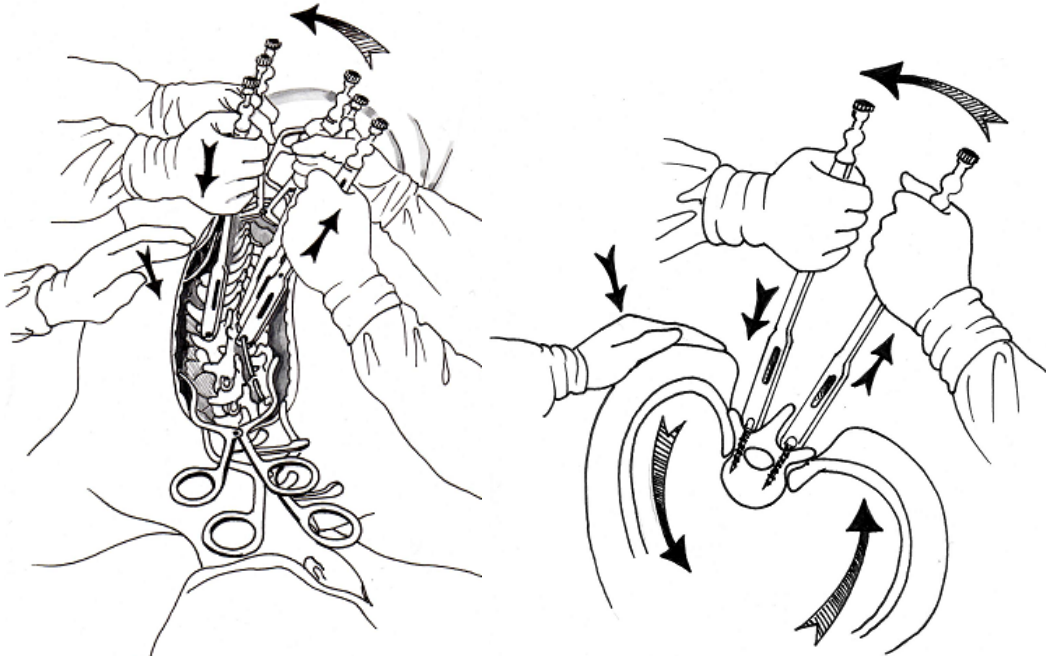
4) Her iki tarafa derotatörler yerleştirilir, omurga kostal kamburluk düzeltilecek şekilde blok olarak döndürülür, konkav rod sıkılır (Şekil 4).

5) Konveks rod yerleştirilir ve sıkılır.

Eğer blok halinde değil segmental derotasyon yapılacaksa her iki rod birlikte yerleştirilir, her seviye tek tek döndürülür ve sıkılır (20).



Şekil 3) Konkav rodun translasyon manevrasıyla yerleştirilmesi



Şekil 4) Torakal apeksin kostal kamburluk düzeltilecek şekilde blok halinde döndürülmesi

### 2.3. Direkt Vertebral Rotasyonla İlgili Sorunlar

Skolyozda transvers plandaki rotasyon en fazla apikal bölgededir. Bu bölgeye vida yerleştirilmesi deformitenin düzeltilebilmesi için gereklidir ve direkt vertebral rotasyon için kritik önem taşımaktadır (6). Apikal bölgedeki omurlara pedikül vidası yerleştirilirken yaşanan bir sorun konveks tarafa gönderilen vidaların konkav taraftakilere göre kısa kalmasıdır (7). Bunun nedeni kostal kamburluk nedeniyle konveks taraftaki vidaların istenilen yönde gönderilememesidir (Şekil 5).

İstenilen yönde yerleştirilemeyen pedikül vidaları direkt vertebral rotasyon sırasında pozisyon değiştirebilir, kırılabilir ya da pedikül duvarını kırarak medialden ya da lateralden dışarı çıkabilir. Bu durum postoperatif bilgisayarlı tomografi çalışmalarında ve biyomekanik çalışmalarda gösterilmiştir (8,21).



**Şekil 5)** Kostal kamburluk nedeniyle lateralize olarak yönlenen vidanın kısa kalması

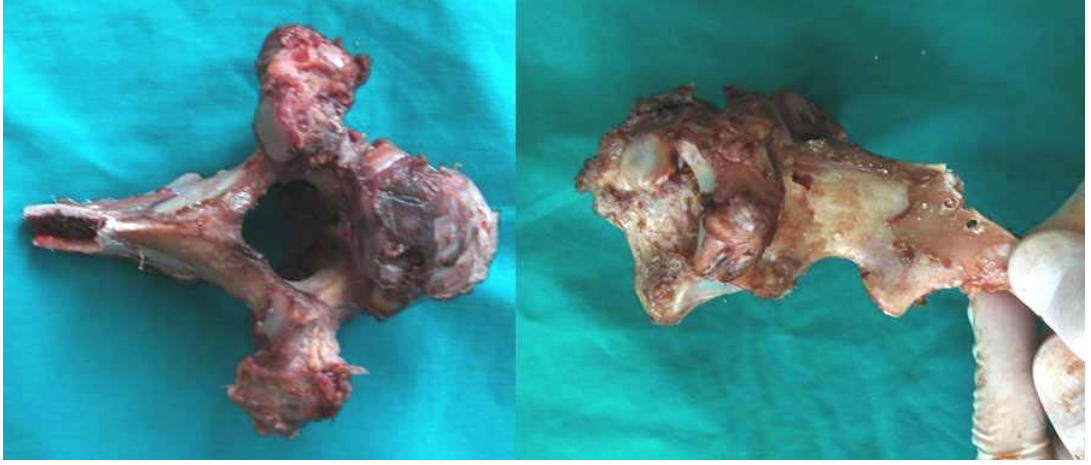
### 3. AMAÇ

Skolyoz cerrahisinde, iyi derotasyon yapılması hem kostal kamburluğun düzeltilmesi hem de selektif torakal füzyon sonrası lomber eğikliklerin spontan düzelmesi için çok önemlidir. Özellikle apikal bölgede, konveks tarafa yerleştirilen pedikül vidalarının uzunluğu konkav tarafa göre kısa kalabilir. Kısa bir vidayla yapılacak direkt vertebral rotasyon manevrası, yeterli dönme kuvveti sağlamayacağı gibi vidanın manevra sırasında pozisyon değiştirme riskini de arttıracaktır.

Bu çalışmanın hipotezi, konveks tarafta kısa kalan vidaların yerine, omur gövdesinin anterior korteksini geçecek şekilde daha uzun vidalar gönderilmesinin, daha güçlü ve güvenli bir segmental derotasyon sağlayacağıdır. Bu amaçla tek korteks ve çift korteks yerleştirilen vidaların döndürme kuvveti birbirleriyle ve ideal yönde ve uzunlukta yerleştirilen vidaların döndürme kuvvetiyle karşılaştırıldı.

#### 4. GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışmada 24 adet dana omuru kullanıldı. İki yaşındaki 2 adet dananın blok halinde alınan torakal omurgaları tek tek omurlara bölündü ve yumuşak dokularından temizlendi (Şekil 6). Omurlar serum fizyolojikle ıslatılmış bezlere sarılarak plastik poşetlerde -20°C’de muhafaza edildi. Çalışma yapılmadan 24 saat önce omurlar buzlukta çıkartılarak çözümleri sağlandı.

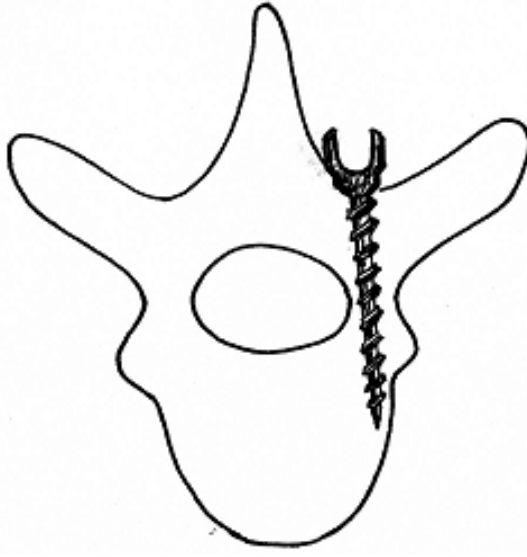


Şekil 6) Yumuşak dokulardan temizlenmiş olan torakal omur

##### 4.1. Çalışma Gruplarının Oluşturulması

Çalışmada iki adet deney (tek korteks ve çift korteks grupları) ve bir adet kontrol grubu oluşturuldu.

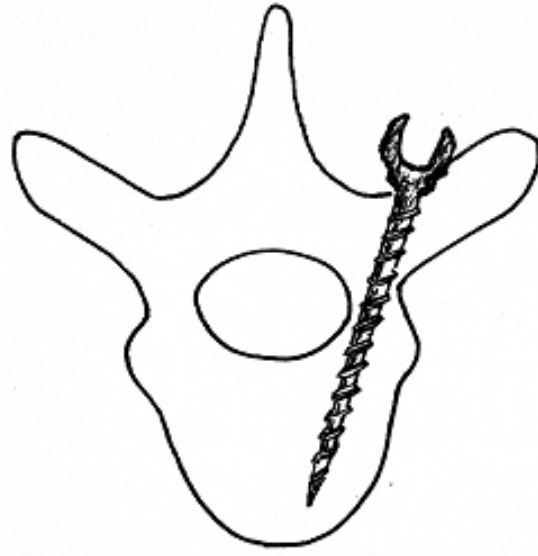
- Tek korteks grubu: Pedikül vidaları, skolyozda konveks tarafta yeterli uzunluk ve düzgün yönde konulamamış vidaları taklit edecek şekilde, ucu lateralize edilerek yerleştirildi (Şekil 7).
- Çift korteks grubu: Pedikül vidaları, tek korteks grubunda olduğu gibi uygun olmayan yönde fakat ucu omur gövdesinin anterior korteksini geçecek şekilde çift korteks olarak yerleştirildi (Şekil 8).
- Kontrol grubu: Pedikül vidaları ideal yönde ve ideal uzunlukta yerleştirildi (Şekil 9).



Şekil 7) Tek korteks grubu



Şekil 8) Çift korteks grubu



Şekil 9) Kontrol grubu

Dana omurgasının farklı seviyelerinde pedikül kalınlığı ve morfolojisi değişkenlik gösterdiği için, şekilleri birbirine benzeyen komşu omurlar her üç gruba eşit şekilde dağıtılarak randomizasyon yapıldı.

## 4.2. Pedikül Vidalarının Uygulanması Ve Biyomekanik Testler

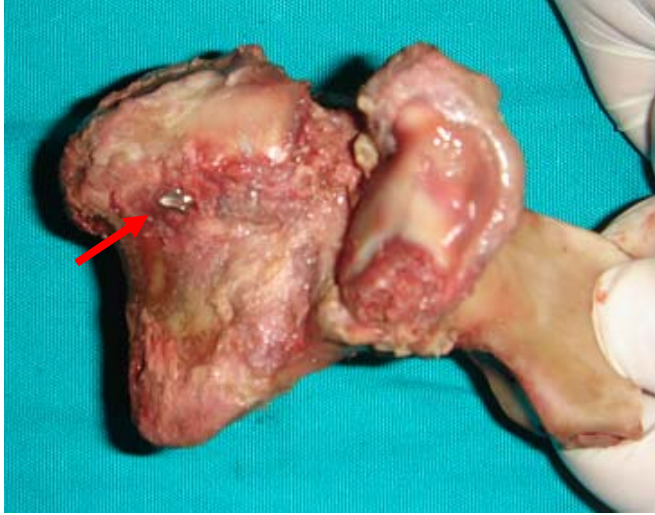
Her omurun bir pedikülü standart bir yöntemle hazırlanarak bir adet pedikül vidasıyla enstrümante edildi (Stabil Spinal Sistem, Tasarım Medikal, İstanbul, Türkiye). Giriş deliği açılmadan önce komşu fasetin bir bölümü, vida başının sıkışmasını engellemek için, *ronger*la eksizye edildi. Vidanın giriş noktası pedikül her üç planda direkt olarak incelenerek belirlendi. Giriş noktasındaki korteks delici ile delindikten sonra 4,5 mm drille vida yolu açıldı ve ardından tepleme yapıldı. Kirschner teliyle uzunluk tespitinin ardından uygun boydaki 5 mm'lik pedikül vidası yerleştirildi (Şekil 10).

Deney grupları için giriş deliği daha medialden açılarak vida ucunun korpus lateraline yönlenmesi sağlandı. Tek korteks grubunda ve kontrol grubunda drilleme anterior kortekse kadar, çift korteks grubunda ise anterior korteksi geçecek şekilde yapıldı.

Uzunluk tespitinde tek korteks ve kontrol gruplarında, giriş noktasından anterior kortekse kadar olan mesafe ölçüldü ve vida uzunluğu bu mesafenin 2/3'ünden az olmayacak şekilde belirlendi. Çift korteks grubunda ise vidalar anterior korteksi 1 mm geçecek şekilde yerleştirildi (Şekil 11).



Şekil 10) Pedikülün hazırlanması ve vidanın yerleştirilmesi.



**Şekil 11)** Çift korteks yerleştirilen pedikül vidası

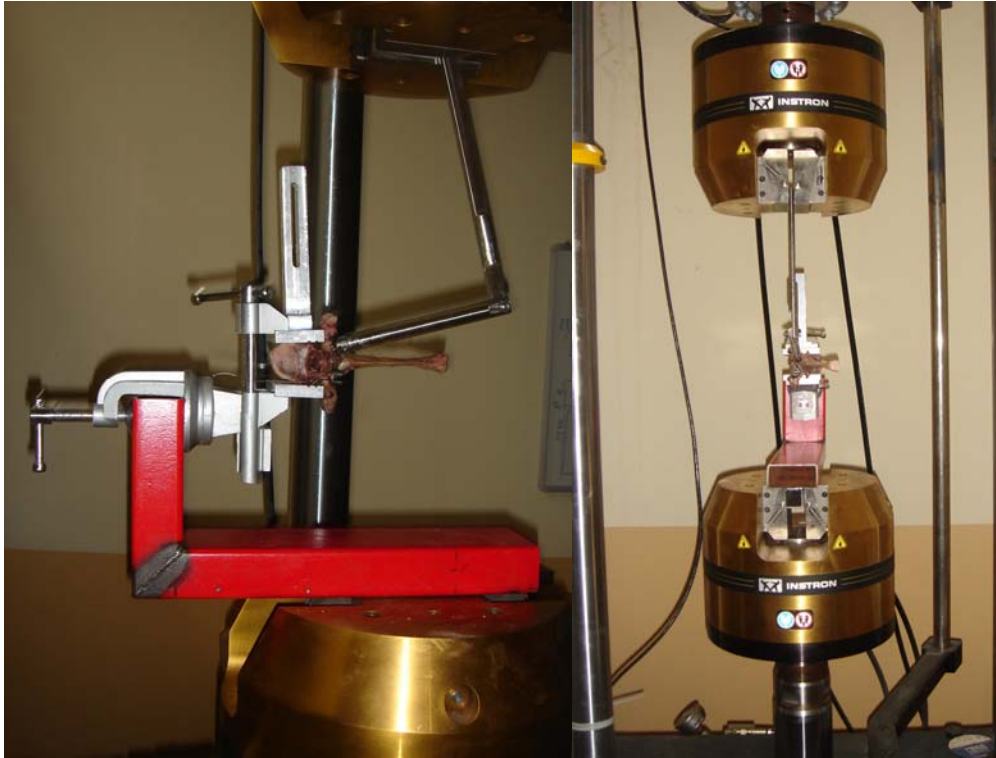
Biyomekanik testler Marmara Üniversitesi Metalurji Mühendisliği, Metalurji Bilim Dalı'nda Instron (elektrohidrolik model 8802 Canton, MA) kullanılarak yapıldı (Şekil 12).

Omurların Instron cihazına sabitlenmesi ve mediale doğru derotasyon manevrasının uygulanabilmesi için özel bir mengeleneli aparat tasarlandı. Derotatör olarak da uzun kolu 25 cm, kısa kolu 15 cm olan L şeklinde metal bir çubuk hazırlandı. Omurlar mengeneyle yatay olarak yerleştirilerek sıkıldı. L şeklindeki derotatör vida başına ve Instron cihazına yerleştirildi (Şekil 13).

Vidaya bağlanan derotatör 0,5 mm/s hızla laterale doğru çekilerek (mediale doğru derotasyon yapılarak) oluşan deplasman ve kuvvet kaydedildi. Kemik yetmezliği, 5 cm deplasman (ekstansiyon) ya da %20'den fazla kuvvet kaybı olduğunda işleme son verilmesi planlandı (21). Vidanın *pull-out* olması ya da pedikül duvarını kırması kemik yetmezliği, vidanın kırılması ya da derotatörden ayrılması implant yetmezliği olarak değerlendirildi.



**Şekil 12)** Ölçümlerin yapıldığı Instron cihazı (Model 8802)



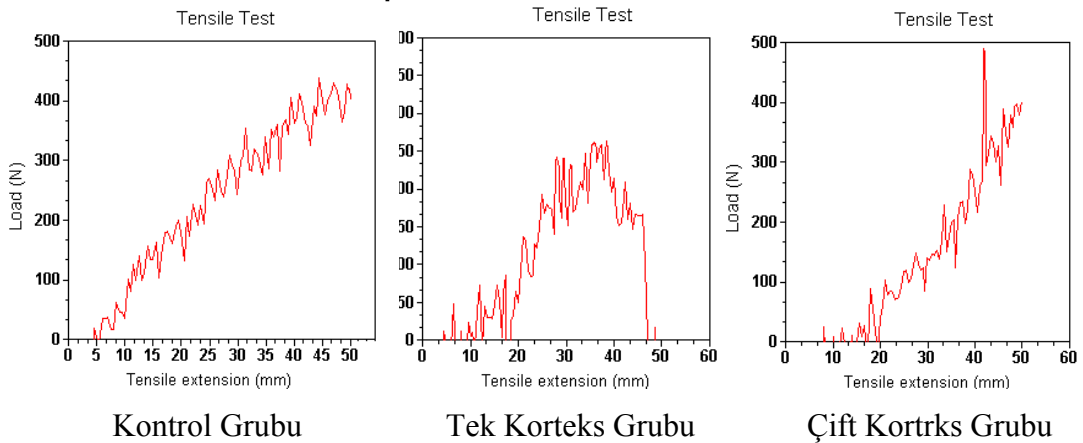
**Şekil 13)** Omurun mangelili aparata yerleştirilmesi ve L şeklindeki derotatörle çekme uygulanarak mediale doğru derotasyon yapılması

Elektronik sistem ile ekstansiyon (deplasman) (mm)- kuvvet (N) eğrisi grafiği elde edildi (Şekil 14).



Şekil 14) Ölçümlerin aktarıldığı elektronik sistem

Bu eğride kuvvetin tepeye ulaştıktan sonra düşmeye başladığı nokta maksimum kuvvet olarak kaydedildi (Şekil 15).



Şekil 15) Deplasman (ekstansiyon) - kuvvet eğrileri

### 4.3. İstatistiksel Analiz

İstatistiksel işlemler Marmara Üniversitesi Biyoistatistik Anabilim Dalında yapıldı. Kuvvet ölçümlerinin karşılaştırılmasında tek yönlü ANOVA testi kullanıldı. Grupların birbirleriyle karşılaştırılmasında ise Tukey-Kramer çoklu karşılaştırma testi kullanıldı.  $P < 0.05$  şeklindeki değerler istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

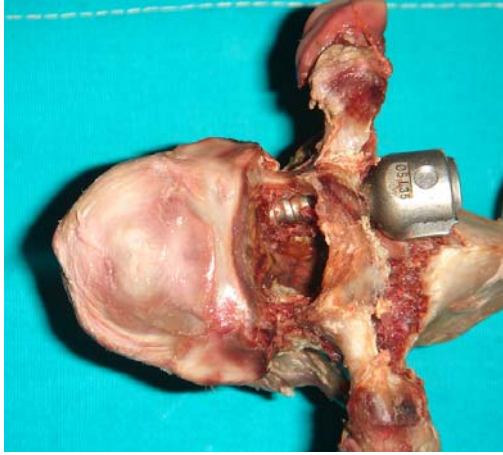
## 5. SONUÇLAR

Tüm gruplarda elde edilen kuvvetler Tablo 1’de verilmiştir. En yüksek kuvvetlere kontrol grubunda (Grup 3) ulaşıldı. Bu grupla hem çift korteks grubu (Grup 2) ( $p<0,05$ ), hem de tek korteks grubu (Grup 1) ( $p<0,001$ ) arasında istatistiksel olarak anlamlı fark saptandı. En düşük kuvvetler tek korteks grubunda ortaya çıktı. Çift korteks grubundaki kuvvetlerin tek korteks grubundakilerden istatistiksel olarak anlamlı ölçüde fazla olduğu görüldü ( $p<0,01$ ) (Tablo 2).

**Tablo 1:** Biyomekanik testlerin sonuçları

No	Grup 1 (N)	Grup 2 (N)	Grup 3 (N)
1	264	400	437
2	227	338	409
3	205	317	370
4	362	408	510
5	253	320	386
6	142 *	264	457
7	167 *	287	328
8	266	331	415
<i>Mean</i>	235,75 (SD: 68,125)	333,13 (SD: 49,921)	414 (SD: 55,724)

\* Pedikül kırığı görülen omurlar



**Şekil 16)** Kemik yetmezliği görülen bir omur

Grup 1’de iki omurda pedikül vidalarının pedikülün medial duvarını kırarak spinal kanal içine girdiği görüldü (Şekil 16). İmplant yetmezliğiyle ise karşılaşılmadı.

**Tablo 2:** Tukey-Kramer çoklu karşılaştırma testi sonuçları

<b>Karşılaştırma</b>	<b><i>Mean Difference</i></b>	<b>q</b>	<b>p</b>
<b>Grup 1 – Grup 2</b>	- 97,375	4,715	<0,01
<b>Grup 1 – Grup 2</b>	- 178,25	8,630	<0,001
<b>Grup 2 – Grup 3</b>	- 80,875	3,916	<0,05

## 6. TARTIŞMA

Skolyoz cerrahisinde koronal, sagittal ve transvers planlardaki deformitelerin düzeltilmesi için birçok manevra tanımlanmış ve yalnız ya da birbirleriyle kombine edilerek kullanılmıştır (10). Cotrel-Dubousset enstrümantasyonu ve rod derotasyonu ile üç planda düzelme sağlandığı düşünülmüştür (14,15). Ancak daha sonra rod derotasyonunun transvers planda özellikle apikal bölgedeki rotasyonu yeterli oranda düzeltilmediği gösterilmiştir (16,17). Hatta Gardner-Morse ve Stokes rod derotasyonu sonrasında apikal vertebral rotasyonun ortalama 8° arttığını bildirmişlerdir (22). Bu sorunu ortadan kaldırmak için Lee ve ark. direkt vertebral rotasyon manevrasını tanımlamışlardır (1). Yaptıkları çalışmada direkt vertebral rotasyonu (DVR) rod derotasyonu (RD) karşılaştırmış ve apikal vertebra rotasyonunun DVR ile %42,5, RD ile %2,4 oranında düzeltilmediğini göstermişlerdir. Skolyoz cerrahisinde transvers planı daha iyi düzeltmek için DVR manevrası mutlaka yapılmalıdır.

Skolyoz cerrahisinde kozmetik açıdan iyi bir sonuç elde edilebilmesi için kostal kamburluğun düzeltilmesi gerekmektedir. Harvey, eğikliği 60 dereceden fazla olan, eğilmeli grafilere %20'den az düzelen, preoperatif kosta çıkıntısı 10 dereceden fazla olan ve intraoperatif düzelme oranı %50'den az olan vakalarda torakoplasti gerekebileceğini belirtmiştir (23). Torakoplasti ikinci bir cerrahi prosedür olarak yapılabileceği gibi skolyoz cerrahisiyle aynı seansta da uygulanabilir. DVR transvers plandaki rotasyonu daha iyi düzelttiği için kostal kamburluğu ve toraks simetrisini daha iyi düzeltmiştir. Bunun sonucunda DVR uygulanan vakalarda torakoplasti ihtiyacı azalmıştır (4,5).

En alt enstrümente edilen omur tilitinin düzeltilmesi skolyoz cerrahisinde koronal dengenin sağlanması için önemlidir. Lee ve ark.'ın çalışmasında en alt enstrümente edilen omur tiliti, RD yapılan vakalarda %66,3, DVR yapılan vakalarda ise %80,6 oranında düzeltilmiştir (1). İyi koronal denge için iyi DVR yapılması şarttır.

Majör torasik, kompanseuar lomber eğikliklerin olduğu vakalarda sadece torasik eğikliğin stabil omura kadar enstrümente edilmesine selektif torakal füzyon denir (24). Lenke Tip 1C eğikliklerde selektif torakal füzyon uygulaması tartışmalıdır (25,26). Daha önce yapılan birçok çalışmada selektif füzyonda torakal

eğikliğin fazla düzeltilmesinden lomber dekompanseasyon yapacağı için kaçınılması gerektiği belirtilmiştir (27,28). Bu durum ise yetersiz düzeltmeye neden olmuştur. Thompson ve ark. selektif füzyon sırasında torakal bölgeye yapılacak derotasyonun lomber bölgedeki eğikliği arttıracaklarını belirtmişlerdir (29). Ancak Lee ve ark. direkt vertebral rotasyonun selektif torakal füzyon sonrası lomber eğikliklerde spontan düzelme sağladığını göstermişlerdir. Enstrümante edilen en alt iki seviyenin torakaldekinin tersi yönünde döndürülmesiyle lomber bölgedeki rotasyonun da düzeldiği bu çalışmada tariflenmiştir (1). Lenke Tip 1C eğikliklerde selektif torakal füzyon yapılacaksa DVR etkili bir şekilde yapılmalıdır.

Krag ve ark. çalışmalarında pedikül vidalarının ideal bir tutma kuvveti oluşturması için omur gövdesinin % 50 ile % 75'i kadar ilerletilmesi gerektiğini belirtmişlerdir (30). Ancak derotasyon manevrası için vidanın mümkün olduğunca uzun yerleştirilmesi gerekir. Vida omurun dönme merkezinin ne kadar önüne ulaşırsa döndürme kuvveti de o kadar fazla olur (20). Takeshita ve ark. apikal bölgede konveks taraftaki vidaların konkav tarafa göre kısa kaldığını göstermişlerdir (7). Bunun nedeni kostal kamburluk nedeniyle vida tutucunun laterale doğru yatırılmaması ve vida ucunun medialize edilememesidir. Sonuçta lateralize olarak yönlenen pedikül vidası ideal yönde yerleştirilen vidaya göre kısa kalır. Eğer vida kısa kalırsa yeterli dönme kuvveti sağlanamayacağı gibi vidanın manevra sırasında pozisyon değiştirme ve kemik yetmezliğine yol açma riski de artacaktır. Bir postoperatif bilgisayarlı tomografi çalışmasında yerleştirilen 1023 pedikül vidasının % 10'unun yanlış pozisyonda olduğu gösterilmiştir (8). Bu vidalar yanlış pozisyona manevra sırasında gelmiş olabilir. Parent ve ark.'nın kadavra üzerinde yaptıkları biyomekanik çalışmada ise medial rotasyon uygulanan omurların yarısında, lateral rotasyon uygulanan omurlarında üçte ikisinde pedikül duvarı kırığı olduğunu gösterilmiştir (21). Zindrick ve ark.'nın çalışmasında değişik derinliklerde gönderilen pedikül vidalarına aksiyel *pull-out* ve siklik yüklenme testleri uygulanmış ve anterior korteksi geçen vidaların en fazla tutma kuvvetine sahip oldukları görülmüştür (31). Direkt vertebral rotasyonun kuvvetli ve etkili yapılabilmesi için de sağlam bir fiksasyon gereklidir. Sağlam fiksasyon da vidanın ideal uzunlukta ya da çift korteks olarak yerleştirilmesiyle mümkündür. Eğer kısa kalan bir vida omur anterior korteksini geçecek şekilde yerleştirilirse vidanın tutma kuvveti ve derotasyon kuvveti

kısa ve tek korteks yerleştirilen bir vidaya göre daha fazla olacak, manevra sırasında pozisyon değiştirme ve pedikül duvarını kırma riski azalacaktır.

Pedikül vidasının bikortikal yerleştirilmesi spondilolistezis cerrahisinde sakral vidalarda uygulanan bir yöntemdir (32). Sakral vidanın tutma kuvvetinin daha da arttırılması için vidalar sakral promontoryumun apeksine yönlendirilip trikortikal fiksasyon da uygulanmıştır (33). Bu uygulamalarda ne kadar çok korteks geçilirse vidanın tutma kuvvetinin o kadar fazla olduğu gösterilmiştir.

Omurun anterior korteksinin penetre edilmesinden iç organ ve damar yaralanma riskini arttırabileceği için korkulmaktadır (34). Skolyoz cerrahisinde iç organ yaralanmalarının oranı %1 civarında bildirilmiştir (35). Literatürde akut büyük damar yaralanmasına bağlı ölümcül bir komplikasyon bildirilmemekle birlikte, yerleştirilen vidanın zamanla yol açabileceği potansiyel damar hasarı nedeniyle vidanın çıkartıldığı olgu raporları mevcuttur (36). Ancak bu serilerin hiçbirinde anterior korteksi geçmek hedeflenmemiştir, anterior korteks yanlışlıkla geçilmiştir. Suk ve ark.'nın çalışmasında pedikül ya da korpus lateralinden dışarı çıkan vidaların hiçbiri nörolojik ya da viseral komplikasyona yol açmamış ve değiştirilmeleri gerekmemiştir (37). Vaccaro ve ark. kadavra üzerinde yaptıkları çalışmada anterior korteksi geçen vidaların sol tarafta aort ve özefagusu, sağ tarafta ise azigoz ven, inferior vena kava, interkostal damarlar ve duktus torasikusunu yaralama riski olduğunu belirtmişlerdir (38). Eğer bu vidalar lateralize yerleştirilirse akciğer, segmental damarlar ve sempatik zincirin yaralanma tehlikesi mevcuttur. Aynı çalışmada tüm bu yapıların omur anterior korteksine 5 mm kadar yakın olduğu gösterilmiştir. Biz çalışmamızda anterior kortekse kontrollü olarak girip (*engagement*) korteksi en fazla 1 mm geçtiğimiz için klinik uygulamada bu yapılara zarar verilmeyeceğini düşünüyoruz.

Bu çalışmada lateralize yerleştirildiği için kısa kalan tek korteks ve çift korteks vidaların döndürme kuvveti birbirleriyle ve ideal yönde ve uzunlukta yerleştirilen vidalarinkiyle karşılaştırıldı. Deney gruplarındaki kısa vidalar skolyozda konveks tarafı taklit edebilmek amacıyla, pedikülün içinde kalmak şartıyla mümkün olduğunca lateralize olarak yerleştirildi. Kontrol grubundaki vidalar ise pedikül korteksine değmeden, pedikülün yönlendirdiği açıda, transvers planda omur

gövdesinin karşı yarısına geçmeyecek şekilde ve omur gövdesinin % 66 ile % 80'i kadar ilerletildi.

Derotasyonu yapmak için kısa kolu 15 cm, uzun kolu 25 cm olan L şeklinde bir derotatör kullanıldı. Derotatör Instron cihazına ve omurun yerleştirildiği mengelenli aparata daha iyi uyum sağlaması için bu şekilde tasarlandı. Parent ve ark. insan kemiği üzerinde yaptıkları biyomekanik çalışmada 30,5 cm'lik derotatör kullanmış ve ortalama 40 N'luk bir kuvvetin kemik yetmezliğine neden olabileceğini göstermişlerdir (21). Bizim uyguladığımız kuvvetler hem kuvvet kolunun daha kısa olması hem de dana kemiğinin daha sağlam olması nedeniyle çok daha fazlaydı. Derotasyon manevrasının tek hamlede yapılmış olması da kemik yetmezliği oluşmasını kolaylaştırmış olabilir. Eğer manevra birkaç seferde ve kuvvet kontrollü şekilde arttırılarak uygulanırsa kemik yetmezliği engellenebilir.

Çalışmamızın sonuçlarına bakıldığında çift korteks grubunda (Grup 2) tek korteks grubuna (Grup 1) göre daha büyük döndürme kuvvetlerinin ortaya çıktığı görülmektedir. Çift korteks grubunda kemik yetmezliği görülmezken tek korteks grubunda iki adet pedikül kırığı görüldü. Bu çalışmada konveks taraf taklit edildiği için direkt vertebral rotasyon mediale doğru yapıldı ve bu nedenle iki pedikül kırığı da medial korteks kırığı olarak görüldü. Pedikülün medial duvarının lateral duvarına göre üç kat daha sağlam olduğu (1) düşünülürse, laterale doğru derotasyon yapıldığında kırık oranının artacağı varsayılabilir. Bu çalışma konveks taraftaki kemik yetmezliğinin engellenmesinde çift korteks yerleştirilen vidaların daha etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Bu yöntem konkav tarafa uygulanırsa lateral rotasyon sonrası lateral korteks kırığı riskinin de azalacağı açıktır.

En büyük döndürme kuvvetleri kontrol grubunda (Grup 3) ortaya çıkmıştır. Bu durum kontrol grubundaki vidaların daha uzun olması ve kemikle temas yüzeyinin daha fazla olması ile açıklanabilir ve zaten beklenen bir sonuçtur. Bizim sorumuz mecburen kısa gönderilen vidalarla nasıl daha fazla döndürme kuvveti uygulanabileceğidir. Deney gruplarından çift korteks grubunda (Grup 2) kontrol grubuna daha yakın döndürme kuvveti elde edilmiş olması bu soruyu cevaplamaktadır. Eğer bir vida ortalamadan kısa kalıyorsa bu vida çift korteks yerleştirilmelidir. Bu aşamada vidanın kısa kaldığını nasıl anlaşılacağı sorulabilir. Bu tespit komşu seviyedeki ya da karşı pediküldeki vida boylarıyla karşılaştırarak

yapılabileceği gibi daha hassas sonuçlar için ameliyat öncesi bilgisayarlı tomografiyle pedikül ve omur gövdesi boyutları ile pedikül içinden anterior kortekse giden en kısa mesafe belirlenmelidir.

Literatüre baktığımızda çift korteks yerleştirilen pedikül vidasının döndürme kuvvetini araştıran bir çalışmanın daha önce yapılmadığını görüyoruz. Çift korteks vidanın *pull-out* ve siklik yüklenmelere karşı daha güçlü olduğu ise Zindrick ve ark. tarafından gösterilmiştir (31). Döndürme kuvvetini ölçmek için uyguladığımız yöntem ise Parent ve ark.'ın çalışmasında kullanılmıştır (21). Ancak bu çalışmada çift korteks vidalar araştırılmamıştır. Bu çalışma çift korteks pedikül vidasının döndürme kuvvetini araştıran ilk çalışmadır.

Bu çalışmada dana omurgası kullanılmıştır. Biyomekanik çalışmalarda araştırmacılar sıklıkla sentetik materyalleri ya da hayvan kemiğini tercih etmişlerdir (39,40). Bunun nedeni, insan kadavra kemiğine göre kemik yoğunluğu farklarının çok daha az olmasıdır (41). Bu şekilde birbirine yakın biyomekanik özellikleri olan materyaller üzerinde farklı tedavi yöntemleri daha iyi karşılaştırılabilir. Bir omurga segmenti yerine tek tek omurlar kullanmamızın nedeni derotasyon manevrasının omurga segmenti üzerindeki uygulama zorluğu ve böyle bir hayvan modelinin bulunmamasıdır. Derotasyonun tek tek omurlar üzerinde uygulandığı model ise literatürde mevcuttur (21).

Sonuç olarak skolyoz cerrahisinde konveks tarafa vida konulması problemlidir ancak direkt vertebral rotasyon için gereklidir. Derotasyon kuvvetinin artırılması, daha fazla derotasyon yapılabilmesi ve kemik yetmezliğinin azaltılabilmesi için konveks tarafa yerleştirilen vidaların kısa kaldıkları durumda en azından anterior kortekse girmesi gerekmektedir.

Bu yöntemin Lenke Tip 1C eğikliklerde randomize kontrollü bir çalışmasının yapıp klinik uygulamadaki başarısı araştırılmalıdır.

## 7. KAYNAKLAR

1. Lee SM, Suk SI, Chung ER. Direct vertebral rotation: a new technique of three-dimensional deformity correction with segmental pedicle screw fixation in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine* 2004;29:343–349.
2. Hamill CL, Lenke LG, Bridwell KH. The use of pedicle screw fixation to improve correction in the lumbar spine of patients with idiopathic scoliosis. Is it warranted? *Spine* 1996;21:1241–1249.
3. Dobbs MB, Lenke LG, Kim YJ. Selective posterior thoracic fusions for adolescent idiopathic scoliosis: comparison of hooks versus pedicle screws. *Spine* 2006;31:2400–2404.
4. Kuklo TR, Potter BK, Polly DWJr. Monaxial versus multiaxial thoracic pedicle screws in the correction of adolescent idiopathic scoliosis. *Spine* 2005;30:2113–2120.
5. Potter BK, Kuklo TR, Lenke LG. Radiographic outcomes of anterior spinal fusion versus posterior spinal fusion with thoracic pedicle screws for treatment of Lenke Type I adolescent idiopathic scoliosis curves. *Spine* 2005;30:1859–1866.
6. Akcali O, Alici E, Kosay C. Apical instrumentation alters the rotational correction in adolescent idiopathic scoliosis. *Eur Spine J* 2003;12:124–129.
7. Takeshita K, Maruyama T, Chikuda H, Shoda N, Seichi A, Ono T, Nakamura K. Diameter, length, and direction of pedicle screws for scoliotic spine analysis by multiplanar reconstruction of computed tomography spine 2009;34:798–803.
8. Lehman RA Jr, Lenke LG, Kim YH. Computed tomography (CT) evaluation of pedicle screws placed into deformed spines over an 8-year period. 41st Scoliosis Research Society Meeting. Monterey, CA; 2006.
9. Hibbs RA, Risser JC, Ferguson AB. Scoliosis treated by the fusion operation. An end result study of 360 cases. *J Bone Joint Surg* 1931;13:91–204.
10. Foster M. A functional classification of spinal instrumentation. *The Spine Journal* 2005;5:682–694.
11. Harrington PR. Surgical instrumentation for management of scoliosis. *J Bone Joint Surg* 1960;42A:1488.

12. Luque ER. Segmental spinal instrumentation for correction of scoliosis. *Clin Orthop Rel Res* 1982;163:192–198.
13. Drummond D, Guadagni J, Keene JS. Interspinous process segmental spinal instrumentation. *J Ped Orthop* 1984;4(4):397–404.
14. Cotrel Y, Dubousset J, Guillaumat M. New universal instrumentation in spinal surgery. *Clin Orthop* 1988;227:10–23.
15. Suk SI, Lee CK, Chung SS. Comparison of Zielke ventral derotation system and Cotrel-Dubousset instrumentation in the treatment of idiopathic lumbar and thoracolumbar scoliosis. *Spine* 1994;19:419–429.
16. Ghanem IB, Hagnere F, Dubousset JF. Intraoperative optoelectronic analysis of three-dimensional vertebral displacement after Cotrel-Dubousset rod rotation. A preliminary report. *Spine* 1997;22:1913–1921.
17. Labelle H, Dansereau J, Bellefleur C. Preoperative three-dimensional correction of idiopathic scoliosis with the Cotrel-Dubousset procedure. *Spine* 1995;20:1406–1409.
18. Suk SI, Lee CK, Kim WJ, Chung YJ, Park YB. Segmental pedicle screw fixation in the treatment of thoracic idiopathic scoliosis. *Spine* 1995;20:1399-1405.
19. Chi JH, Lee R, Mummaneni P. Concepts of surgical correction-segmental derotation and translation techniques. *Neurosurg Clin N Am* 2007;18:325–328.
20. Shah SA. Derotation of the spine. *Neurosurg Clin N Am* 2007;18:339–345.
21. Parent S, Odell T, Oka R, Mahar A, Newton P. Does the direction of pedicle screw rotation affect the biomechanics of direct transverse plane vertebral derotation? *Spine* 2008;33:1966–1969.
22. Gardner-Morse M, Stokes IA. Three-dimensional simulations of the scoliosis derotation maneuver with Cotrel-Dubousset instrumentation. *J Biomech* 1994;27:177–181.
23. Harvey CJ Jr, Betz RR, Clements DH, Huss GK, Clancy M. Are there indications for partial rib resection in patients with adolescent idiopathic scoliosis treated with Cotrel-Dubousset instrumentation? *Spine* 1993;18:1593-1598.
24. Chang KW, Chang KI, Wu CM. Enhanced capacity for spontaneous correction of lumbar curve in the treatment of major thoracic–compensatory C modifier lumbar curve pattern in idiopathic scoliosis. *Spine* 2007;32:3020–3029.

25. Newton PO, Faro FD, Lenke LG. Factors involved in the decision to perform a selective versus nonselective fusion of Lenke 1B and 1C (King-Moe II) curves in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine* 2003; 28:217–223.
26. Lenke LG, Betz RR, Haheer TR. Multisurgeon assessment of surgical decision-making in adolescent idiopathic scoliosis: curve classification, operative approach, and fusion levels. *Spine* 2001;26:2347–2353.
27. Bridwell KH, McAllister JW, Betz RR. Coronal decompensation produced by Cotrel-Dubousset “derotation” maneuver for idiopathic right thoracic scoliosis. *Spine* 1991;16:769–777.
28. Richards BS. Lumbar curve response in type II idiopathic scoliosis after posterior instrumentation of the thoracic curve. *Spine* 1992;17(8 suppl): 282–286.
29. Thompson JP, Transfeldt EE, Bradford DS. Decompensation after Cotrel-Dubousset instrumentation of idiopathic scoliosis. *Spine* 1990;15: 927–931.
30. Krag MH, Beynon BD, DeCoster TA, Pope MH. Depth of insertion of transpedicular screws into human vertebrae: effective on screw–vertebrae interface strength. *J Spinal Disord* 1988;1:287–294.
31. Zindrick MR, Wiltse LL, Widell EH, Thomas JC, Holland WR, Field BT, Spencer CW. A biomechanical study of intrapeduncular screw fixation in the lumbosacral spine. *Clin Orthop* 1986;203:99-112.
32. Luk K, Chen L, Lu W. A stronger bicortical sacral pedicle screw fixation through the S1 endplate. An in vitro cyclic loading and pull-out force evaluation. *Spine* 2005;30: 525–529.
33. Lehman RA Jr, Kuklo TR, Belmont PJ. Advantage of pedicle screw fixation directed into the apex of the sacral promontory over bicortical fixation: a biomechanical analysis. *Spine* 2002;27:806–811.
34. Liljenqvist UR, Halm HF, Link TM. Pedicle screw instrumentation of the thoracic spine in idiopathic scoliosis. *Spine* 1997;22:2239-2245.
35. Coe JD, Arlet V, Donaldson W, Berven S, Hanson DS, Mudiyaam R, Perra JH, Shaffrey CI. Complications in spinal fusion for adolescent idiopathic scoliosis in the new millennium. A report of the scoliosis research society morbidity and mortality committee. *Spine* 2006;31:345–349.

36. Vanichkachorn J, Vaccaro A, Cohen M. Potential large vessel injury during thoracolumbar pedicle screw removal. A case report. *Spine* 1997;22:110-113.
37. Suk SI, Kim WJ, Lee SM, Kim JH, Chung ER. Thoracic Pedicle Screw Fixation in Spinal Deformities Are They Really Safe? *Spine* 2001;26:2049–2057.
38. Vaccaro AR, Rizzolo SJ, Balderston RA, Allardyce TJ, Garfin SR, Dolinskas C, An HS. Placement of pedicle screws in the thoracic spine. Part II: An anatomical and radiographic assessment. *J Bone Joint Surg Am.* 1995;77:1200-1206.
39. McKinley TO, McLain RF, Yerby SA, Sarigul-Klijn N, Smith TS. The effect of pedicle morphometry on pedicle screw loading in unstable burst fractures: a synthetic model. *Spine* 1997;22:246–252.
40. Pfeiffer M, Gilbertson L, Goel V. Effect of specimen fixation method on pullout tests of pedicle screws. *Spine* 1996;21:1037–1044.
41. Inceoglu S, Ferrara L, McLain RF. Pedicle screw fixation strength: pullout versus insertional torque. *The Spine Journal* 2004;4:513-518.