

T. C
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ ANABİLİM DALI

**PEDİKÜL SUBTRAKSİYON OSTEOTOMİSİ VE KEMİK DİSK
KEMİK OSTEOTOMİSİNİN KOYUN VERTEBRASI ÜZERİNDE
BİYOMEKANİK OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI**

UZMANLIK TEZİ

Dr. Yüksel Laçın AVAN

OCAK-2022

T. C
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ ANABİLİM DALI

**PEDİKÜL SUBTRAKSİYON OSTEOTOMİSİ VE KEMİK DİSK
KEMİK OSTEOTOMİSİNİN KOYUN VERTEBRASI ÜZERİNDE
BİYOMEKANİK OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI**

UZMANLIK TEZİ

Dr. Yüksel Laçın AVAN

DANIŞMAN:
Doç. Dr. Alauddin KOÇAI

OCAK-2022

TEZ ONAYI

Kurum : Sakarya Üniversitesi/Tıp Fakültesi
Program türü : Uzmanlık Tezi
Anabilim Dalı : Ortopedi ve Travmatoloji
Tez Sahibi : Yüksel Laçın AVAN
Sınav Tarihi : **Saat:**
Tez Başlığı : Pedikül Subtraksiyon Osteotomisi ve Kemik Disk Kemik Osteotomisinin Koyun Vertebraı Üzerinde Biomekanik Olarak Karşılaştırılması

Bu çalışma, içerik ve kalite bakımından Uzmanlık Tezi olarak Oybirliğı / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

	Ünvan, Adı-Soyadı (Kurum adı)	İmza	Kabul/Red*
Danışman (Üye)			
Üye			
Üye			

* Red kararının gerekçesi onay sayfasının arkasında belirtilmelidir.

ONAY

“Bu tez . . / . . /202. . tarihinde yukarıdaki jüri tarafından Oybirliğı / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.”

. . / . . /202. .
Tıp Fakültesi Dekanı

BEYAN

Bu çalışma T. C. Sakarya Üniversitesi Girişimsel Olmayan Yerel Etik Kurulu'ndan 13/12/2019 tarihinde onay olarak hazırlanmıştır. Bu tezin kendi çalışmam olduğunu, planlanmasından yazımına kadar hiçbir aşamasında etik dışı davranışımın olmadığını, tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları kaynaklar listesine aldığımı, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

.../.../2022

Yüksel Laçın AVAN

TEŞEKKÜR

Ortopedi ve Travmatoloji uzmanlık eğitim sürem içinde bilgi, fikir ve tecrübelerinden faydalandığım anabilim dalı başkanımız Prof. Dr. Mustafa Erkan İNANMAZ'a, değerli hocalarım Prof. Dr. Mehmet TÜRKER, Prof. Dr. Mustafa UYSAL, Doç. Dr. Erhan ŞÜKÜR, Doç. Dr. Bekir Murat ÇINAR, Yar. Doç. Dr. Fevzi SAĞLAM,, usta-çırak ilişkisi şeklinde öğrenme sürecinde tecrübelerinden bolca yararlandığım Doç. Dr. Özgür Çiçekli, Op. Dr. Hüseyin Nevzat Topçu, Op. Dr. İsmail DALDAL, Op. Dr. Alper KURTOĞLU, Op. Dr. Aytaç CEBESOY, Op. Dr. Abdullah Kırbız'a tüm asistanlık dönemi boyunca gerek mesleki ve gerek insani vasıfları yönünden örnek aldığım, hocalık vasıflarının yanında bize bu süreçte abilik yapan Doç. Dr. Alauddin Kochai'ye, zorlu asistanlık eğitimini neşeli hale getiren başta Dr. İhsan ÖZ olmak üzere asistan arkadaşlarıma, biomekanik ölçüm aşamasında yardımlarından dolayı Makine Mühendisliği Bölümü'nden Doç. Dr. Murat Çınar'a ve bu 5 yıllık asistanlık sürecinde her aşamada beraber uyumlu şekilde çalıştığım servis ve ameliyathane hemşire ve personellerine bana desteklerini esirgemeyen değerli aileme ve bana her zaman destek olan değerli eşim Dr. Eylem KOCA AVAN'a teşekkürlerimi sunarım. Bu tez, Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı tarafından 2020-7-25-25 numaralı proje ile desteklenmiştir

Saygılarımla

Dr. Yüksel Laçın AVAN

07. 01. 2022

İÇİNDEKİLER

BEYAN.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMA VE SİMGELER.....	v
ŞEKİLLER.....	vi
TABLolar	vii
RESİMLER.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1. OMURGANIN GENEL ANATOMİSİ.....	2
2.1.1. Servikal Vertebra.....	4
2.1.2. Torakal Vertebra.....	6
2.1.3. Lomber Vertebra.....	7
2.1.4. Diskler.....	8
2.1.5. Kaslar.....	10
2.1.6. Bağlar.....	12
2.1.7. Medulla Spinalis	12
2.2. BİYOMEKANİK.....	13
2.3. NORMAL OMURGANIN DÜZLEM ANALİZİ	20
2.3.1. Normal Omurganın Frontal Düzlem Anatomisi	20
2.3.2. Normal Omurganın Sagittal Düzlem Analizi	21
2.3.3. Terminoloji	23
2.3.4. Sagittal Denge Kavramı Ve Önemi	24
2.3.5. Servikal Lordozun Değerlendirilmesi.....	25
2.3.6. Torakal Kifozun Değerlendirilmesi	26
2.3.7. Lomber Lordozun Değerlendirilmesi	27
2.3.8. Lumbosakral Bileşkenin Değerlendirilmesi	27

2.3.8.1. Lumbosakral açısı.....	27
2.3.8.2. L5 İnsidens açısı	27
2.3.9. Sakrum ve Pelvisin Değerlendirilmesi	27
2.4. KİFOZ DEFORMİTESİNİN İNCELENMESİ	29
2.5. KİFOZ ETYOLOJİSİ	30
2.5.1. Konjenital Kifoz	30
2.5.2. Adolesan Kifoz	31
2.5.3. Posttravmatik Kifoz	34
2.5.4. Postenfeksiyöz Kifoz	35
2.5.5. Postlaminektomi (İyatrojenik) Kifoz	36
2.5.6. Bileşke Kifozu	37
2.5.7. Ankilozan Spondilit	37
2.6. OSTEOTOMİ TEKNİKLERİ	38
2.6.1. Ponte Osteotomisi ve Smith Petersen Osteotomisi.....	39
2.6.2. Pedikül Subtraksiyon Osteotomisi.....	40
2.6.3. Kemik Disk Kemik (Bone Disc Bone) Osteotomisi.....	41
2.6.4. Vertebral Kolon Rezeksiyonu.....	41
3. GEREÇ VE YÖNTEM	43
3.1. AMAÇ	43
3.2. YÖNTEM	43
3.2.1. Enstrumentasyon.....	44
3.2.2. Osteotomi.....	45
3.2.2.1. Pedikül subtraction osteotomisi (PSO)	45
3.2.2.2. Bone-disk-bone osteotomisi (BDBO)	45
3.3. İSTATİSTİKSEL ANALİZ.....	55
4. BULGULAR.....	56
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	62
KAYNAKLAR	77
EKLER.....	84
ÖZGEÇMİŞ	85

KISALTMA VE SİMGELER

BDBO	: Bone disc bone osteotomisi
PSO	: Pedikül subtraksiyon osteotomisi
PSE	: Posterior spinal enstrümantasyon
SS	: Sakral slop
PT	: Pelvik tilt
PI	: Pelvik insidans
PL	: Pelvik lordoz
KDKO	: Kemik disk kemik osteotomisi

ŞEKİLLER

Şekil 1. İnsan omurgası (Rutz et al. 2017).....	3
Şekil 2. Servikal vertebraların özellikleri (Putz and Pabst. 1994).....	6
Şekil 3. Torakal vertebranın anatomik görünümü (Putz and Pabst. 1994).....	7
Şekil 4. Torakal vertebranın anatomik görünümü (Putz and Pabst 1994).....	7
Şekil 5. Lomber bölge omurları (Netter 2010)	8
Şekil 6. Her bir disk bulunduğu vertebra korpusunun şekline uygundur (Netter 2010)	9
Şekil 7. Omurganın kas anatomisi (Thompson 2002)	11
Şekil 8. Trapezius kası (Thompson 2002)	11
Şekil 9. Omurganın üzerindeki bağlar (Putz and Pabst 1994).....	12
Şekil 10. Vertebranın hareket segmentinin parçaları (Thompson 2012).....	14
Şekil 11. Kartezyen koordinat sistemi (Benzel 1998)	14
Şekil 12. Omurganın farklı eksenlerdeki hareketleri (Moore 1992).....	15
Şekil 13. Nükleus pulpusus ve annulus fibrosusun gelen yük ile hareketi (Benzel 1998)	17
Şekil 14. Coupling fenomeni	18
Şekil 15. Faset eklem oryantasyonları (Benzel 1998)	19
Şekil 16. Rotasyonun anlık eksenine göre, ligamentlerin moment kolu uzunlukları (Benzel 1998).....	20

TABLULAR

Tablo 1. Ankilozan spondilit tanısında modifiye New York kriterleri	38
Tablo 2. 35 derece pedikül subtraksiyon osteotomisi uygulanmış vertebra modeli .	56
Tablo 3. 35 derece bone disk bone osteotomisi uygulanmış vertebra modeli.....	57
Tablo 4. 65 derece pedikül subtraksiyon osteotomisi uygulanmış vertebra modeli .	57
Tablo 5. 65 derece bone disk bone osteotomisi uygulanmış vertebra modeli.....	58
Tablo 6. 35 ve 65 derece BDBO ve PSO'nun ardışık kuvvetler uygulama sonrası rod üzerinde oluşan gerilimlerin istatistiksel olarak karşılaştırılması.	59
Tablo 7. 35 derece uygulanan PSO ve BDBO'nun ardışık kuvvetler uygulama sonrası sağ ve sol rod üzerine binen yükün istatistiksel olarak karşılaştırılması	59
Tablo 8. 65 derece uygulanan PSO ve BDBO'nun ardışık kuvvetler uygulama sonrası sağ ve sol rod üzerine binen yükün istatistiksel olarak karşılaştırılması	60

RESİMLER

Resim 1. Normal insan omurgasının lateral röntgen görünümü.....	22
Resim 2. Koyun vertebraı önden ve yandan görüntüsü	44
Resim 3. Posterior spinal enstrümantasyon uygulanmış koyun vertebraları.....	45
Resim 4. Pedikül subtraksiyon osteotomisi için kama çıkarılmış vertebra modeli ...	46
Resim 5. Çıkarılan kama vertebra sonrası osteotomi hattının kapatılması.....	46
Resim 6. Osteotomi hattının kapatılmasından sonra 2 adet rod ile sistemin kilitlenmiş halinin anteroposterior ve lateral görüntüleri	47
Resim 7. Bone disk bone osteotomisi için kama çıkarılması	48
Resim 8. Bone disk bone osteotomisi için kama vertebra çıkarıldıktan sonraki önden görünüm	48
Resim 9. Bone disk bone osteotomisi için kama vertebra çıkarıldıktan sonraki yan görünüm	49
Resim 10. Vertebra modeline osteotomi, posterior spinal enstrümantasyon ve rod uygulandıktan sonra uygulanan gerilim ölçerlerin yakından görünümü	50
Resim 11. Oluşturulan vertebra modellerinden pedikül subtraksiyon osteotomisi ve bone disk bone osteotomisinin AP ve lateral grafileeri	51
Resim 12. Oluşturulan modelde dik işleme merkezinin ve gerilim ölçerlerin verilerinin toplanması için kullanılan modül	52
Resim 13. Toplanan verilerin işlenmesi	53
Resim 14. Uygulanan vertebra modellerinin dik işleme merkezi ile bağlantısının sağlanması	54
Resim 15. Çalışma esnasında dik işleme merkezinin vertebra modeline kuvvet uygulama esnası	54

ÖZET

GİRİŞ VE AMAÇ: Çalışmamızın amacı farklı açılarda uygulanan pedikül subtraksiyon osteotomisi ve kemik disk kemik osteotomisinde ardışık yükler uygulanması ile rod üzerinde oluşan gerilimi karşılaştırmak ve osteotomi tekniğine bağlı oluşabilecek olası rod yetmezlik kırıklarının önüne geçmeye çalışmaktır.

GEREÇ VE YÖNTEM: Bu çalışmada, bağları ve ligamanları korunmuş 40 adet koyun vertebra kullanıldı. Oluşturulan vertebra modellerinin 10 tanesine 4 seviye posterior spinal enstrümantasyon (PSE) ve 35 derecelik pedikül subtraksiyon osteotomisi (PSO), 10 tanesine 5 seviye PSE ve 35 derecelik kemik disk kemik osteotomisi (KDKO), 10 tanesine 4 seviye PSE ve 65 derecelik PSO ve 10 tanesine 4 seviye PSO ve 65 derecelik KDKO uygulandı. Oluşturulan vertebra modellerine sıralı artan aksiyel yüklenme uygulandı ve rod üzerinde oluşan gerilimler strengench yardımı ile ölçüldü.

BULGULAR: 35 derecelik PSO ve KDKO modelleri biomekanik ve istatistiksel olarak karşılaştırıldığında, oluşturulan ardışık aksiyel yüklenmelere karşı PSO modelinde rod üzerinde oluşan gerilimin KDKO ya göre daha fazla olduğu görüldü ve istatistiksel olarak anlamlı bulundu($p < 0.05$). Oluşturulan 65 derecelik PSO ve KDKO modelleri istatistik olarak karşılaştırıldığında ise oluşturulan ardışık kuvvetlere karşı rod üzerinde oluşan gerilimlerde anlamlı fark saptanmadı.

SONUÇ: Sonuç olarak, 35 ve 65 derece uygulanan KDKO ve PSE sonrası rod üzerindeki gerilimler karşılaştırıldığında kemik disk kemik osteotomilerinin düşük dereceli sagittal deformitelerde daha az rod yetmezliğine bağlı kırıklar oluşturabileceği kanaatindeyiz.

Anahtar Kelimeler: Biyomekanik, deformite, kemik disk kemik osteotomisi, pedikül subtraksiyon osteotomisi, vertebra

SUMMARY

Biomechanical Comparison Of Pedicle Subtraction Osteotomy And Bone Disc Bone Osteotomy On Sheep Spine

INTRODUCTION AND AIM: The aim of our study is to compare the tension on the rod with the application of sequential loads in pedicle subtraction osteotomy and bone disc bone osteotomy applied at different angles and to try to prevent possible rod insufficiency fractures that may occur due to the osteotomy technique.

MATERIAL AND METHOD: In this study, 40 sheep vertebrae were used. 10 of them were performed 4 level PSE and 35 degree PSO, 10 of them were performed 5 level PSE and 35 degree BDBO, 10 of them were performed of 4 level PSE and 65 degree PSO and 10 of them were performed 4 levels of PSO and 65 degrees BDBO. Increasing axial loading was applied to the vertebral models and the rod stress were measured with strengtech.

RESULTS: When the 35 degree PSO and BDBO models were compared, it was seen that the tension on the rod in the PSO model against the sequential axial loads created was higher than that of the BDBO and it was found to be statistically significant ($p < 0.05$). When the 65 degree PSO and BDBO models were compared statistically, no significant difference was found in the tensions on the rod against the sequential forces.

CONCLUSION: In conclusion, when the PSO and BDBO were compared in 35 and 65 degree, the biomechanical results show that; in low grade sagittal deformities BDBO may cause less related rod fractures.

Keywords: Biomechanics, bone disc bone osteotomy, deformity, pedicle subtraction osteotomy, vertebrae

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Kifoz terimi, eski Yunanca'da kyphos sözcüğünden kaynak almaktadır ve kambur anlamına gelmektedir. Bu deformite hastanın sagittal düzlem bozukluğudur. Skolyoz terimi ise ilk kez Galen tarafından kullanılmıştır ve eğri, çarpık anlamına gelmektedir. Fizyolojik gelişim sürecindeki patolojiler sonucunda sagittal ve frontal düzlem anomalileri görülebilir. Sagittal düzlem anomalilerinde kifoz, frontal düzlem anomalilerinde skolyoz isimleri ile tanımlanan deformiteler gelişebilir.

Oluşan bu deformiteler ortorötgenogram gibi görüntüleme yöntemleri ile değerlendirilir. Çekilen grafilerde ölçüm teknikleri ile kifoz deformitesinin düzeyi hesaplanabilir. Bu ölçüm teknikleri içinde en sık kullanılanı Cobb yöntemidir. Ard arda 5 dereceden fazla açılanma ya da torakal vertebranın normal dereceleri olan 20-40 dereceden fazla açılanma kifoz deformitesi olarak nitelendirilir.

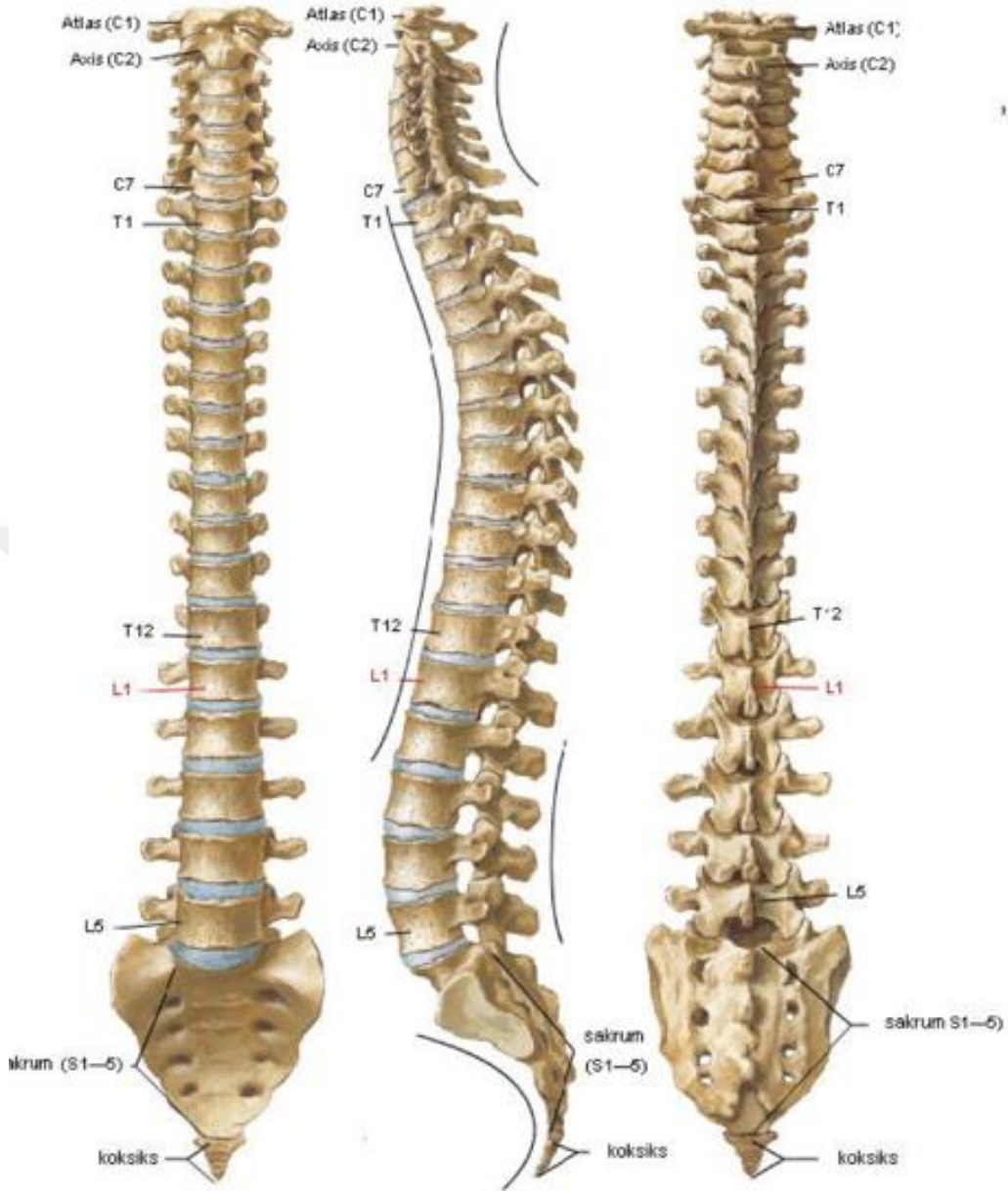
Kifoz deformitesinin medikal ve cerrahi teknikleri mevcuttur. Medikal tedavide egzersiz, postür düzeltici korseler kullanılabilir. Cerrahi tekniklerde ise posterior spinal enstrümantasyon, anterior spinal enstrümantasyon gibi tekniklerle birlikte, bu cerrahi tekniklere ek olarak osteotomi teknikleri de kullanılmaktadır. Bu osteotomi ve enstrümantasyon teknikleri sonucunda hastaların takiplerinde yetmezliğe bağlı rod kırılması gibi sorunlarla karşılaşmaktadır.

Bu çalışmada amacımız; koyun vertebrasında posterior spinal enstrümantasyon ile 35 ve 65 derecelik pedikül subtraksiyon ve kemik disk kemik osteotomi modellerinde aksiyel yüklenmelerin rod üzerinde oluşturduğu gerilimleri araştırmak ve tartışmaktır

2. GENEL BİLGİLER

2.1. OMURGANIN GENEL ANATOMİSİ

Posterior spinal enstrumantasyon, füzyon, osteotomi, kırık cerrahisi gibi geniş bir yelpazede olan omurga cerrahisini yapabilmek ve algılayabilmek için omurga anatomisinin iyi bilinmesi gerekir. Omurga (columna vertebralis), gövdenin merkezi kemik sütunudur. Pelvis yardımıyla alt ekstremitelere yük aktarımını sağlar, vücut ağırlığının bir kısmını taşır, baş ve gövdenin hareketlerinde görev alır. Ayrıca içinde oluşturduğu anatomik boşluktan medulla spinalis gibi vücut hareketlerinin oluşturulması, hareketlerin koordineli yapılması, iç organların koordineli çalışması, reflekslerin oluşturulması gibi neredeyse her hareketin ve her anın düzenlemesini yapan ve koordine eden beyin ile gövdenin iletişimini sağlayan medulla spinalis gibi çok önemli bir yapı geçer. Vücut anatomisini koruduğu gibi medulla spinalisi de travmalardan korur. İnsan omurgası; intervertebral disk, faset eklemler ve ligamanlar ile birbiri ardına sıralanmış 33 adet omurdan oluşmaktadır. İnsan omurgasında 7 servikal, 12 adet torakal, 5 adet lomber, 5 adet tek parça halinde füzyon olmuş sakral ve 4 adet birbirine değişik seviyelerde füzyon oluşturmuş koksigeal omur bulunur.



Şekil 1. İnsan omurgası (Rutz et al. 2017)

Omurgaya koronal kesitten bakıldığında longitudinal bir görünüm mevcuttur. Sagittal kesitten bakıldığında ise servikal ve lomber bölgede lordotik, torakal bölgede ise kifotik eğim mevcuttur. İlerleyen konularda bahsedileceği gibi aksiyel ve sagittal bozukluklar skolyoz, kifoz gibi anatomik bozukluklara neden olur.

Bir omurun anatomisi kesitsel olarak incelendiğinde; normal bir insan omurgasında, omurun yerleşim yeri farklı fiziksel değişiklikler gösterse de anterior tarafta bir

gövde(corpus) ve posteriorda arcuslar bulunur. Arcus vertebra; spinöz çıkıntı, lamina, pedikül ve faset eklemlerden oluşur. Her bir vertebranın corpus vertebra ve arkularının üst üste gelmesiyle foramen vertebra oluşur. Foramen vertebra içinden medulla spinalis geçer.

Arcus vertebrae'nin elemanları incelendiğinde ise laminaların posteriora doğru birleşip uzanım olarak gösterdiği spinöz çıkıntı, omur gövdesinin posteiorundan başlayıp, posterolaterale doğru uzanım gösteren pediküller ve pedikül ve laminaların birleşerek oluşturduğu transvers çıkıntılar bulunur. Her bir arcus vertebra (c1, c2 hariç) bazı istisnalar olmak kaydıyla birbirine processus articularisleri ile bağlantı yapar. Bu bağlantı noktalarına faset eklem denir. Faset eklemlerin yüzeyleri hiyalin kıkırdak dokusu ile kaplı olup sinovyal tip eklem oluşturur.

Pediküllerin superior ve inferiorunda incisura denilen çentikler vardır. Bir omurganın inferiorundaki incisura vertebralis inferioru ile alta ki omurganın incisura vertebralis superioru birleşerek foramen intervertebralis oluşturur. Bu foramandan medulla spinalisten çıkan kökler ve vertebraya bağlı damarsal yapılar geçer.

2.1.1. Servikal Vertebra

Columna vertebralis oluşturulan otuzüç vertebranın ilk yedisini servikal vertebralar oluşturur (Rutz et all. 2017).

1. , 2. ve 7. servikal omurlar kendilerine ait spesifik özellikler taşırken diğer omurgaların farklı ortak özellikleri vardır. Servikal vertebraları diğer vertebralardan ayıran en önemli özellikleri transvers çıkıntılarında birer adet foramen bulunmasıdır. Bu foramenlerden 7. Servikal omur hariç arteria vertebralis ve vena vertebralis geçer (7. omurga forameninden sadece vena vertebralis geçer). Servikal vertebraların diğer vertebralardan farklı olarak korpusları ve pedikülleri küçüktür, laminaları ince olup vertebral foramenleri ise geniştir. Spinöz çıkıntıları kısa ve çatallıdır. Spinal kanal servikal bölgede üçgene benzer şekildedir. Servikal bölgedeki omurlar fleksiyon-ekstansiyon, rotasyon ve lateral bending olmak üzere üç düzlemde hareket ederler.

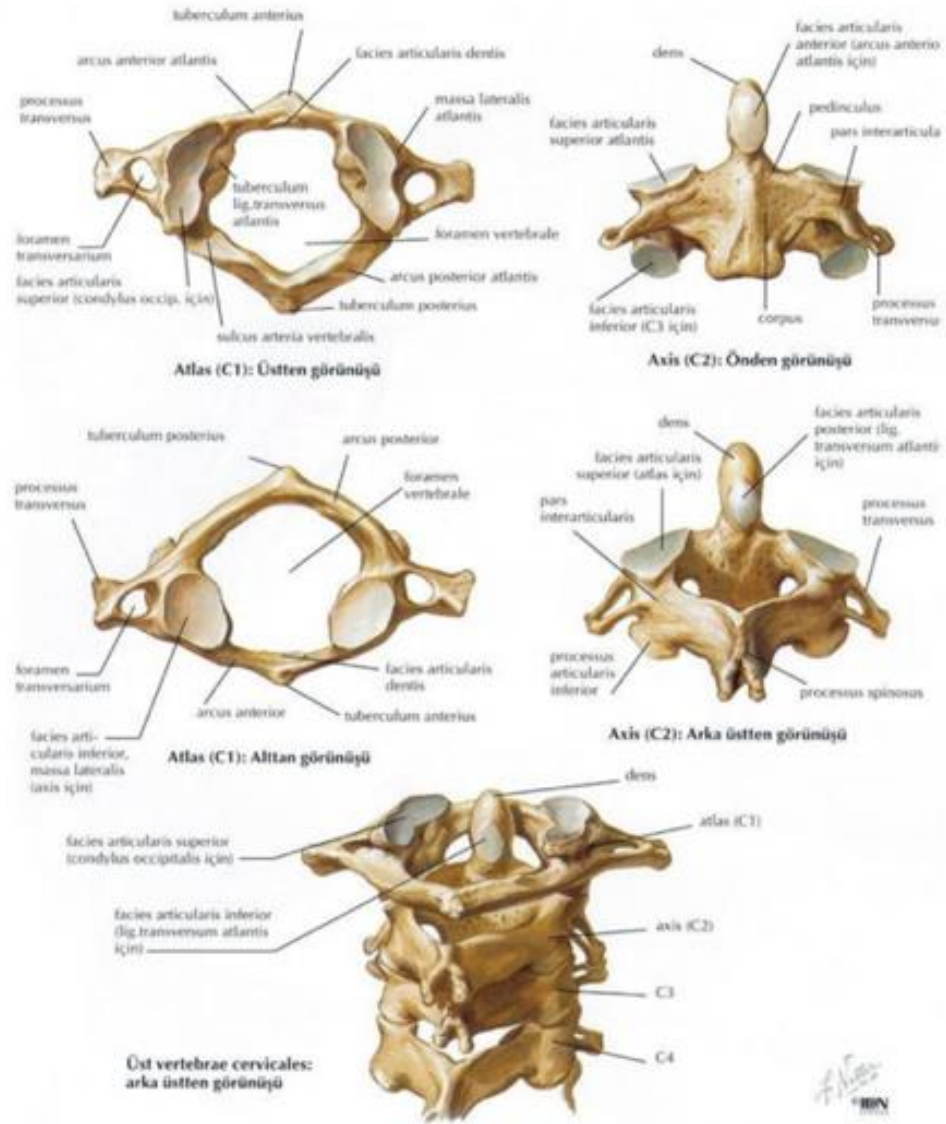
Birinci servikal vertebranın diğer adı Atlas'tır. Diğer vertebralardan farklı olarak atlasın korpusu ve geręek bir spinöz çıkıntısı yoktur. Üzerinde sulcus arteria vertebralis ve nervus suboccipitalisin oluğu bulunur.

İkinci servikal vertebranın diğer adı Axis'dir. Diğer vertebralardan farkı korpusundan yukarı doğru çıkan odontoid çıkıntısının(dens) olmasıdır. Odontoid çıkıntı c1 vertebranın anterior arkusunun içi ile eklem yapar.

Yedinci servikal vertebranın diğer adı vertebra prominensdir (Ertürk ve Kayaoğlu, 2006). Bu vertebranın ayırt edici özelliği spinöz çıkıntılarının diğer servikal vertabralar arasında en uzununu ve çentiksiz olmasıdır (Dere 1992, Moore 1992).

Servikal Vertebra'lar: (vertebrae cervicales): Atlas ve Axis

IKZ: ŞEKİL 9, 147



Şekil 2. Servikal vertebraların özellikleri (Putz and Pabst. 1994)

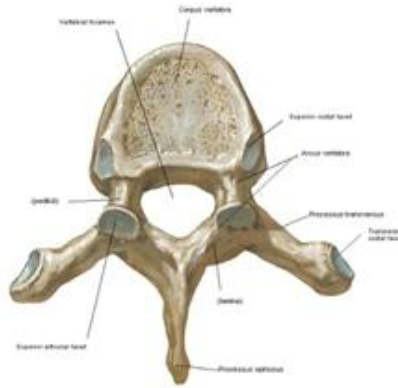
2.1.2. Torakal Vertebra

Torakal bölgede 12 adet omurga kemiği bulunmaktadır. Torakal vertebraları diğer vertebra kemiklerinden ayıran en önemli özelliği korpus ve processes transversuslarında costalar için eklem yüzünün bulunmasıdır.

Torakal vertebralardan ise birinci, dokuzuncu, onuncu, onbirinci ve onikinci torakal vertebralardan atipiktir. Birinci torakal vertebrada costalar için 1,5 eklem yüzü bulunmaktadır. Dokuzuncu torakal vertebrada ise yarım eklem yüzü bulunmaktadır. Onbir ve onikinci vertebralarda ise costalar için eklem yüzü bulunmamaktadır (Dere 1992, Moore 1992).



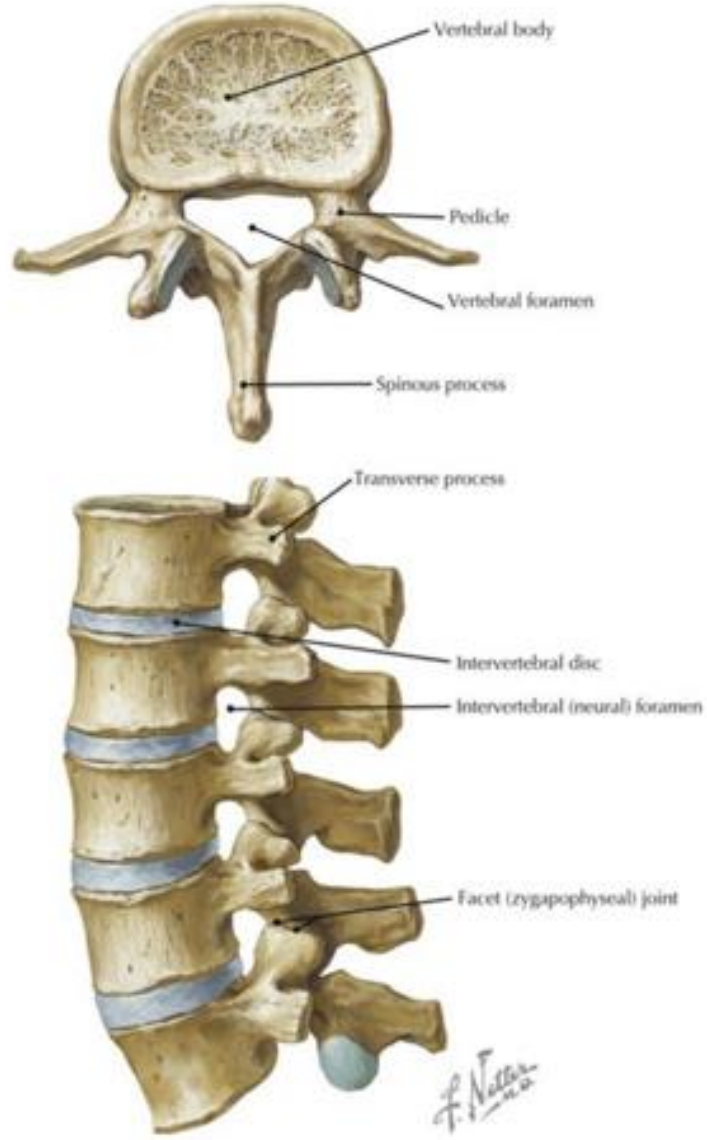
Şekil 3. Torakal vertebranın anatomik görünümü (Putz and Pabst. 1994)



Şekil 4. Torakal vertebranın anatomik görünümü (Putz and Pabst 1994)

2.1.3. Lomber Vertebra

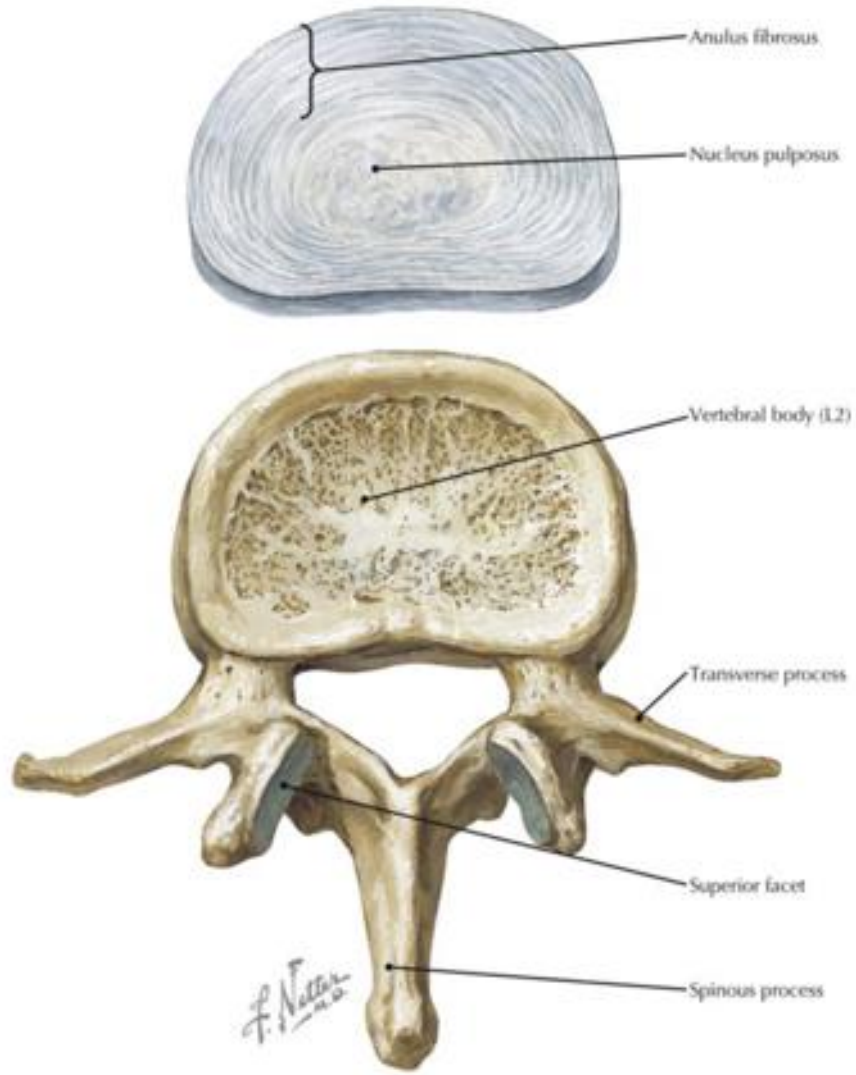
5 adet lomber vertebra vardır. Bu vertebralardan omurganın en büyük gövdeye sahip omurlarıdır. Processus transversusları diğerlerine göre daha uzundur. Diğer vertebralardan ayıran en önemli özellikleri ise processus transversuslarında processus mamillaris ve processus accessoriuslarının bulunmasıdır (Dere 1992, Moore 1992).



Şekil 5. Lomber bölge omurları (Netter 2010)

2.1.4. Diskler

Vertebra kemikleri birbiri üzerine birleştiren korpuslarının arasında diskler bulunur. Tüm insan vertebrası ele alındığında insanda 23 adet disk bulunur. Her bir disk bulunduğu vertebra korpusunun şekline uyumludur. Disk yapısında bakıldığında 2 ana komponentden oluşur:



Şekil 6. Her bir disk bulunduğu vertebra korpusunun şekline uygundur (Netter 2010)

Bunlar:

1. Anulus Fibrosus: Kıkırdak hücreleri içeren ve tip1 ve tip 2 kollajen liflerden oluşmuş fibrokartigelanöz bir dokudur. Annulus fibrosusa daynalıklılığını veren tip1 kollajendir
2. Nucleus Pulposus: Embrional gelişim sürecindeki notokorddan meydana gelmiş jelatinöz bir yapıdır. Yükü eşit olarak etrafa dağıtır
3. Diskler her iki vertebrayı birbirinden ayırır ve şok anında oluşan kuvvetin dağılmasını sağlar. Damarsal yapıları bulunmayan diskler beslenmeleri için gerekli olan oksijen, glikoz gibi maddeleri komşuluk yaptıkları omurların

spongioz kemik yapılarından difüzyon yolu ile alırlar (Dere 1992, Moore 1992).

2.1.5. Kaslar

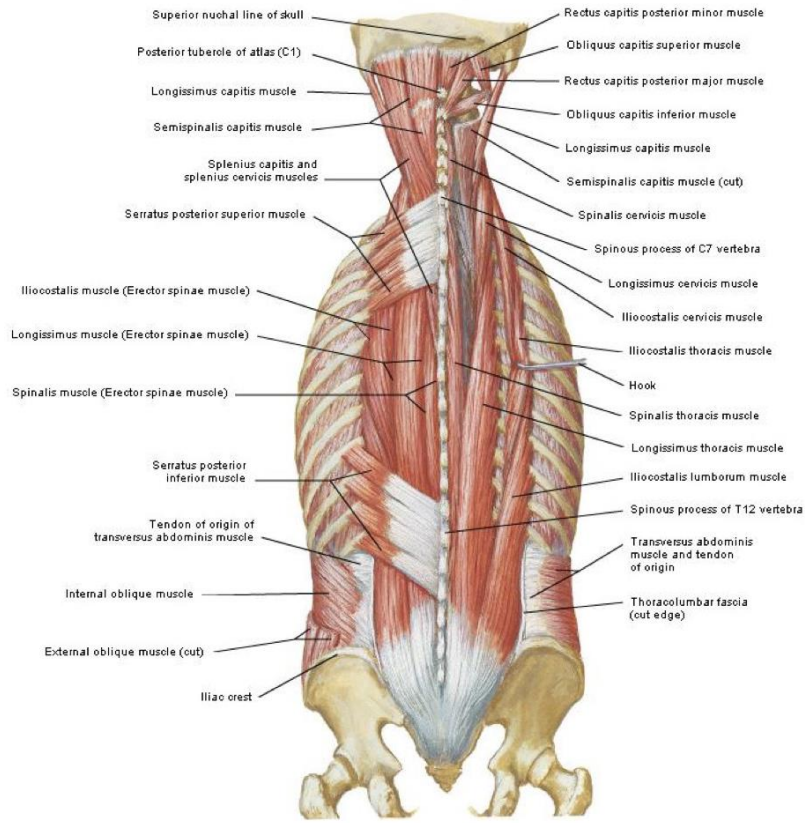
Vertebra etrafında bulunan kaslar sayesinde farklı yönlerde farklı açılarda hareket edebilir. Bu kaslar fonksiyonlarına göre sınıflandırılmıştır. Bu kaslar ayrıca yüzeysel ve derin kas grupları olarak 2 ye ayrılır (Dere 1992, Moore 1992, Şar, 2002).

Omurganın ekstansiyonunu sağlayan kaslar; m. sacrospinalis, latissimus dorsi, m. spinaes, m. levator scapula, m. splenius, mm. interspinalesdir.

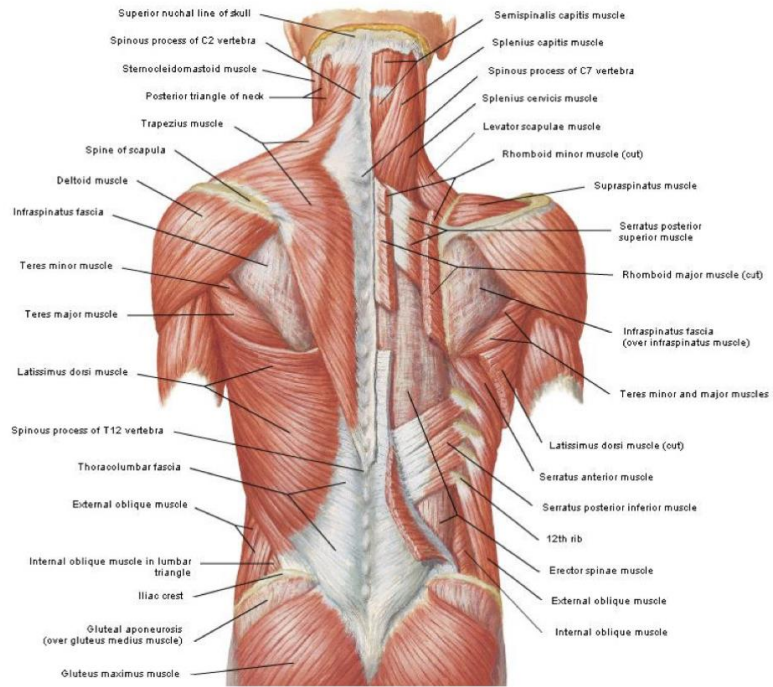
Omurganın fleksiyonunu sağlayan kaslar; m. psoas, m. rectus abdominis, m. obliquus internus ve externus abdominis, m. sternocleidomastoideus, mm. scalenidir.

Omurgaya lateral yönde hareketini sağlayan başlıca kaslar; m. quadratus lumborum, m. levator scapuladır.

Omurgaya rotasyon sağlayan kaslar; m. latissimus dorsi, m. obliquus internus ve externus abdominis, m. longus colli, m. splenius, mm. multifidus, mm. transversospinalisdir.



Şekil 7. Omurganın kas anatomisi (Thompson 2002)



Şekil 8. Trapezius kası (Thompson 2002)

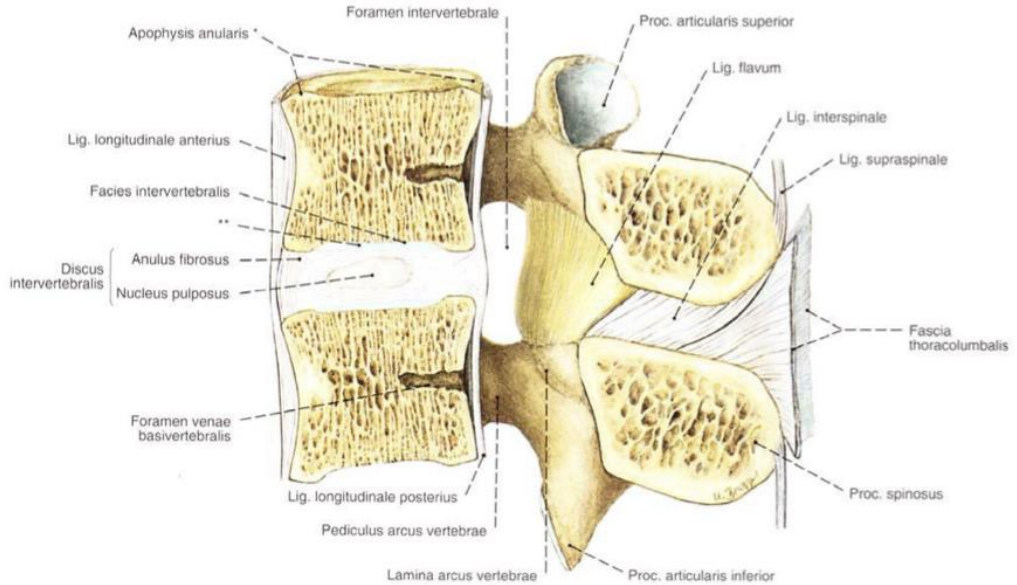
2.1.6. Bağlar

Vertebral kolon boyunca uzanan ya da kısmi bölgelerde bulunan birçok bağ bulunur. Oksipital kemikten başlayıp tüm vertebranın ön yüzlerine yapışan anterior longitudinal ligament, vertebranın korpuslarına disklerinden daha sıkı tutunur.

Oksipital kemiğin posteiorundan başlayıp vertebra korpuslarının arkasından tutunarak koksigysde sonlanır. Posterior longitudinal ligaman, anterior longitudinal ligamandan farklı olarak disklere korpuslardan daha sıkı bağlanır.

Spinöz çıkıntıları birbirine bağlayan ve servikal bölgede genişleyerek ligamentum nuchae adını alan ligaman supraspinöz ligamandır. Komşu processus spinozusları birbirine bağlayan ligaman ise interspinöz ligamandır.

Sarımtırak renkli ligamentum flavum ise laminaları birbirine bağlar (Dere 1992, Moore 1992, Şar 2002).



Şekil 9. Omurganın üzerindeki bağlar (Putz and Pabst 1994)

2.1.7. Medulla Spinalis

Medulla spinalis kranioservikal bölgeden başlayıp L1-L2 seviyesine kadar uzanan bir yapıdır. Medulla spinalis silindirik, beyazımtırak ve önden arkaya hafifçe basık

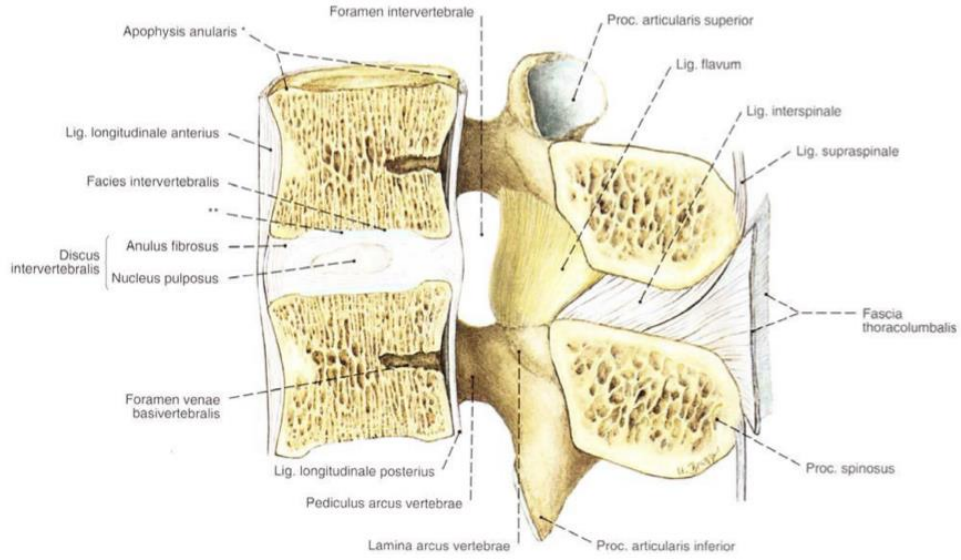
bir kolon şeklindedir. Spinal kanal içerisinde uzanır. Spinal kanal içerisinde medulla spinalisin yanısıra; kökler, kauda equina da bulunur. Her bir spinal siniri ve intervertebral forameni çevreleyen ve serebrospinal sıvı içeren dural kılıf mevcuttur.

L1 -L2 seviyesinde sonlanmasına konus medullaris adı verilir. Bundan sonra medulla spinalis filum terminale adını alır ve dura mater ile birleşerek ikinci koksigeal vertebraya yapışarak sonlanır (Dere 1992, Moore 1992).

2.2. BİYOMEKANİK

Vücut hareketlerinde vertebral kolon, çeşitli yönlerden kuvvetlere maruz kalır. Bunlar; eğilme, gerilme, torsiyon, makaslama ve kompresyondur. Bu kuvvetlere diskler, omurga çevresindeki kaslar ve ligamanlar karşı koyarak stabilitenin devamlılığını sağlar. Omurgaya sagittal plandan bakıldığında servikal bölgede lordoz, torakal bölgede kifoz, lomber bölgede lordoz, sakral bölgede kifoz görülmektedir. Bu anatomik sınırlar içindeki eğrilikler, omurganın aksiyel kompresyon güçlerine karşı direnci artırır (Benzel 1998).

Hareket segmenti vertebranın fonksiyonel birimi olup bu fonksiyonel kısmı anteriorda iki vertebra korpusu, intervertebral disk ve anterior ligamenler, posteriorda ise spinöz çıkıntılar, transvers çıkıntılar, intervertebral eklemler ve posterior ligamenler oluşturur (Benzel 1998).

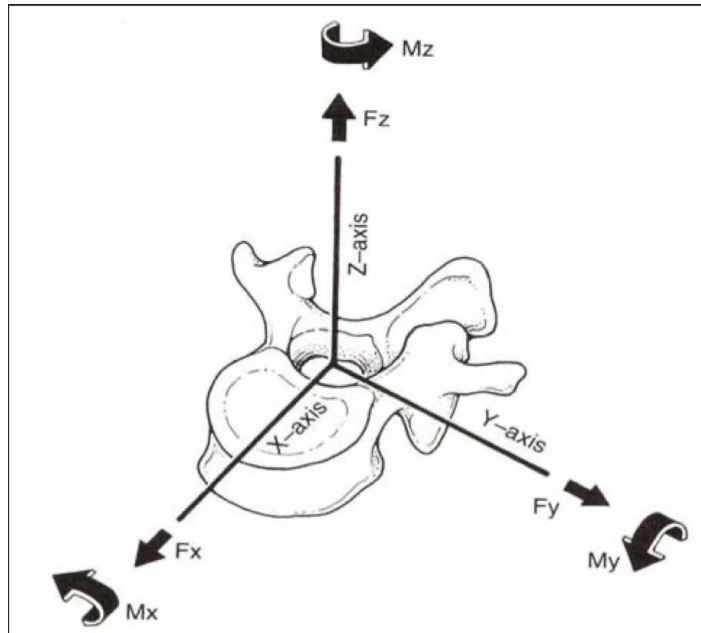


Hareket segmentinin anterior elemanları

Posterior elemanları

Şekil 10. Vertebranın hareket segmentinin parçaları (Thompson 2012)

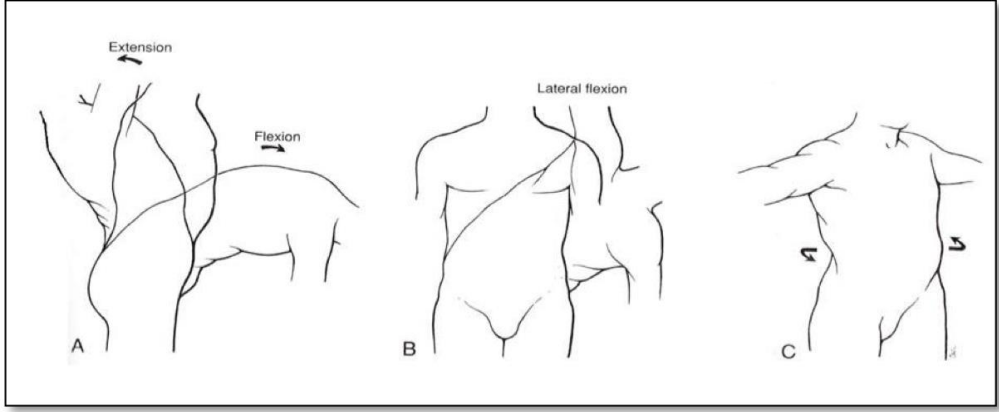
Bir vertebranın hareket eksenini anlayabilmek için kartezyen koordinat sisteminin işleyişini bilmek gerekir. Bu koordinat sisteminde 3 farklı eksen bulunmaktadır (X, Y, Z). Bu eksenler birbiri içinde ikişer adet kayma hareketi ve ikişer rotasyon hareketi yaptığı için toplamda rotasyonun anlık ekseninde 12 potansiyel hareket meydana gelir.



Şekil 11. Kartezyen koordinat sistemi (Benzel 1998)

Hareket segmentinin koordinat merkezi rotasyonun anlık eksenidir. Vertebra bu eksen merkez olarak hareket eder (Benzel 1998).

Omurga çeşitli eksenlerde hareket eder. Bu eksenlerde fleksion, ekstansiyon, lateral fleksiyon ve rotasyon hareketleri yapar.



Şekil 12. Omurganın farklı eksenlerdeki hareketleri (Moore 1992)

Omurganın fleksiyon ve ekstansiyon hareketleri sagittal düzlemde, lateral fleksiyon hareketi koronal düzlemde ölçülür. Bu hareket açıklıkları;

Sagittal düzlem incelendiğinde; servikal bölgede 40 derece fleksiyon, 75 derece ekstansiyon vardır. Lomber bölgede 60 derece fleksiyon, 35 derece ekstansiyon bulunur. Torakolomber bölge incelendiğinde ise 105 derece fleksiyon, 60 derece ekstansiyon mevcuttur.

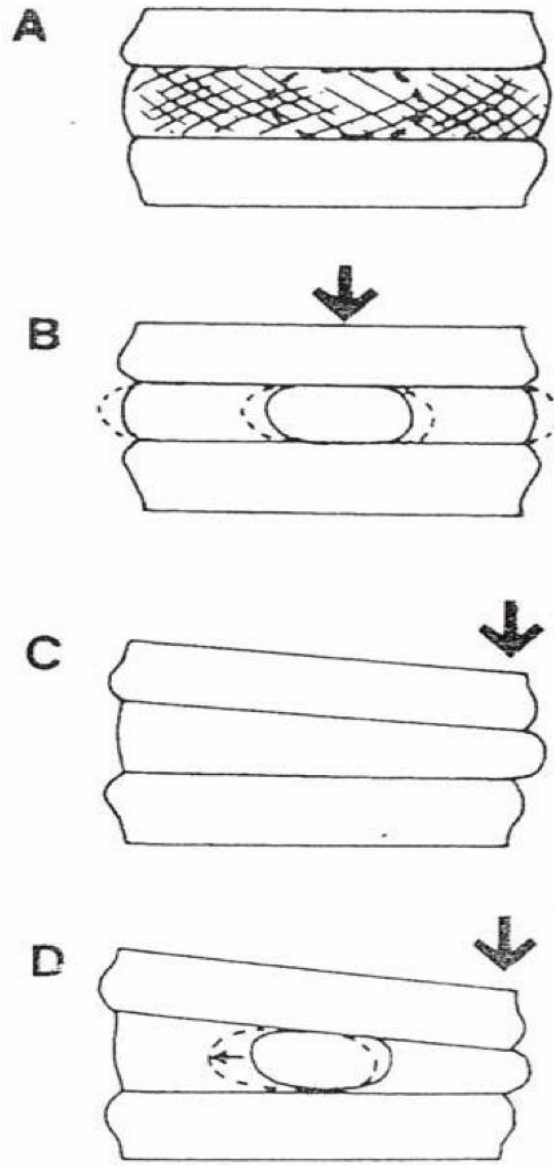
Koronal düzlem incelendiğinde; Servikal bölgede 35-45 derece lateral fleksiyon, torakal bölgede 20 derece lateral fleksiyon, lomber bölgede 20 derece lateral fleksiyon ve tüm vertebra incelendiğinde 75-95 derece lateral fleksiyon olacak şeklindedir.

Rotasyon hareketleri ise; servikal bölgede 45-50 derece, torakal bölgede 35 derece, lomber bölgede yaklaşık 5 derecedir (Benzel, 1998).

Rotasyon hareketleri alt vertebralara inildikçe azalır. Torakal bölgede faset eklemler yatay yerleşimli olup rotasyon hareketleri fazladır. Lomber bölgeye inildiğinde ise faset eklemler dikey yerleşimli oldukları için rotasyon hareketleri daha azdır.

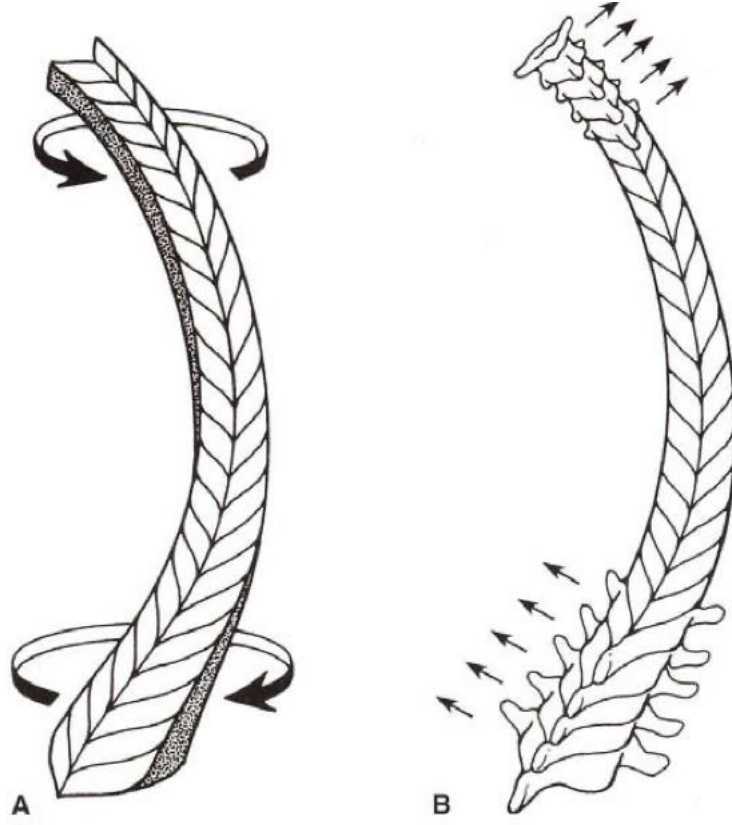
Vertebralar seviyelerine göre incelendiğinde alt bölgelere inildikçe vertebraların kütle ve büyüklüğünün arttığı görülmektedir. Bu durumun sebebi alt bölgelere gidildikçe artan yüklere karşı oluşan adaptasyondur. Aksiyel yüklenmelere özellikle vertebra korpusları direnç koyar. Bir vertebra korpusunda yük geldiği zaman bu yük kortikal ve spongioz kemik üzerinden alt segmente iletilir (Benzel 1998, White and Panjabi 1990). Spongioz kemik trabeküler yapıdadır ve gelen yükün bir miktarını periferik elastik deformasyon ile absorbe eder. Trabeküllerden gelen yük diske uç plak ile iletilir. Uç plağın şok emici özelliği veya elastisitesi yoktur. Bu yüzden aşırı yüklenme sonrası kırılmaya en uygun bölge uç plaktır (Benzel 1998, White and Panjabi 1990).

Hareket segmenti incelendiğinde her iki vertebra korpusunun arasında intervertebral disk bulunur. Her bir disk, vertebra korpusunun şekline uygundur. İntervertebral disk incelendiğinde; daha önce bahsedildiği gibi annulus fibrosus ve nukleus pulposus dan oluşur. Nükleus pulposus viskoelastik yapıdadır ve etrafını annulus fibrosus kaplar. Hareket segmentinin yüklenmeye karşı dayanıklılığı en fazla olan bölümüdür. Bu yapı elastik deformasyon sayesinde yükün bir kısmını absorbe eder. Aynı zamanda annulus fibrosus incelendiğinde, bu yapının tabakalarını oluşturan kollajen lifler birbirini çaprazlayacak şekilde sıralandığı için, torsiyonel kuvvetlere oldukça dayanıklıdır. Vertebraya aksiyel yüklenme olduğu zaman intervertebral diske gelen yük sonucunda nükleus pulposus basınç etkisiyle gelen yükün tersi tarafına hareket eder (Benzel 1998).



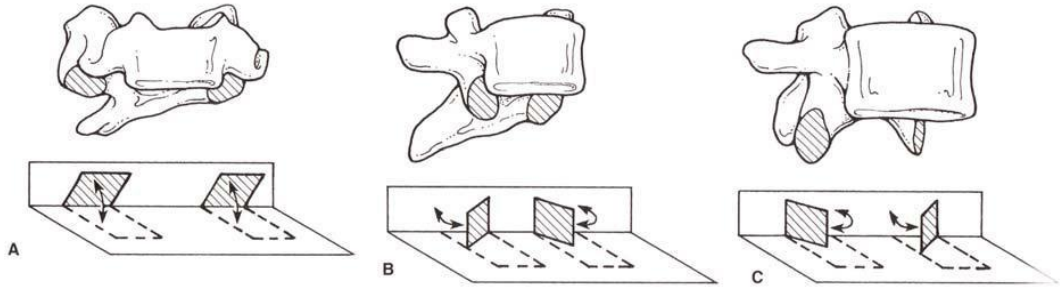
Şekil 13. Nükleus pulposus ve annulus fibrosusun gelen yük ile hareketi (Benzel 1998)

Bir vertebra hareketi incelendiğinde omuz hareketleri ile ilk 7 torakal vertebra, pelvis hareketleri ile T7 altındaki vertebralardan hareket eder. Bu fenomene coupling fenomeni adı verilir (Benzel 1998, White and Panjabi 1990).



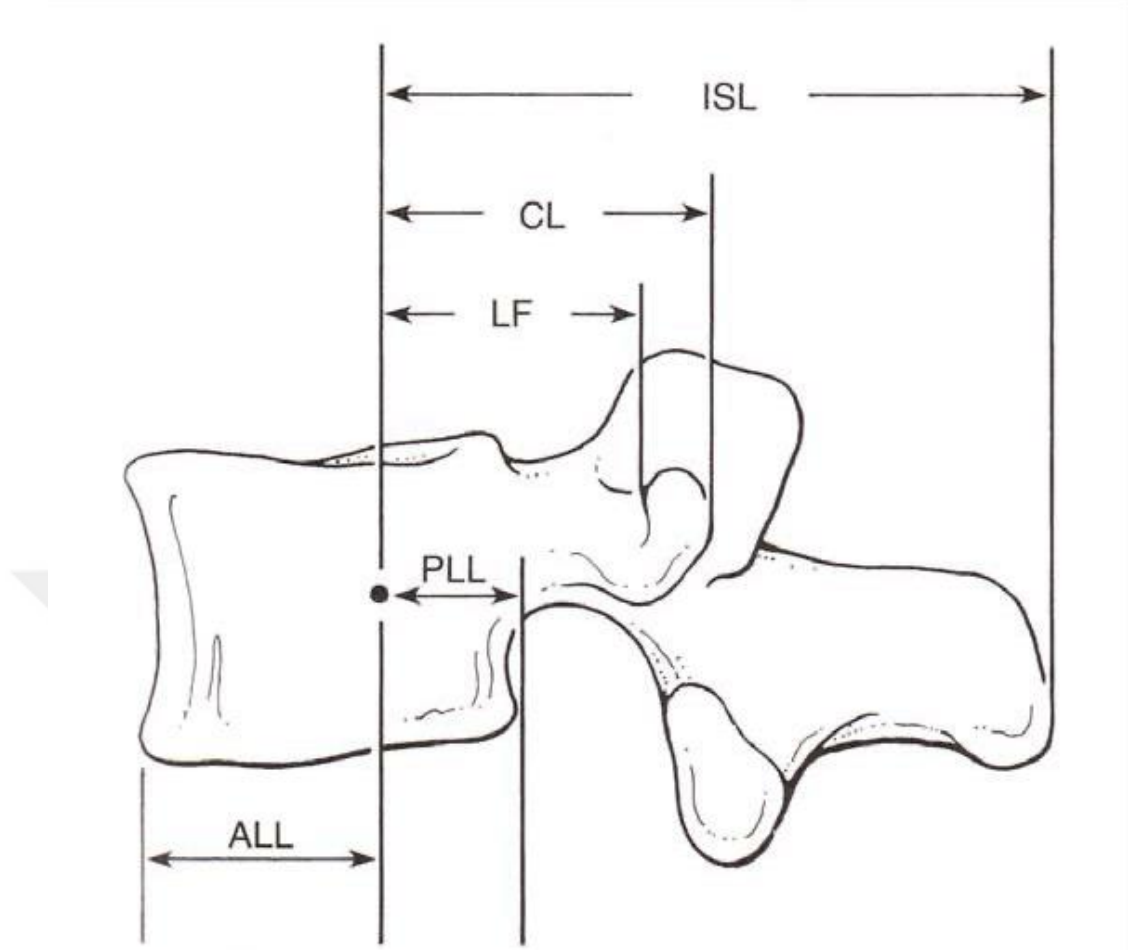
Şekil 14. Coupling fenomeni

Faset eklemlerin rotasyon üzerinde etkisi incelendiğinde ise anlık rotasyon eksenine komşuluğu nedeni ile ön ve arka kolonlar arasında menteşe görevi görür. Bunun yanında yük taşıma ve stabilite açısından önemli görev üstlenir. Omurga hiperekstansiyondayken faset eklemlere binen yük en üst düzeydedir. Makaslama kuvvetlerine karşı koymada da önemli rol oynarlar (Benzel 1998, White and Panjabi 1990) Faset eklem oryantasyonları servikal bölgede koronal planda olduğundan dolayı, tüm hareketlere karşı daha az kısıtlayıcıdır. Lomber bölgede ise fasetler sagittal düzlemde oryante olmuşlardır. Bu nedenle fleksiyona karşı az direnç gösterirken, rotasyona karşı dirençleri fazladır (Benzel 1998)



Şekil 15. Faset eklem oryantasyonları (Benzel 1998)

Ligamentler, gerilmeye karşı direnç göstererek omurganın stabilizasyonunda önemli görevler almaktadır. Posteriodaki ligamentler fleksiyona karşı koyarken, anteriordaki ligamentler ekstansiyona karşı koyarlar. Bir ligamentin etkinliğindeki en önemli iki faktör, o ligamentin iç kuvveti ve etkisini gösterdiği moment kolunun uzunluğudur. Anterior longitudinal ligament, posterior longitudinal ligamente göre iki kat daha güçlüdür. Posterior ligamentler arasında en uzun moment kolu olan interspinöz ligamentler, fleksiyona karşı en fazla gerilim gösteren ligamentlerdir. Ekstansiyon boyunca en fazla direnç anterior longitudinal ligamentler tarafından uygulanır (şekil 24) (Kapandji 2007, Stokes 1994). Posterior Longitudinal Ligament, anterior ligamentin aksine daha zayıftır ve vertebra korpusuna değil de intervertebral diske tutunmaktadır (Kapandji 2007). Kaslar omurganın aktif stabilize edici elemanlarıdır. Lomber dorsal kaslar ekstansiyonu sağlamaktadır. Sakrumdan dayanak alarak, lomber ve torakal bölgede görevlerini yaparlar. Kas tonusları ile lordoza katkıda bulunurlar. Karın duvarının önündeki rektus abdominis ve psoas kasları, arkadaki erektör spinaların antagonisti olarak çalışırlar. Yan karın kasları omurgaya rotasyon yaptırırlar (Benzel 1998, White and Panjabi 1990).



Şekil 16. Rotasyonun anlık eksenine göre, ligamentlerin moment kolu uzunlukları (Benzel 1998)

- ISL: İnterspinöz Ligament
- CL: Kapsüler Ligament
- LF: Ligamentum Flavum
- ALL: Anterior Longitudinal Ligament PLL: Posterior Longitudinal Ligament

2.3. NORMAL OMURGANIN DÜZLEM ANALİZİ

2.3.1. Normal Omurganın Frontal Düzlem Anatomisi

Skolyoz; omuriliğe frontal düzlemde bakıldığında omurganın sağa /sola doğru eğilme ve omurganın rotasyonu ile oluşan 3 boyutlu bir deformitedir. Fizyolojik sınırlarda bir omurga incelendiğinde frontal düzlemde sağa ya da sola bakan eğrilik görülmemektedir. Bazı insanlarda ise aortun asendan bölümünün pulsasyonuna bağlı

torakal bölgede yaklaşık 8-10 derecelik sağa bakan skolyoz görülebilir ancak genel olarak 10 dereceye kadar olan eğrilikler skolyoz olarak kabul edilmez

Hasta fiziki olarak incelendiğinde normal bir insanda ayakta dururken her iki klavikulanın yere paralel ve pelviste iliak kanatların birbirine eşit yükseklikte olması gerekmektedir. Bu muayene yapıldıktan sonra her bir spinöz proçes tek tek muayene edilerek aynı hatta olup olmadığı kontrol edilmelidir. Muayene sonrasında hasta ortoröntgenogram çekilmeye yollanır. Bir diğer muayene yöntemi de 7. servikal vertebranın spinöz çıkıntısından çizilen hattın sakrumun ortasından geçmesidir.

Omurganın incelenmesi ayakta tüm vertebranın çekilen ortoröngenogramı ile olur. Frontal düzlemde incelemede densin orta noktasından yere dik çizilen çizginin tüm vertebranın orta noktasından geçerek 1. sakral vertebranın merkezinde sonlanması gerekir. 1. 'ci sakral vertebranın merkezinden sağ yada sol 1 cm'den fazla sapmalar omurganın frontal düzlemde dengesinin bozulduğunu gösterir (Carman et al. 1990, Dickson and Bradford 1984).

2.3.2. Normal Omurganın Sagittal Düzlem Analizi

Fetal dönemde açıklığı öne doğru bakan tek bir konkaviteye sahip olan omurga, ilerleyen dönemlerde lumbosakral açılanmaya döner. Yenidoğan döneminde fiks olan torakal ve sakrokoksigeal eğrilikler oluşur. Yenidoğan başını kaldırmaya başladığında servikal bölge omurgası arkaya doğru konkavlaşır. Çocuk ayağa kalkmaya başladığında ise bu kez omurganın lomber bölümü arkaya doğru konkavlaşır. Çocuğun gelişimi devam ettikçe vertebra gövdesinde ve intervertebral disklerdeki gelişme ile lordoz daha da belirginleşir.

Yetişkin omurgası anatomik olarak incelendiğinde ise servikal bölge arkaya doğru fizyolojik sınırlarda konkav(lordoz), torakal bölge arkaya doğru konveks(kifoz), lomber bölge arkaya doğru konkav(lordoz) ve sakral bölge arkaya doğru konvekstir(konkav). Bu eğrilikler sayesinde omurga gelen yüklenmelere karşı dayanıklılığını artırır. Geçiş bölgeleri olan torakolomber ve servikotorasik bölgeler ise yere paraleldir.

Bir omurganın sagittal ya da frontal düzlem ölçümünde daha önce belirtildiği gibi ortoröntgenogram kullanılır. Bu grafi çekimi dikkat ve tecrübe gerektiren bir çekim metodudur. Ortoröntgenografiler ön- arka ve lateral yönde çekilir. Çekim esnasında kaset ile röntgen tüpü arasında ortalama 150 cm mesafe olmalıdır. Çekim esnasında hastanın yüzü tüpe dönük olmalıdır. Çekim sırasında hastanın pozisyonu çok önemlidir. Hastanın vücudu kasete dik, başı nötral pozisyonda, dirsekler tam fleksiyonda, el bilekleri volar fleksiyonda ve el proximal interfalangeal eklemler supraklavikular bölgede olacak şekilde durması çekim için en ideal olanıdır (Hammerberg 1997, Stagnara et al. 1982).



Resim 1. Normal insan omurgasının lateral röntgen görünümü

Çekilen grafinin değerlendirilmesinde ise lateral ortografilerde ikinci servikal vertebranın dens çıkıntısından inilen çizginin servikal vertebranın arkasından, yedinci servikal vertebranın gövdesinin ortasından, torakal vertebranın önünden, lomber vertebraların arkasından geçerek sakral birinci vertebranın arka üst köşesinden geçmesi beklenir ve kalça eklemlerinin arkasından geçmelidir. Bu değer +/- 2cm kadar fark gösterebilir. Eğer dens grafide görülemezse 7. servikal vertebranın gövdesinin orta noktası başlangıç noktası olarak kullanılabilir (Farcy et al. 1997, Shimode 2002).

Çekilen grafinin değerlendirilmesi ve omurganın farklı bölgelerdeki açılanmaları ölçülürken Cobb metodu kullanılır. Bu metotta eğriliğe katılan en üst vertebranın üst yüzüne çizilen bir çizgi ile eğriliğe katılan en alt vertebranın alt yüzüne çizilen paralel çizgi arasındaki açı kullanılır. Bu sayede ileride daha detaylı olarak anlatılacağı gibi torakal bölge T1-T12, torakolomber bölge T10-L2, lomber bölge L1-L5 arası ölçüm yapılabilir. Torakal bölgede 20-40 derece arası kifoz, lomber bölgede 30-60 derece arası lordoz normal sınırlarda kabul edilir. Torakolomber bölgede ise vertebralar yere paraleldir ve herhangi bir açılanma göstermez. Ölçümler esnasında kişiden kişiye ölçüm sapmaları olabileceği unutulmamalıdır. Hesaplama kalitesi hastanın duruşu, tüpün pozisyonu, kasetin uzaklığı gibi birçok etmene bağlı olabileceği gibi +/- 2 derecelik sapmaların olabileceği akıldan çıkarılmamalıdır.

2.3.3. Terminoloji

Daha önce anlatıldığı gibi omurga deformiteleri üç boyutlu olarak değerlendirilmesi gereken deformitelerdir. Bu sayede oluşan deformiteyi anlayabilmek daha kolay hale gelebilmektedir. Bu değerlendirmeyi yapabilmek için bazı terminolojik ifadeleri bilmek önemlidir.

Omurgayı üç boyutlu koordinat sisteminin incelediğimizde her 3 ekseninde hem rotasyon hemde translasyon yapabildiği için 3 boyutlu koordinat sisteminde toplamda 6 yönde hareket edebileceği ortaya çıkmaktadır. Bu koordinat sisteminin düzlemleri incelendiğinde;

Transvers(horizontal) Düzlem: Aksiyel düzlemde ortaya çıkan rotasyonel deformiteleri incelerken kullanılır. Normal bir omurga transvers düzlemde incelendiğinde spinöz çıkıntılarının tam ortada ve arkada bulunması, konveks olan vertebra korpusunun ise tam ortada ve anteriorda olması gerekir. Eğer bir vertebra bu konumda değilse transvers düzlemde rotasyonel deformite olduğu düşünülmelidir (Kapandji 2007, Stokes 1994)

Koronal(frontal) Düzlem: Omurganın Postero-Anterior düzlemde incelenmesinde kullanılır. Bu planda oluşan deformiteler skolyoz olarak adlandırılır.

Sagittal Düzlem: Omurga bu planda incelendiğinde omurgada 4 adet fizyolojik eğrilik bulunduğu görülür. Servikal bölgede lordoz, torakal bölgede kifoz, lomber bölgede lordoz, sakral bölgede fizyolojik kifoz olduğu görülür. Geçiş bölgelerindeki vertebralar ise yere paraleldir. Bu düzlemdeki deformiteler ve eğrilikler global ve segmental olarak incelenir.

2.3.4. Sagittal Denge Kavramı Ve Önemi

Sağlıklı bir insanın erekt pozisyonda durabilmesi için omurgasının mutlaka sagittal düzlemde dengede bulunması gerekir. Eğer sagittal düzlemde dengede değilse dengede kalabilmek için daha fazla enerji sarfetmesi gerekir.

Sagittal dengenin değerlendirilmesinde daha önce bahsedildiği gibi posteroantetior ortoröntgenogram kullanılır. Bu grafinin doğru pozisyonda çekilmesi elzemdir.

Çekilen grafi değerlendirildiğinde daha önce bahsedildiği gibi lateral ortografilerde ikinci servikal vertebranın dens çıkıntısından inilen çizginin servikal vertebranın arkasından, yedinci servikal vertebranın gövdesinin ortasından, torakal vertebranın önünden, lomber vertebraların arkasından geçerek sakral birinci vertebranın arka üst köşesinden geçmesi beklenir ve kalça eklemlerinin arkasından geçmelidir. Bu değer +/- 2cm kadar fark gösterebilir. Eğer dens grafide görülemezse 7. 'ci servikal vertebranın gövdesinin orta noktası başlangıç noktası olarak kullanılabilir.

Yapılan bir retrospektif çalışmada, yaş ortalaması 13 olan 88 asemptomatik adolesanda T10-L2 arası ölçümlerde bileşkenin açısını en düşük -6, en yüksek 8 ve ortalama açı değerini ise +1 derece olduğunu bildirmiştir (Lenke et al. 1988).

Sagittal bölgede omurganın açıları daha önce belirtildiği gibi Cobb yöntemi ile değerlendirilir. Torakal bölge T1-T12 arasında, lomber bölge L1-L5 arasında torakolomber bölge T10-L2 arasında ölçülür. Torakolomber bileşkede omurgalar yere paraleldir. Sagittal düzlemde torakal bölgede 20-40 derece arası kifoz, lomber bölgede 30-60 derece arasında lordoz normaldir.

İnsanın erekt pozisyonda durabilmesi için bu eğrilikler biribiri ile yakın ilişki içinde bulunurlar. İnsanın dik yürüyebilmesi için lomber lordoz ve torakal kifoz arasında pozitif korelasyon olması gerekir. Torakal bölgede kifozun oluşması ilk önce torakolomber bölgede lordozun ortaya çıkmasına neden olur. Daha sonra ise lomber bölgede lordoz oluşmaya başlar. Buradaki amaç omurganın sagittal denge çizgisinin normal yeri olan sakrumun arka üst köşesini hizalamak ve postürün dik durmasını sağlamaktır. Örneğin lomber bölgede lordoz azalırsa sagittal denge çizgisi sakrumun arka üst köşesinin önünde kalır. Omurga bu durumu kompanse edebilmek için torakal bölgedeki kifoz açısı azalır. Bununla birlikte de sakropelvis bileşkede kompensasyon mekanizmaları gelişir.

Sagittal dengeyi 4 ana kavis oluşturur. Bu kavisleri segmental olarak değerlendirmek gerekirse:

2.3.5. Servikal Lordozun Değerlendirilmesi

Servikal bölgede lordozun oluşumu intrauterin dönemin geç evresinde başlamakta, yenidoğanın başını ekstansiyonda tutması ile ilerlemekte, başın ağırlığının artması ve kişinin dik oturması ile son şeklini almaktadır (Hanson et al. Kim et al. 2002, Lee et al. 1999).

Servikal vertebra grafilerinin ölçümünde çekilen servikal lateral grafisinin doğru çekilmesi ölçüm açısından çok önemlidir. Hastanın tam karşıya bakması, yüzünün

nötralde olması, gövdenin film kasedine dik olması gerekir. Bu grafi doğru çekilemezse bazen C1 vertebra bulunamayabilir.

Servikal bölgede C1-C7 arası vertebralar bulunmaktadır. Servikal bölgenin Cobb açısı ölçümünde C1 vertebranın en üst yüzeyine çizilen paralel çizgi ile C7 vertebranın en alt yüzeyine paralel çizilen çizgi arasındaki açı ölçülür. (Harrison et al. 2000). Eğer C1 vertebra bulunamıyorsa üst çizgi olarak C2 vertebra dikkate alınabilir. Bu ölçümler sonunda C1 -C7 vertebralar arasındaki fizyolojik açı 30-50 derece olarak bulunmuştur (Hardecker et al. 1997, Harrison et al. 1996)

2.3.6. Torakal Kifozun Değerlendirilmesi

Torakal bölgede olan kifotik eğrilik, omurganın fetal dönemde oluşan eğriliğin reziduel formu olduğu düşünülmektedir (Kim KT et al. 2002; Kim NH et al. 1999)

Torakal bölgedeki kifozun değerlendirilmesinde çekilen ortoröntgenogramın düzgün pozisyonda çekilmesi önem arz eder. Hastanın gövdesinin kasete 90 derecede duruyor olması, tüpün dik açıyla gelmesi ve hastanın tam lateral pozisyonda olması önemlidir. Hasta tam lateral pozisyonda olmamasına bağlı +/-2 derece kadar yanılma payı olduğu akıldan çıkarılmamalıdır. Çekilen grafide skapula ve humerusun üst torakal seviyeye süperpoze olup olmadığına dikkat edilmelidir (Amoono Kuofi 1992)

Çekilen ortoröntgenogramda torakal kifoz ölçümünde Cobb açısı kullanılmaktadır. Bu metotla ölçüm T1-T12 vertebralar arasından yapılır. 1. 'ci torakal vertebranın korpusunun üst yüzeyinden geçen çizgi ile 12. 'ci torakal vertebranın korpusunun alt yüzeyinden geçen çizgiye dik olarak çizilen iki çizgi arasında kalan açı ölçülür. Skapula ve humerusun üst torakal vertebralarda süperpozisyon oluşturduğu durumlarda ise 2. 3. 4. cü ve 5. Ci vertebralar ölçüm için kullanılabilir (Bridwell and Dewald 2011)

Normal bir omurgada torakal kifoz açısı 20 ila 40 derece arasındadır ve yaş ilerledikçe bu açı 50 dereceye kadar artabilir (Bridwell and Dewald 2011)

2.3.7. Lomber Lordozun Değerlendirilmesi

Lomber bölgenin lordoz açısı ölçülürken L1 vertebranın korpusunun üst yüzeyine çizilen paralel çizgi ile L5 vertebranın korpusunun alt yüzüne ya da S1 vertebranın üst yüzüne çizilen paralel çizgi arasındaki açı hesaplanır. Normal bir vertebrada bu açı 30 ila 60 derece arasındadır (Voutsinas 1987)

Lomber bölge değerlendirilmesinde ölçümün tam yapılabilmesi için çekilen grafide hastanın tam lateral olması elzemdir ayrıca çekilen grafide T12 vertebra ve S1 vertebranın görülmesi önemlidir.

2.3.8. Lumbosakral Bileşkenin Değerlendirilmesi

Lumbosakral bölge mobil olan lomber bölgeden rijit olan sakral bölgeye geçiş zonedir. Omurgadan aksiyel olarak binen kuvvetler bu bölgeden geçerek kalça ve alt ekstremitelere yük aktarır. Bu bölgenin değerlendirilmesinde lumbosakral açı ve L5 insidens açısı hesaplanır

2.3.8.1. Lumbosakral açı

L5 vertebra korpusunun alt yüzüne çizilen paralel çizgi ile S1 vertebranın üst yüzüne çizilen paralel çizgiler arasında kalan açı olarak tanımlanmaktadır. Bu açı 9,7-17,1 arasındadır. Bu açı kadınlarda yaşla beraber artarken, erkeklerde yaşla beraber düşer (Amonoo-Kuofi 1992, Antoniadis et al. 2000).

2.3.8.2. L5 İnsidens açısı

L5 vertebra gövdesinin üst yüzeyinin orta noktasına çizilen dik çizgi ile yine aynı noktadan femur başlarına çizilen çizgi ile aynı noktadan femur başları orta noktası arasına çizilen çizgi arasında kalan açıdır (Amonoo-Kuofi 1992).

2.3.9. Sakrum ve Pelvisin Değerlendirilmesi

Omurgadan gelen kuvvetlerin alt ekstremitelere iletilmesinde pelvis önemli bir rol oynar. Sakrum pelvisin bir elemanı olmasına rağmen omurgadan gelen yükün aktarılmasında en önemli yapılardan biridir. Ayrıca lomber bölge ile pelvis arasında bulunduğundan bu bölgenin patolojileri lomber vertebrada da patoloji oluşturur.

Lomber bölgeyle olan uyumsuzluğunda spondilolistezis gibi patolojiler ortaya çıkar. Pelvis ve sakrumun sagittal olarak incelemesinde sakral slop açısı, pelvik tilt açısı, pelvik insidens açısı, sakral inklinasyon açısı ve pelvik lordoz açısı değerlendirilir.

Sakral slop (SS)açısı: Sakrumun üst yüzeyine çizilen paralel çizgi ile sakrumun arka üst köşesinden çizilen horizontal çizgi arasında kalan açıdır. Bu açı sağlıklı insanlarda 39. 4 ila 50. 7 derece arasında değişir (Voutsinas 1987).

Pelvik tilt(PT)açısı: Sakrumun üst yüzeyinin orta noktasını birleştiren çizgi ile yine femur başlarının orta noktasından geçen çizgi arasında kalan açıdır. Bu açı 7. 1 ila 19. 3 derece arasında değişir (Harrison 2000).

Pelvik İnsidens (PI) Açısı: Bu açı spinopelvik dengenin sabit değeridir. Ölçüm yöntemi ise sakrumun üst yüzeyinin orta noktasından, bu yüzeye çizilen dik çizgi ile femur başını sakrumun üst yüzeyine birleştiren çizgi arasında kalan açıdır (Duval-Beaupere et al. 1992). Bu açının diğer bir ölçüm yöntemi ise pelvik tilt açısının sakral eğim açısı ile toplamıdır. Bu açı 40 ila 65 derece arasında değişir

Pelvik lordoz (PR-S1)açısı: Pelvik lordoz açısı değerlendirilirken pelvik-radius tekniği kullanılır. Bu teknik için öncelikle pelvik Radius çizgisi çizilmelidir. Bu çizgi, sakrumun rotasyon merkezini gösterir. Pelvik lordoz açısı hesaplanırken, her iki femur başının orta noktasını birleştiren çizginin orta noktası ile S1 in arka üst köşe noktasına çizilen dik çizginin uzunluğu (PR) uzunluğunu verir. Bu uzunluk aynı zamanda pelvisin uzunluğunu verir.

S1'in üst noktasında çizilen çizgi ile PR çizgisi arasında kalan açı pelvik lordoz açısına verir. Bu açı 30,9 ila 32,3 derece arasında değişir.

Plumb line:C7 korpusunun orta noktasından yere çizilen dik S1 vertebranın üst endplatesinden geçer. Bu değerlendirme C7 vertebra korpusunun orta noktasından yere çizilen dik çizginin sakrumun promontoriumuna olan uzaklığıdır. Bu değer +/- 2 cm olması gerekir. Bazı yayınlar ise +/- 2. 5 cm olarak kabul eder.

Kalça Eklemlerinin değerlendirilmesi: Omurganın sagittal düzlem analizinde özellikle lumbopelvik bileşkenin değerlendirilmesinde kalça bileşke eksenini kullanılmaktadır. Çekilecek grafilere mutlaka her iki femur başı görülmelidir. Ancak ideal olan femur başlarının üst üste gelmesidir. Bunun için tam yan grafi çekilmelidir. Kalça bileşke ekseninin bulunmasında her iki femur başı orta noktaları bulunur. Daha sonra bu noktalar arası çizgi çizilir ve çizginin orta noktası bulunur. Bu orta nokta lumbopelvik bileşke analizinde kullanılır. Sağlıklı popülasyonda omurganın sagittal denge çizgisi kalça bileşke ekseninin arkasından geçmektedir.

2.4. KİFOZ DEFORMİTESİNİN İNCELENMESİ

Yenidoğan omurgası incelendiğinde omurganın düz ve düze yakın olduğu görülür, oksipital kemikten sakruma uzanan açıklığı öne bakan bir eğrilik mevcuttur. Çocuk başının tutmaya başladığında fizyolojik olarak servikal lordoz oluşmaya başlar. Çocuk ayağa kalkmaya ve dengesini sağlamaya başladığında ise; pelvik tilt, torakal kifoz ve lomber lordoz gelişir. Kifoz deformitesi incelendiğinde ise ;omurganın arka tarafta konveksliğinin artması sonucu omurga bölgesinin öne doğru eğilmesi olarak tanımlanabilir (Gökçe 2008).

Normal bir omurgada fizyolojik sınırlarda kifoz bulunmaktadır. Sagittal düzlemde lomber bölgede ve torakal bölgede fizyolojik sınırlarda kifoz mevcuttur. Fizyolojik torakal kifoz sağlıklı insanda erekt pozisyonda dururken en az enerji harcamasını sağlar. Kifoz derecesi arttığı ve patolojik sınırı aştığında ise enerji harcama miktarında artış görülür.

Normal sınırlardaki kifoz sakral ve torakal bölgelerde bulunur. Sakral bölgedeki kifoz fikse, torakal bölgede bulunan kifoz ise mobil olduğu için ortaya çıkan patolojiler genellikle torakal bölgeyi etkilemektedir. Bu sebepten dolayı öncelikle kifozun normal sınırlarda olup olmadığını değerlendirmek gerekir.

Değerlendirmeye öncelikle detaylı öykü ve fizik muayene ile başlanır. Hastaların en büyük şikayetleri ağrı ve kozmetik sorunlardır. Altta yatabilecek travma, radyasyon,

malignite gibi hastalıklar detaylı olarak değerlendirilmelidir. Hastanın postürü detaylı olarak incelenmelidir. Nörolojik etkilerin olup olmadığı araştırılmalıdır.

Fizik muayene sonrası hastaların ortoröntgenogramları değerlendirilir. Radyolojik değerlendirme yapılırken ölçümde kullanılan seviyeler, ölçüm yapan kişinin tecrübesi, hastanın ve röntgen tüpünün pozisyonu gibi faktörlere bağlı olarak çeşitli ölçüm hataları ortaya çıkabilmektedir.

Fizyolojik olarak torakal kifoz açısı oldukça geniş değerler arasındadır. Ortalama kifoz açısı 20 ila 40 derece arasındadır ve yaşla birlikte arttığı kabul edilmektedir. Yaşın ilerlemesiyle 50 dereceye kadar normal kabul edilmektedir.

Ölçüm yapılırken 1. Ci torakal vertebranın üstünden çizilen paralel çizgi ile torakal 12. 'ci vertebranın altından çizilen paralel çizgiler arasındaki açı ölçülür. Kifoz deformitesi denebilmesi için bu açının fizyolojik değerlerin üzerine çıkması gerekir.

Sağlıklı bir insanda kifoz deformitesi ortaya çıkmaya başladıktan sonra çeşitli kompensasyon mekanizmalara devreye girmeye başlar, çünkü bu deformiteler insanda erekt pozisyonu bozar. Vücut bu deformiteyi kompanse etmek amacı ile deformite bölgesinin üst ve alt bölgelerinde ayrıca bağlantılı olduğu kalça eklemi ve pelviste kompensasyon amacı ile çeşitli değişiklikler ve hatta deformiterler ortaya çıkarır.

2.5. KİFOZ ETYOLOJİSİ

Kifoz etyolojisi incelendiğinde karşımıza birçok deformite çeşidi çıkmaktadır

2.5.1. Konjenital Kifoz

Konjenital kifoz ilk olarak 1916 yılında tanımlanan, omurga kolonunun gelişimi esnasında ön kolon ve arka kolon arasında senkronizasyon bozulması sonucu meydana gelen bir patolojidir. Bu deformite intrauterin dönemde başlar. Omurgayı oluşturan omurlar embriyolojik dönemde gestasyonun 5. Ve 8. Haftaları arasında,

somitlerin segmentasyonu sonucu oluşmaktadır. Bu dönem diğer organ farklılaşması için önemli bir dönem olduğu için omurga sorunlarının yanında genitoüriner, kardiovasküler ve sinir sisteminde de sorunlar oluşmaktadır. Beals ve arkadaşları yaptıkları çalışmada en sık multipl hemivertebralara %44, anterior segmentasyon kusuru %32 ve tek hemivertebralara %18 olarak bildirmiştir (Beals 1993). Konjenital omurga deformiteleri formasyon ve segmentasyon sorunları ve mikst tip olarak üç ana grupta incelenmektedir.

Formasyon kusuru: Bu deformitede omuru oluşturan yapıların gelişiminde meydana gelen eksiklik mevcuttur. Bu deformite tam veya kısmi olabilir. Kısmi kusurda omurun bir tarafının gelişiminde sorun olmazken, diğer tarafın gelişiminde gerilik görülmektedir. Kama omur adı verilen bu yapılar yavaş seyir gösterir. Eğer bu deformiteler tedavi edilmezse deformitede ilerleme meydana gelmekte ve nörolojik problemler oluşmaktadır. Bu deformite genelde torakal yerleşimlidir.

Segmentasyon kusuru: Bu deformite omurun gelişimi esnasında omurların birbirinden ayrılamaması olarak tanımlanır. Omurlar birbirlerine tek taraflı veya iki taraflı olarak barlar veya köprüler ile bağlıdır. En sık görülen segmentasyon kusuru tek taraflı olup iki veya daha fazla omuru içeren tiptir. Segmentasyon kusurları anterior veya anterolateral bölgede meydana gelebilir

Mikst tip: Hem segmentasyon hem de formasyon kusuru olan hastalar bu grupta ele alınır. En sık tek taraflı bar ve karşı taraf hemivertebralara şeklinde görülür. Tüm konjenital omurga eğriliklerinde en hızlı ilerleyen tiptir.

2.5.2. Adolesan Kifoz

Adolesan dönemde görülen kifozun nedenleri arasında; nöromusküler hastalıklar, enflamatuar hastalıklar, enfeksiyöz hastalıklar, nörofibromatozis, meningomyosel, travma, spinal tümörler, iyatrojenik nedenler sayılabilir de en sık neden olarak scheuermann kifozu en sık neden olarak karşımıza çıkar.

İlk olarak 1920 yılında scheuermann tarafından osteochondritis deformans juvenilis dorsi olarak adlandırılan bu hastalık, duruş bozukluğu olan postural kamburluktan

farklı olarak, fikse ve ağırlı bir kifoz çeşididir (Shah et al. 2006). Scheuermann kifozunun etyolojisi şu an için tam olarak ortaya konulamamıştır. Bu hastalık çalışmalara göre genel popülasyonda %1 ila %8 arasında görülmektedir (Lowe 1994).

Scheuermann kifozu adolesan dönem öncesinde geçimeye başlar ve adolesan dönem ile belirginleşir. Bu hastalık torakal bölgede oluşan kifoz ile tanımlanır. Hastalar genellikle adolesan dönemde kozmetik sebeplerle, yetişkin dönemlerde ise artmış ağrı şikayeti ile başvururlar. Bu deformite ağrıya, kozmetik olarak bozukluğa, nadiren de olsa kardiopulmoner bozukluğa neden olabileceği gibi, tamamen asemptomatik de olabilir. Hastalarda olan ağrı büyüme döneminde oluşur ancak omurganın maturitesini kazanması ile ağrı şikayeti kaybolabilir.

Yapılan muayenede hastalarda torakal bölgede keskin açılı bir kifoz mevcuttur. Bu hastalarda torakal kifozu ek olarak; lomber bölgede hiperlordozis, servikal bölgede artmış kifozu ve başın öne doğru ilerlemesi görülebilir (Lowe 2007). Bu hastalarda lomber ve servikal deformiteler genellikle esnektir. Deformite klinik olarak incelenirken, öne eğilme testi (adam's test) kullanılır. Bu test ile postural kifoz ayrımı yapılabilir.

Muayene sonrasında radyolojik tanı açısından anteroposterior ve lateral ortoröntgenogram çekilir. Lateral ortoröntgenogramda kifozun eğriliğine katılan en üst ve en alt vertebralar arasındaki açılar (cobb)ölçülür. Scheuermann kifozu tanısı koyabilmek için kifoz açısı 45 dereceden fazla olmalı ya da; ardışık 3 vertebra arasında 5 dereceden fazla anterior kamalaşma bulunmalıdır.

Hastaların tedavisinde medikal tedaviden anterior ve posterior yaklaşımla cerrahiye kadar geniş bir yelpaze bulunur. Hastaya uygulanacak tedavi değerlendirilirken; eğriliğin miktarı, artış hızı, hastanın yaşı, ağrı gibi semptomların olup olmasına göre karar verilir.

Çekilen ortoröngenogramlarda kifoz açısının 50 derece altında olması ve takiplerinde ilerleme olmayan hastalarda konservatif tedavi yapılır. Hastalar 6 aylık kontrol periyotlarında takip edilir. Kemik gelişimi tamamlandığı zaman takiplerden çıkarılabilir. Medikal tedavide kullanılan fizik tedavinin ağrıyı azalttığı ancak kifoz deformitesinin düzeltilmesine katkı sağlamadığı görüşü hakimdir.

Scheuermann hastalığının medikal tedavisinde bir başka seçenek ise korsedir. Scheuermann kifozunda eğriliğin tepe noktası genellikle T10 vertebranın üst seviyelerinde olduğu için milwaukee korsesi kullanılmaktadır. Ancak bu korsenin kullanımı hastalar açısından zor olduğu, günün ortalama 22 saati takması gerektiği, bu şartlar altında hasta uyumunun kötü olabileceği akıldan çıkartılmamalıdır.

Cerrahi karar verilirken diğer deformitelere benzer olarak; eğriliğin artış hızı, hastanın yaşı, eğriliğin derecesi, deformiteye eşlik eden ağrının olması, nörolojik semptomların eşlik etmesi gibi sebepler cerrahi kararın verilmesinde etkilidir.

Cerrahi tedavi kararı korse tedavisi uygulanmasına rağmen takiplerinde eğriliğin artışı olan hastalar, kozmetik olarak ileri derecede eğriliği olan hastalar, çekilen ortoröntgenogramda 70 derceden fazla torakal kifozu olan hastalara önerilmektedir (Lowe 1999). Cerrahi yöntem olarak anterior yaklaşım, posterior yaklaşım ve kombine teknik kullanılmaktadır. Cerrahi teknik kararında çekilen lateral hiperekstansiyon grafisi değerlendirilmektedir (Lowe 1999). Bu grafide kifoz açısı 50 derece altına iniyorsa posterior teknikle yaklaşım önerilmektedir.

Cerrahi tedavi uygulanırken enstrumantasyona ek olarak osteotomi teknikleri de eklenir. Enstrumantasyon uygulanırken alt seviye enstrumantasyonun sınırı hakkında tam bir fikir birliği yoktur. Cerrahi teknikte amaç cerrahi sonrası kifozun 40-50 derece arasına indirmektir.

Cerrahi teknik sonrası oluşabilecek komplikasyonlar incelendiğinde; nörolojik problemler, enfeksiyon, implant yetmezliği gibi problemlerle karşılaşılacağı gibi

ilerleyen dönemlerde postjunctional kifoz da gelişebilir. Bu genellikle füzyon seviyesinin yetersizliğine bağlı gelişir.

2.5.3. Posttravmatik Kifoz

Posttravmatik kifoz adı üzerinde travma sonrası oluşan kifoz çeşididir. Bu travma genellikle yüksekte düşme veya motosiklet kazası sonrası oluşmaktadır ancak literatürde nadir de olsa ateşli silah yaralanması, araç içi trafik kazası gibi sebeplerle de oluşabildiği gösterilmiştir. Bu travmalar sonrası oluşan torakal bölge veya torakolomber bölge kırık ya da çıkıkları uygun olarak tedavi edilmezse ilerleyen dönemlerde kifoz gelişebilir.

Posttravmatik kifoz erkeklerde kadınlara göre daha fazla oranda görülür (Malcolm 1981). 1981 ile 1989 yılları arasında yapılan çalışmaya göre erkek -kadın oranı %65'e %35 olarak bulunmuştur. Bu fark spinal travma oranının erkeklerden kadınlardan daha fazla olmasına bağlanmıştır.

Travma sonrası oluşan vertebra kırıkları yüksek enerjili travmayı işaret eder. Saha müdahalesi ve Acil servis müdahale teknik ve esaslarının ilerlemesi ile vertebra kırıklarının uzun dönem sonuçları ortaya çıkmaktadır, bunlardan en belirgin olanı ise posttravmatik kifozdur. Torakal veya torakolomber bölge kırıkları oluşan hastalarda erken dönemde oluşan ilk bulgu ağrıdır. Bu ağrı hastanın hareket ve günlük yaşam kalitesini etkiler.

Bu hastalarda tanı yöntemi olarak direkt röntgenogram, bilgisayarlı tomografi ve mr desteği alınır. İlk olarak ortoröntgenogram çekilir ve cobb açısı ölçülür. Cobb açısı global olarak ölçülebileceği gibi segmental olarak da ölçülür. Ardından spinal kanalın etkilenmesini değerlendirebilmek için mr çekilebilir. Faset eklemler, kanal içi kemik fragmanlarını değerlendirmek için bilgisayarlı tomografi desteği de alınabilir.

Travma sonrası torakal bölge ya da torakolomber bölge kırığı olan hastada uzun vadede patolojik olarak iyileşme sonrasında klinik şikayet olarak ağrı ve erek postürde duramama şikayeti gelişir. Oluşan kifozu dengelemek için kompensasyon

mekanizmaları devreye girer, lomber lordoz artabilir. Eğer hasta tedavi edilmez ve kifoz deformitesi artarsa nörolojik deformiteler ortaya çıkabilir. Nörolojik deformitenin sebebi kifoz bölgesinde anterior kordun basısıdır.

Posttravmatik kifoz hastalarında cerrahi kararı oluşan kifoz açısına, ağrının şiddetine ve nörolojik defisit gibi sebeplere göre karar verilir. Cerrahi girişimde anterior, posterior ya da kombine teknik kullanılabilir. Posterior spinal enstrümantasyon gibi fiksasyon işlemlerinde ek olarak osteotomi teknikler kullanmak gerekebilir.

Osteoporozla bağlı posttravmatik kifozlarda ek hastalıkların olması, ileri yaş ve komorbid hastalıklar geniş cerrahiye izin vermeyebilir. Bu durumlarda kifoplasti ya da vertebroplasti seçeneği değerlendirilebilir. Kifoplasti veya vertebroplasti akut vertebra kırıklarında kontrendikedir.

Torakal bölge kırıklarında akut dönemde fiksasyon esnasında kırık vertebra ile birlikte bir alt ve bir üst vertebra fiksasyonu yeterli olabilmektedir. Torakolomber bileşkede olan kırıklarda ise kırık hattı ile birlikte 2 alt ve 2 üst seviye vertebra fiksasyonu gerekmektedir.

2.5.4. Postenfeksiyöz Kifoz

Postenfeksiyöz kifoz deformitesi enfeksiyon etkeninin hematojen yolla yayılım veya lokal olarak yayılım sonrası oluşan osteomyelitin sebep olduğu deformite çeşididir. Bu osteomyelit çeşidi tüm osteomyelitler içinde %2 ila %4 arasında görülür. Enfeksiyonlar içinde en çok etkenler s. aureus, m. tuberculosis gibi etkenler sayılabilir.

Omurga enfeksiyonlarının oluşum süreci incelendiğinde piyojenik bakterilerin (s. aureus v. s.)hematojen yolla, m. tuberculosis enfeksiyonunda venöz yolla yada direkt ekimle(cerrahi sırasında, lokal enjeksiyon sırasında) oluşabileceği görülmüştür. Bu enfeksiyonların tutulum yerleri farklılıklar gösterebilir. Örneğin piyojenik bakteriler daha çok torakal ve lomber yayılım gösterirken, m. tuberculosis gibi etkenler daha çok torakolomber bölge tutulumu gösterir.

Enfeksiyon materyali vertebra korpusunu etkiledikten sonra korpusun anterior bölgesini lizise uğratar. İlerleyen zamanlarda anterior bölgeye doğru kamalaşma oluşur ve kifoz deformitesi gelişmiş olur.

Vertebra enfeksiyonlarında tedavi öncelikle etkenin saptanıp uygun antibiyoterapi verilmesi, debritleme ve klinik iyileşme sonrası oluşan deformiteye bağlı cerrahi girişimdir. Kifoz deformitesi oluşmuş ve cerrahi gereksinim var ise anterior, posterior yada kombine yaklaşımla fiksasyon ve gerekli ise osteotomi-greftleme tekniği kullanılabilir.

2.5.5. Postlaminektomi (İyatrojenik) Kifoz

Postlaminektomi kifozu, dekompresyon laminektomisi sonrası oluşan iatrojenik bir kifoz çeşididir. Laminektomi ve dekompresyon cerrahisi en çok olarak spinal stenoz cerrahisi başta olmak üzere, malignite, enfeksiyon gibi medulla spinalisi işgal eden hastalılarda kullanılan bir yöntemdir. Bu cerrahi şekilde tek taraflı ya da bilateral laminektomi yapılır, spinal kanala ulaşılır ve kanalı işgal eden patoloji temizlenir. Bu cerrahiler sonrasında vertebranın arka elemanlarında güç kaybı olduğu için omurga ilerleyen zamanlarda öne doğru eğilebilir.

Postlaminektomi kifozu laminektomi cerrahisinin uzun zaman komplikasyonlarından en ciddisidir. Bu sonuç hastanın yaşı, uygulanan laminektomi sayısı, perop dönemde instabilitenin olup olmaması gibi birçok etmene bağlıdır.

Bu hastalar bölgesel ağrı, duruş bozukluğu ya da nörolojik sekellerle klinik gösterebilir. Bu hastalığın tanısı konulurken ortoröntgenogramın yanısıra fleksiyon ve hiperekstansiyon grafipleri de çekilmelidir. Yine bu tetkiklere ek olarak faset eklemlerinin füzyonunu incelemek için bilgisayarlı tomografi de çekilebilir.

Postlaminektomi kifozunda cerrahi veya konservatif tedavi uygulanabilir. Konservatif tedavide fizik tedavi ile posterior kas gruplarının güçlendirilmesi ile ağrının önüne geçilmesine çalışılır. Ancak ileri derecede kifozu olan hastalarda, nörolojik sekel bulunan, mekanik olarak ciddi ağrısı olan hastalar cerrahi tedaviye

adaydır. Cerrahi tedavide stabilizasyon amaçlı enstrümantasyonun yanısıra osteotomi teknikleri de kullanılması gerekebilir.

2.5.6. Bileşke Kifoza

Bileşke kifoza (daha yaygın olarak kullanılan ifadeyle proximal junctional kifoza);vertebra deformitesi nedeni ile posterior yada anterior spinal enstrümantasyon sonrası oluşan enstrümantasyonun proximal seviyesinden 2 üst vertebra arasında 10 dereceden fazla kifozun gelişmesi olarak tanımlanır (Lee et al. 1999).

Bileşke kifozunun cerrahi teknikle ilgili bazı sebepleri vardır. Enstrümantasyon sırasında en üst vertebra fikse edilirken fasetinin bozulması bu sebeplerden biridir. En üst seviye faset eklemi bozulduğu zaman posterior desteği kalmayan vertebra kamalaşır ve kifoz gelişir. Diğer bir sebep ise enstrümantasyon seviyesinin yeterli olmamasıdır. Torakolomber gibi bileşke yerlerinin alt seviyelerine inilmediği zaman bileşke kifozu gelişebilmektedir. Bunun önüne geçilebilmesi için enstrümantasyon seviyesi preop olarak dikkatli bir şekilde hesaplanması gerekir. Bir diğer sebep ise operasyon esnasında gevşetme amacı ile posterior longitudinal ligamanın kesilmesidir. Bu durumda yapılan cerrahi sonrası takiplerde bileşke kifozu gelişebilir.

Bileşke kifozu geliştikten sonra oluşan kifozun derecesi hesaplanır ve cerrahi gerekliliğinin olup olmadığına bakılır. En üst enstrümente vertebra ve bu vertebra'nın 2 üst vertebra arasındaki kifoz açısı 10 dereceden fazla ise cerrahi kararı alınır. Cerrahi olarak ise seviye yükseltilmesi yanısıra osteotomi teknikleri de kullanılması gerekebilir.

2.5.7. Ankilozan Spondilit

Ankilozan spondilit ilerleyici vasıfta, inflamatuvar sırt ağrısı ile karakterize, ön planda aksiyel iskeleti etkileyen hayat kalitesini düşüren kronik inflamatuvar bir hastalıktır. Yeni görüntüleme ve tanı yöntemleri ile geçmişteki hastalık yöntemleri gelişmiştir. Bu hastalıkta tanı yöntemi konusunda spesifik bir kriter olmadığı için bazı kriterlerin

olup / olmamasına göre karar verilir. Bu kriterler yıllar içinde değişerek en son 1984 yılında yapılan Modifiye New York kriterleri ile tanımlanmıştır.

Tablo 1. Ankilozan spondilit tanısında modifiye New York kriterleri

Ankilozan spondilit tanısında Modifiye New York Kriterleri
A. Klinik Kriterler
Haretle azalan ancak istirahatle geçmeyen, en az 3 aydır süren sırt/ bel ağrısı ve sertlik
Sagittal ve koronal planlardaki lomber omurga eklem açıklığında azalma
Yaş ve cinsiyete göre normal göğüs kafes ekspansiyonunda azalma
B. Radyolojik Kriterler
Unilateral evre 3-4 sakroileit
Bilateral evre 2-4 sakroileit
Ankilozan spondilit bir radyolojik kritere ek olarak bir klinik kritere eşlik etmelidir.

Ankilozan spondilit sponiloartropatiler içinde en sık olarak görülen kliniklerdir. Erkeklerde ortalama 26 yaşında görülür. Erkeklerde kadınlara oranla daha fazla görülür ve bu oran yaklaşık 2 ye 1 dir (Feldtkeller et al. 2003). Hastaların ilk klinik semptomu genellikle ağrıdır ancak üveit gibi farklı semptomlarla da kendini gösterebilir. Hastalar genellikle sabah uyanıklarında şiddetli olan, egzersizle azalan bir ağrı tarifler.

Hastalara tedavilerinde genellikle non-steroid antiinflamatuar tedavi gibi medikal tedavi uygulanır. Ancak akciğer kapasitesinde azalma gibi sebeplerden ötürü cerrahi karar verilebilir. Cerrahi tekniklerde ise osteotomi teknikleri kullanılır. Bu cerrahi tekniklere ilerleyen konularda değineceğiz.

2.6. OSTEOTOMİ TEKNİKLERİ

Osteotomi teknikleri kifoz olgularında yaygın olarak kullanılmaktadır. Adolesan dönemdeki hastalarda kifoz deformitesi genellikle rijit olmadığı için osteotomi tekniklerine ihtiyaç duyulmamaktadır. Ancak maturitesini tamamlamış, rijit kifoz deformitesi olan hastalarda deformitenin düzeltilmesi için osteotomiye ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan osteotomi çeşidi, kifoz deformitesinin tipine, deformitenin rijiditesine, kifozun açı derecesine, kemik yapısının kalitesine ve nörolojik bulgular gibi sebeplere göre değişiklik gösterebilir (Enercan ve ark. 2013).

Osteotomi teknikleri, sadece faset eklemlerin rezek edildiği ve ligaman gevşetmelerinin yapıldığı basit tekniklerden pedikül subtraksiyon osteotomisi, kemik-disk-kemik osteotomisi, ponte osteotomisi, vertebra kolon osteotomisi gibi ciddi tecrübe gerektiren kapsamlı cerrahilere kadar geniş bir yelpazeyi içerir (Aebi 2005).

Kifoz cerrahisinde yapılacak osteotomi tekniği, yapılacak olan düzeltme miktarını preop olarak değerlendirmek çok önemlidir. Bunun için öncelikle hastanın yaşı, kemik kalitesi gibi değerlendirmeler yapılır. Bu değerlendirmelerden sonra ortorötgenogramlar, fleksiyon ve hiperekstansiyon grafipleri, bending grafipleri çekilir. Çekilen bu grafiplerde kifozun açısı, kifozun apeksi, düzeltme miktarı hesaplanabilir. Bu grafipler sayesinde kifozun fleksibilitesi hakkında da bilgi sahibi olunabilir. Bu değerlendirme aynı zamanda introperatif olarak da değerlendirilebilir. Genel anestezi altında traksiyon grafişi çekilerek perop dönemde düzeltme miktarı hesaplanabilir. Omurga patolojileri incelendiğinde sagittal ve koronal deformite olarak 2 gruba ayrılır ancak genellikle multiplanar deformite görülür.

Sagittal dengesizlik incelenirken daha önce bahsedildiği gibi segmental ve global olarak 2 gruba ayrılır. Segmental eğrilikler (tip1) genellikle ponte osteotomisi ve nadiren gereken pedikül subtraksiyon osteotomisi ile düzelebilirken global eğrilikler (tip2) pedikül subtraksiyon osteotomisi veya vertebral kolon rezeksiyonu gerekebilir.

2.6.1. Ponte Osteotomisi ve Smith Petersen Osteotomisi

Ponte osteotomisi ilk olarak 1945 yılında Smith Petersen tarafından ankilozan spondilit için torakal osteotomi olarak tanımlanmıştır. Ponte tarafından ise Scheuermann kifozu için 1984-1987 yılları arasında tanımlanmış posterior ligaman ve faset eklemlerin eksize edildiği bir posterior kolon osteotomisidir (Geck and Macagno 2007). Bu teknikte ligamentum flavum, interspinöz ve supraspinöz gibi tüm posterior ligamanların yanı sıra eklem ve fasetler de eksize edilir. Bu sayede koronal ve sagittal planda düzeltme sağlanabilir (Roderick et al. 2015). Bu osteotomi tekniği diğer osteotomi tekniklerine göre kanamanın az olması, daha kısa ameliyat süresi ve

daha az nörolojik problem oluşturmaması açısından kullanışlı olmasına rağmen, osteotomi sonrası düzeltme açısının az olması ve osteotomi sırasında faset eklem eksizyonunun az yapılması sonucu nörolojik problemlerin olabilmesi açısından risk teşkil edebilir.

Ponte osteotomisi scheuermann kifoza gibi uzun ve global tip 1 sagittal plan deformiteleri için kullanışlı ve uygun bir osteotomi tekniğidir. Cho ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada aynı klinikte iki farklı cerrahın 1989 ve 2001 yılları arasında yaptığı 30 tane 3 seviye smith petersen osteotomisi (ponte osteotomisi) ve 41 tane tek seviye pedikül subtraksiyon osteotomisi hastasına göre PSO nun sagittal imbalansı daha fazla düzelttiğini tespit etmişlerdir (Kyu-Cung et al. 2005). Bu hastalardan PSO da kanamanın daha fazla olduğu görülmüştür.

2.6.2. Pedikül Subtraksiyon Osteotomisi

Pedikül subtraksiyon osteotomisi ilk olarak 1985 yılında thomasen tarafından tanımlanmış olan bir osteotomi çeşididir. İlk olarak ankilozon spondilit için tanımlanan bu teknik daha sonra birçok sagittal plan deformitesi için de kullanılmıştır. Pedikül subtraksiyon osteotomisinde posterior vertebra elemanları rezeke edilir, iki taraflı pediküller rezeke edilir, vertebra korpusu boşaltılır ve anterior korteksi menteşe olarak kullanarak osteotomi sahasının kapatıldığı bir tekniktir. PSO ile kifotik deformite cerrahisinin yanı sıra konjenital anomalilerde, posttravmatik deformitelerde, metabolik kemik hastalıklarında ve neoplastik hastalıklarda kullanılabilir (Wang and Berven 2007).

Bu teknik ile osteotomi hattı posterior ve orta vertebra kolonlarında uygulanır, anterior kortekse herhangi bir osteotomi uygulanmaz sadece menteşe görevi görür. Bu sayede vertebranın anteriorunda bulunan visseral organlar ve majör damar yaralanmalarının riski kısmi olarak azaltılabilir ancak PSO esnasında intraoperatif kanama, kalıcı veya geçici nörolojik hasar, osteotomi hattında psödoartroz gibi komplikasyonları da vardır. Buchowski ve arkadaşlarının 10 yıllık ve 108 vakalık yaptığı çalışmada intraoperatif ve postoperatif defisitler (2 derece veya daha fazla motor kaybı veya bağırsak/mesane kontrolü kaybı gibi) 12 hastada görülmüş (%11. 1)

ve 3 hastada kalıcı sekel kalmış. Bu sekellerden 2 si 1 derece iyileşmiş ve 3'ü de ambulasyon yapabilmış (Buchowski et al. 2007).

PSO kifozun genellikle apeks bölgesine uygulanır. PSO tek seviye uygulandığında torakal bölgede 15-20 derece, lomber bölgede uygulandığında ise 30-40 derece arasında düzelme elde edilebilir (Cho et al. 2005).

2.6.3. Kemik Disk Kemik (Bone Disc Bone) Osteotomisi

Kemik disk kemik (Bone disc bone) osteotomisi, pedikül subtraksion osteotomisi ya da ponte osteotomisi ile düzletilemeyecek oranda kifozu bulunan hastalar için kullanılabilir. Bu osteotominin asıl amacı kifoz deformitesinin apeks noktasının disk aralığında olduğu hastalardır. Bu osteotomi tekniği ile yaklaşık 35-60 derece arasında düzelme sağlanır. Bu osteotomi tekniği ile yapılacak osteotomi hattının 2 alt ve 3 üst seviyelere pedikül vidası gönderilir. Tek taraflı rod konulur ve osteotomi yapılacak diskin altına ve üstüne geniş laminektomi uygulanır ardından osteotomi seviyesindeki disk ve korpus kama şeklinde osteotomize edilir. Bu teknikle anterior kolonun stabilitesini artırmak ve osteotomi sonrası dural katlanmayı önlemek için osteotomi bölgesinin anterioruna mesh kafes konulur ve osteotomi hattı kapatılır. Sonuç olarak bone disk bone osteotomisi cerrahi olarak zor ve tecrübe gerektiren bir cerrahi çeşididir.

2.6.4. Vertebral Kolon Rezeksiyonu

Osteotomiler içerisindeki belki de en çok tecrübe gerektiren ve cerrahi tekniği zor olan osteotomi şekli olan vertebral kolon rezeksiyonu, rijit spinal deformitelerde kullanılabilir. Vertebral kolon rezeksiyonu birden çok vertebral segmentin posterior elemanlarının tamamı ve disklerin çıkarılması ile yapılır. Bu osteotomi tekniği sadece posterior teknikle kullanılabileceği gibi kombine teknik ile de uygulanabilir.

İlk olarak 1922 yılında MacLennan tarafınca tanımlanan bu deformite, 1987 yılında Bradford ve arkadaşlarının 16 vakalık serilerinin yayınlanması ile yaygınlaşmıştır (Suk et al. 2005).

Cerrahi teknikte osteotomi ile rezeksiyon uygulanacak seviyelerin dışına pedikül vidaları konulur ve tek taraflı rod ile fikse edilir. Ardından osteotomi sahasına geniş laminektomi ve bilateral foraminektomi sonrasında nöral yapılar dekompresye edilir ve rezeksiyon uygulanacak vertebral kolonun apeksi ortaya konulur. Osteotomi uygulanacak vertebral kolonun anterioruna ulaşana kadar vertebranın lateral kolonuna subperiostal diseksiyon uygulanır. Bu sırada segmental damar yapıları nazik şekilde korunmalıdır, ayrıca cerrahi esnasında nöromonitör de kullanılmalıdır. Osteotomi hattı torakal vertebra seviyesinde ise kostaların yapışma yerleri nazikçe rezeksiyone edilmelidir. Vertebranın rezeksiyonu sonrasında genişleyebilir kafes rezeksiyone edilen vertebra bölgesinin anterioruna konulur ve düzeltme sonrası bilateral rod ile fiksasyon sağlanır. Bu cerrahi teknik oldukça zor bir teknik olmasına rağmen düzeltme oranı en yüksek cerrahi tekniktir (Suk et al. 2005).

Bu cerrahi teknikte komplikasyonlara bakılacak olursa en büyük endişelerden biri nörolojik komplikasyon ve kanamadır. Bu yüzden tecrübeli bir ekip tarafınca yapılması önerilir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. AMAÇ

Kifoz cerrahilerinde genellikle posterior spinal enstrümantasyon ve buna ek olarak osteotomi tekniklerinde biri kullanılarak sagittal düzlemde denge sağlanır. Bu cerrahi sonrası enstrümante edilen rod ve pedikül vidaları aksiyel kuvvetlere karşı direnç oluşturur. Bu yüklenmeler ilerleyen dönemlerde aksiyel kuvvetlere karşı yetersiz kalabilir ve implant yetmezliği (rod kırılması, pedikül vida yetmezliği vs.) gelişebilir. Bu yetmezlik osteotomi uygulamaları sonrasında hızlanabilir (Barton et al. 2015).

Kifoz cerrahisinde sıklıkla kullanılan PSO ve BDBO biyomekanik olarak karşılaştırılması amacıyla bu çalışmada koyun vertebraında yapılan iki farklı osteotominin farklı açılarda ve farklı ağırlıkla verilen aksiyel yüklenmeler sonucunda rod üzerinde binen gerilmelerin ölçülmesi planlandı. Bu sonuçla iki farklı osteotominin hangisinin gelişebilecek rod veya vida yetmezlik kırıklarına daha yatkın olduğunu gösterilebilir.

3.2. YÖNTEM

Biz çalışmamızda, koyun vertebraında bone disc bone osteotomisi ve pedikül subtraksiyon osteotomisini biyomekanik olarak karşılaştırmayı hedefledik. Bu çalışmada ortalama olarak 8 saat önce kesilmiş, herhangi bir dondurma işlemi görmemiş, interspinöz, supraspinöz ve diğer omurgaya yapışan ligamentleri sıyrılmamış, herhangi bir bağına zarar verilmemiş, fasetleri, pedikülleri, anterior ve posterior longitudinal ligamentleri korunmuş, mekanik açıdan sağlam olarak diseke edilmiş 5 seviye lomber bölge koyun vertebraı kullandık.



Resim 2. Koyun vertebraşı önden ve yandan görüntüsü

3.2.1. Enstrumentasyon

Diseke edilen vertebra kolonlarının pedikülleri belirlendi ve 5 vertebra kolonunun her iki pedikülüne öncelikle uygun giriş belirlenerek kanal açıldı ardından kanalın pedikülün ve vertebra korpusunun içinde olduğu görüldükten sonra uygun boyutta 3.5 mm poliaksiyel pedikül vidası (artnext marka) gönderildi. Ardından bu işlem kalan diğer pediküllere de uygulandı. Pedikül vidaları gönderildikten sonra osteotomi sahası belirlendi.

Toplam 40 adet enstrumentasyon yapılmış 5 seviyelik koyun vertebra modeli oluturuldu.



Resim 3. Posterior spinal enstrümantasyon uygulanmış koyun vertebraları

3.2.2. Osteotomi

Yapılan çalışmada iki adet osteotomi tekniği kullanıldı.

3.2.2.1. Pedikül subtraction osteotomisi (PSO)

Enstrümantasyon yapılan 20 adet modelin orta seviyedeki vidaları çıkarıldı. Orta seviyeden usulüne uygun şekilde 10 adet modele 35 (Grup A) ve 10 adet modele 65 (Grup B) derecelik PSO yapıldı. Daha sonra bilateral rodlar hazırlandı rodlara 35 ve 65 derecelik açı verildi.

3.2.2.2. Bone-disk-bone osteotomisi (BDBO)

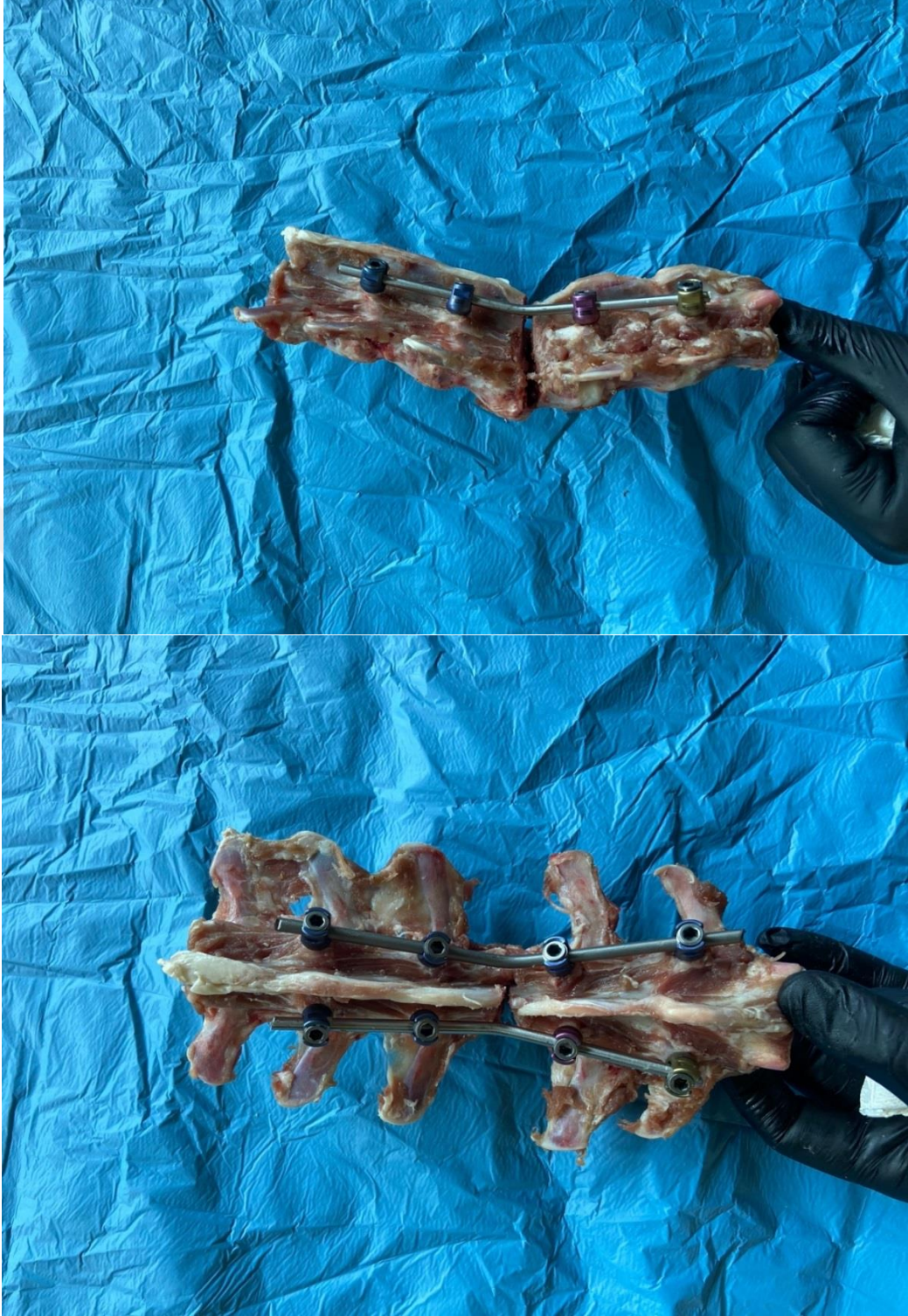
Enstrümantasyon yapılmış 20 adet modelin 10 tanesine 35 (Grup C) derecelik BDBO yapıldı. Bu osteotomide orta seviyeden pedikül vidaların çıkarılması gerekmedi. Tüm 5 seviye vidalar modelin üzerinde kaldı. İki adet 35 derecelik açı verilmiş rod ile fikse edildi. Daha sonra 10 adet modele 65 (Grup D) derecelik açı ile BDBO yapıldı. Bu işlem sırasında modelin orta seviyeden pedikül vidalarının çıkarılması gerekti. Vidalar çıkarıldıktan sonra osteotomi tamamlandı. Model 65 derecelik iki adet rod ile fikse edildi.



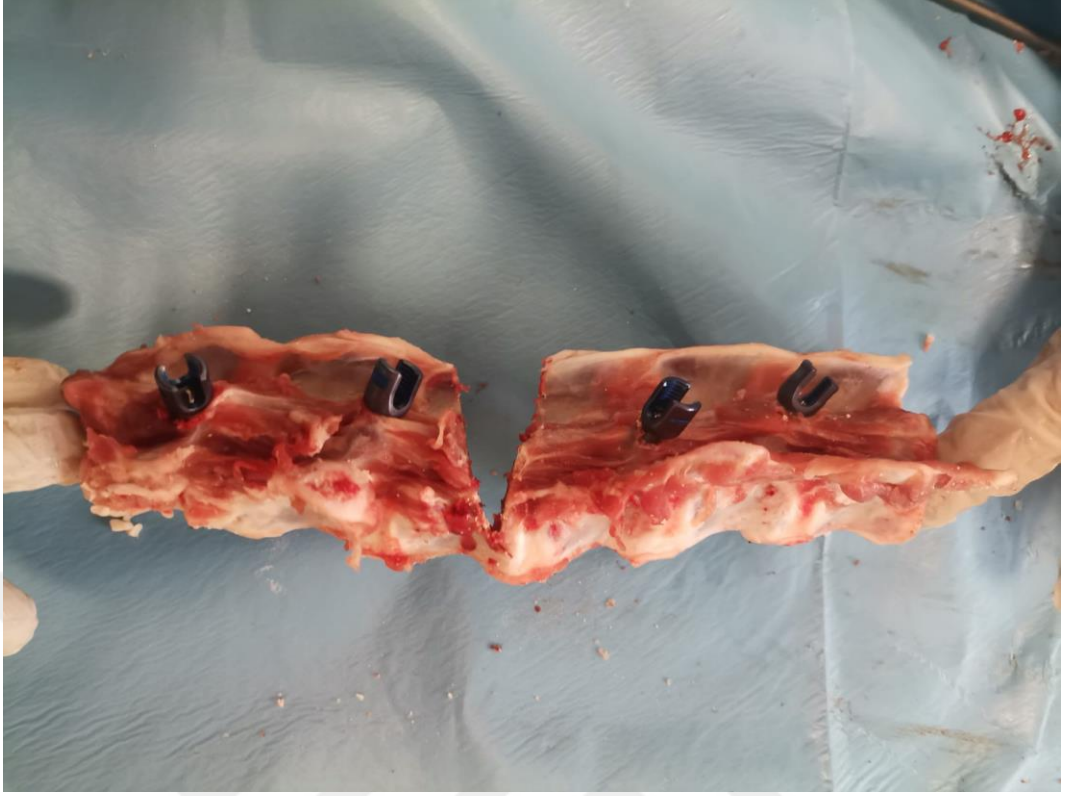
Resim 4. Pedikül subtraksiyon osteotomisi için kama çıkarılmış vertebra modeli



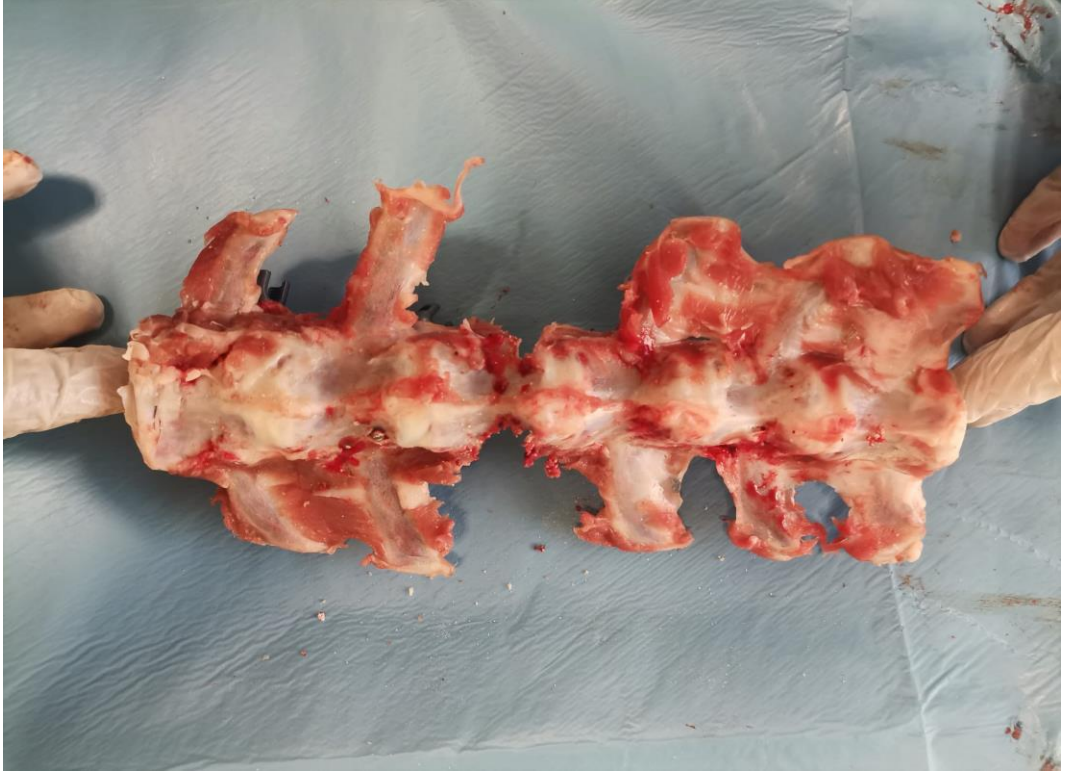
Resim 5. Çıkarılan kama vertebra sonrası osteotomi hattının kapatılması



Resim 6. Osteotomi hattının kapatılmasından sonra 2 adet rod ile sistemin kilitlemiş halinin anteroposterior ve lateral görüntüleri



Resim 7. Bone disk bone osteotomisi için kama çıkarılması



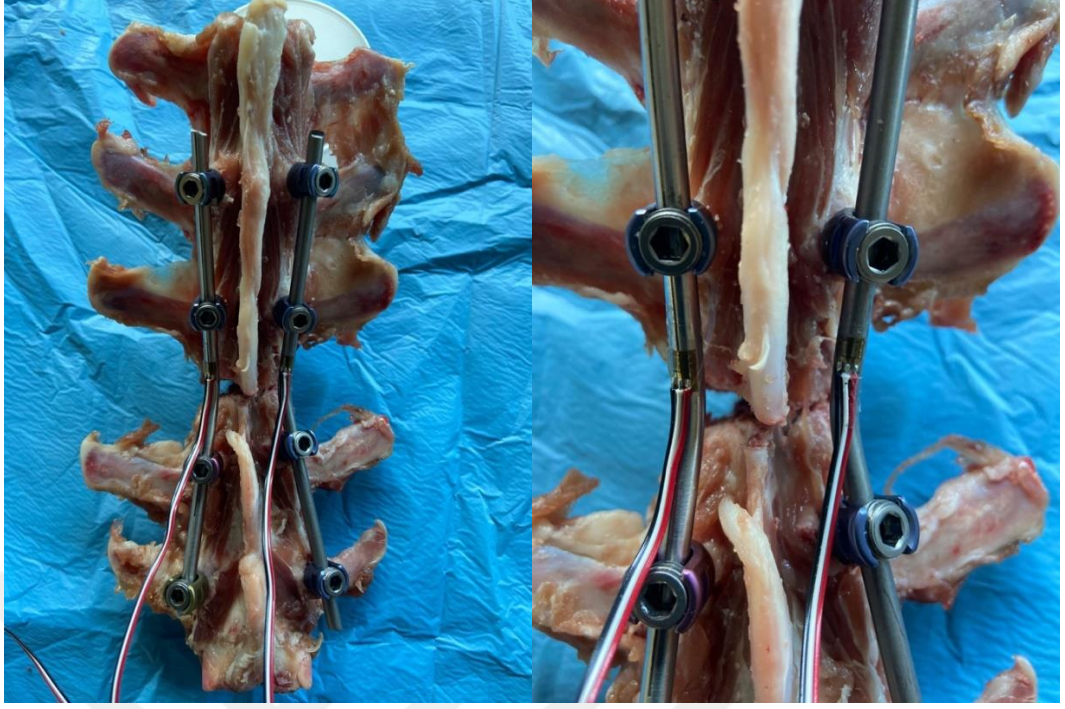
Resim 8. Bone disk bone osteotomisi için kama vertebra çıkarıldıktan sonraki önden görünüm



Resim 9. Bone disk bone osteotomisi için kama vertebra çıkarıldıktan sonraki yan görünüm

Oluşturulan bu 40 modele rodların ve pedikül vidalarının üzerine yük ölçümü ve bu noktalar üzerine binen kuvvet ölçümü yapabilen gerilim ölçerler yerleştirildi.

Kullanılan gerilim ölçerler C4A-06-060SL-350-39P model, 350 ohm dirence sahip, tek ekseninde veri toplayabilen Micro Measurement marka gerilim ölçerlerdi.



Resim 10. Vertebra modeline osteotomi, posterior spinal enstrümantasyon ve rod uygulandıktan sonra uygulanan gerilim ölçerlerin yakından görünümü

Ardından oluşturulan modeller basınç kuvveti oluşturan uygulama makinasına yerleştirildi. Deney tesisatını oluşturmak ve deney sırasında bası yönünde yük oluşturmak için 3 eksenli TAKSAN TMC 700 V dik işleme merkezi kullanılmıştır. Bu işleme merkezi oluşturulan modele dik olarak ayarlanabilir ve dengeli kuvvet uygulayan, kuvvet uygulandığı esnada oluşan yükü Newton/ metre olarak hesaplayabilen bir makine idi.

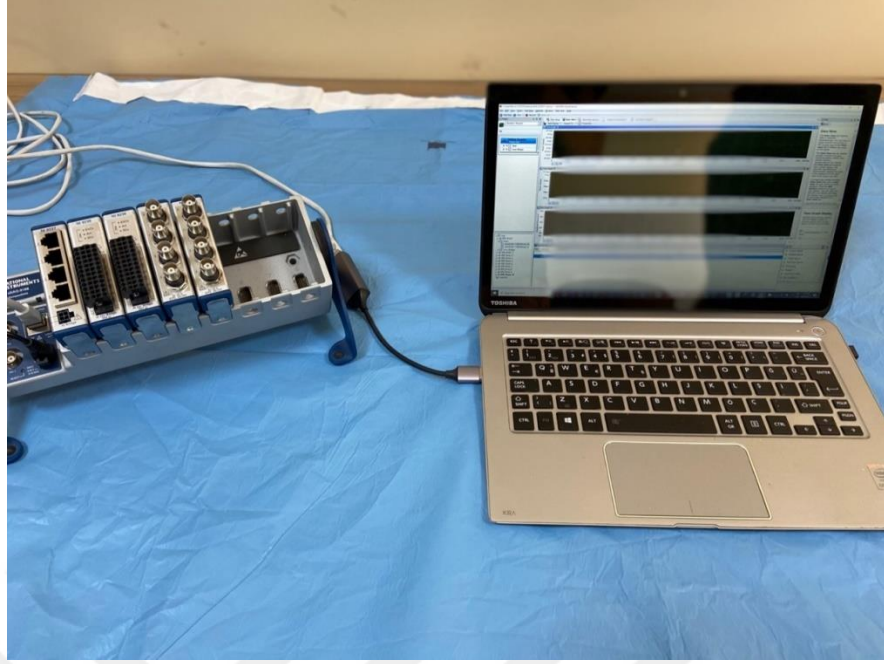


Resim 11. Oluşturulan vertebra modellerinden pedikül subtraksiyon osteotomisi ve bone disk bone osteotomisinin AP ve lateral grafileri

Çalışmada veri toplamak için 8 modül bağlama imkanı sağlayan NI cDAQ-9188 řasi ve çalışma sırasında gerinim (strain) ölçmek için aynı anda 8 gerinim ölçer bağlanabilen ve saniyede 10000 örnek toplayabilen NI 9236 modül ile kuvvet ölçümü amacıyla Sakarya üniversitesi mühendislik fakóltesi Makine mühendisliği bölümünde üretilen ve 500 kg kapasiteli PULS marka ST5 yük hücresi bulunduran dinamometre kullanılmıştır. Veri toplamak için NI Signal Express yazılımı kullanılmıştır. Bu sayede üretilen veriler bilgisayar yazılımında toplanmış ve uygulanan kuvvetle gerilim ölçerde hesaplanan değerler arasında korelasyon oluşturuldu

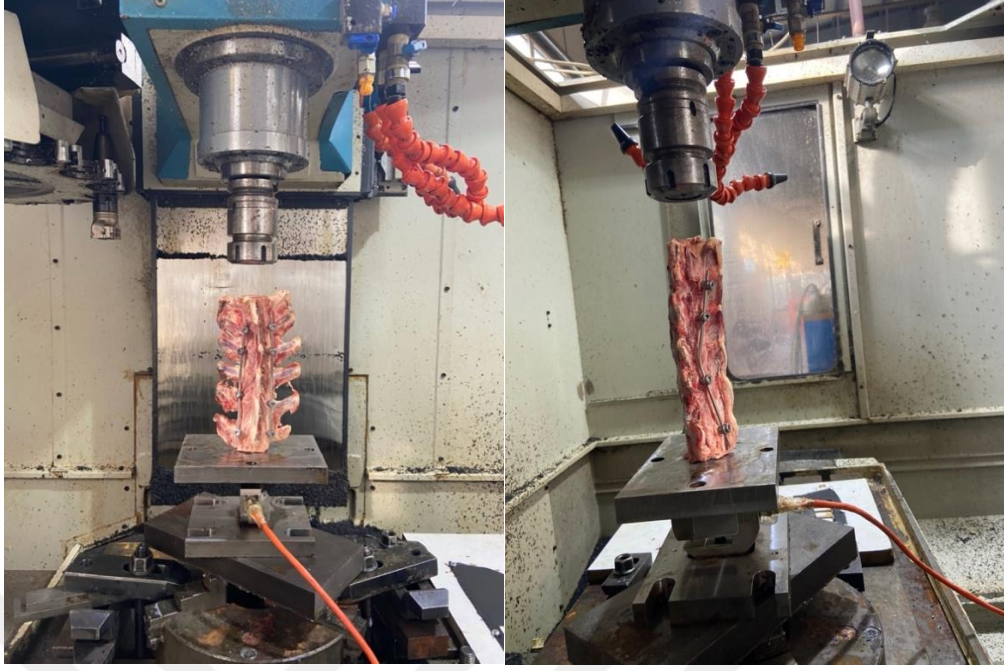


Resim 12. Oluşturulan modelde dik işleme merkezinin ve gerilim ölçerlerin verilerinin toplanması için kullanılan modül

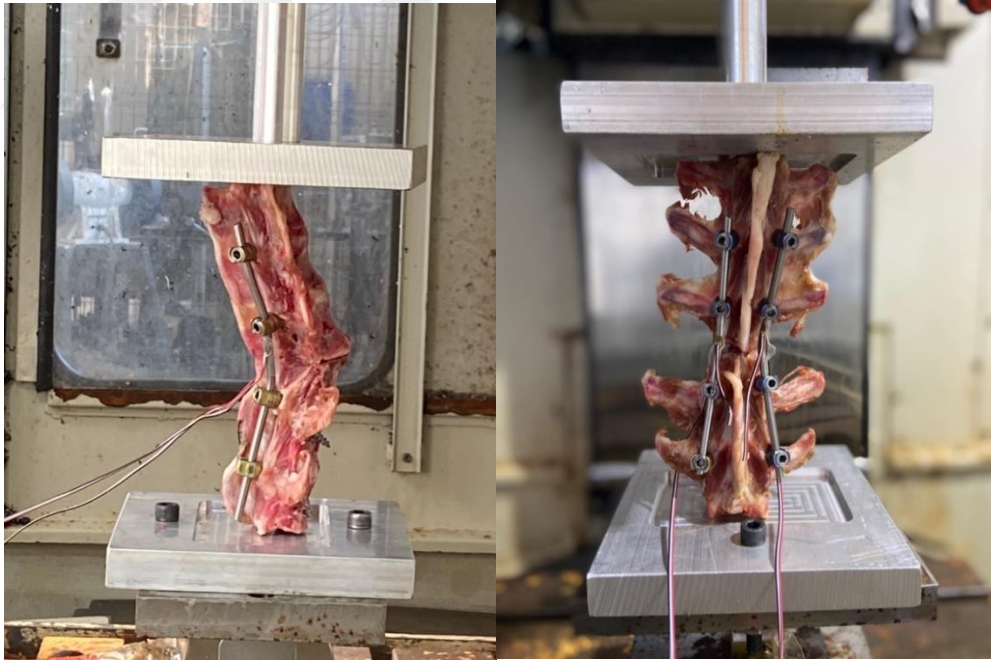


Resim 13. Toplanan verilerin işlenmesi

Uygulanan modelimizde öncelikle vertebra düzeneğe yerleştirildi ve strengchlerin optimizasyonu yapıldı. Strengchler %0.025 hata payı ile optimize edildi. Optimizasyon sonrası deney düzeneğine her gruba ayrı ayrı ardışık kuvvetler verişmeye başlandı. Uygulanan kuvvetler sonrası rod üzerinde bulunan gerilim ölçerler yardımı ile rod üzerine binen yükler ölçüldü ve düzenek sayesinde bilgisayara aktarıldı.



Resim 14. Uygulanan vertebra modellerinin dik işleme merkezi ile bağlantısının sağlanması



Resim 15. Çalışma esnasında dik işleme merkezinin vertebra modeline kuvvet uygulama esnası

Çalışma esnasında vertebra modellerine ard arda sırsıyla 100 N, 200 N, 300 N, 400 N, 500 N kuvvet uygulandı. Verilen kuvvetler düzenek üzerinden ölçüldü. Verilen

kuvvete korele olarak rod üzerine yerleştirilmiş strengeler yardımı ile rodlara gelen gerilim kuvveti ölçüldü. Bu deney 40 koyun omurgasında ayrı ayrı ölçüldü. Deney esnasında rodlarda kırılma, omurgada deformasyon oluşmadı.

3.3. İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Çalışmada tanımlayıcı analizler araştırma popülasyonu hakkında bilgi sağlamak için yapılmıştır. Değişkenlerin normal olup olmadığını değerlendirmek için Kolmogorov-Smirnov testi kullanılmıştır. Gruplar arası sürekli verilerin değerlendirilmesi için ikili bağımsız örneklem t testi kullanıldı. Sürekli değişkenler ortalama \pm standart sapma olarak sunuldu. Analizler IBM SPSS version 23.0 (IBM, New York, ABD) paket programında değerlendirilmiş olup, $p < 0.05$ değeri anlamlı olarak kabul edilmiştir.

4. BULGULAR

Çalışmada 35 derecede bone disk bone osteotomisi ve pedikül subtraksiyon osteotomisi ile 65 derecede bone disk bone osteotomisi ve pedikül subtraksiyon osteotomisi ve posterior spinal enstrümantasyon uygulanan koyun vertebralarında ardışık kuvvetler uygulama sonrası sağ ve sol rod üzerine binen yükler biyomekanik olarak incelendi ve istatistiksel olarak değerlendirildi.

Otuzbeş derecelik pedikül subtraksiyon osteotomisi uygulanan 10 adet vertebra modelinde uygulanan sıralı kuvvetlere karşılık oluşan gerilimler hesaplandı ve ortalamaları alındı.

Tablo 2. 35 derece pedikül subtraksiyon osteotomisi uygulanmış vertebra modeli

PSO DENEY SONUÇLARI (35 DERECE)										
Dene y no	100N yük altında		200N yük altında		300N yük altında		400N yük altında		500N yük altında	
	SAĞ	SOL	SAĞ	SOL	SAĞ	SOL	SAĞ	SOL	SAĞ	SOL
1	0,00026	0,00024	0,00050	0,00048	0,000681	0,000666	0,000810	0,000791	0,000913	0,000897
2	0,00022	0,00021	0,00050	0,00048	0,000686	0,000654	0,000823	0,000802	0,000933	0,000907
3	0,00021	0,00019	0,00047	0,00045	0,000650	0,000631	0,000766	0,000741	0,000871	0,000759
4	0,00020	0,00019	0,00045	0,00043	0,000615	0,000597	0,000729	0,000703	0,000838	0,000812
5	0,00027	0,00025	0,00044	0,00042	0,000603	0,000576	0,000713	0,000697	0,000848	0,000801
6	0,00021	0,00020	0,00042	0,00041	0,000593	0,000561	0,000699	0,000672	0,000780	0,000659
7	0,00023	0,00022	0,00043	0,00041	0,000597	0,000551	0,000698	0,000669	0,000812	0,000799
8	0,00023	0,00022	0,00043	0,00040	0,000600	0,000563	0,000695	0,000671	0,000804	0,000782
9	0,00021	0,00020	0,00042	0,00040	0,000593	0,000577	0,000693	0,000661	0,000817	0,000793
10	0,00021	0,00021	0,00042	0,00042	0,000602	0,000581	0,000694	0,000662	0,000821	0,000801
ortala ma	0,000225	0,000212	0,000447	0,000430	0,000622	0,000596	0,000732	0,000707	0,000844	0,000801
Tüm ortala ma	0,000219		0,000438		0,000609		0,000719		0,000822	

Ardından 35 derece bone disk bone osteotomisi modelinde ardışık yükler uygulandı ve oluşan gerilimler ölçüldü.

Tablo 3. 35 derece bone disk bone osteotomisi uygulanmış vertebra modeli

BDBO DENEY SONUÇLARI (35 DERECE)										
NO	100 N YÜK ALTINDA		200 N YÜK ALTINDA		300 N YÜK ALTINDA		400 N YÜK ALTINDA		500 N YÜK ALTINDA	
	SAĞ	SOL	SAĞ	SOL	SAĞ	SOL	SAĞ	SOL	SAĞ	SOL
1	0,000206	0,000193	0,000324	0,000296	0,000421	0,000403	0,000524	0,000499	0,000651	0,000644
2	0,000224	0,000209	0,000368	0,000341	0,000443	0,000409	0,000539	0,000501	0,000634	0,000621
3	0,000201	0,000235	0,000327	0,000303	0,000466	0,000416	0,000582	0,000549	0,000699	0,000671
4	0,000201	0,000209	0,000376	0,000342	0,000466	0,000411	0,000599	0,000561	0,000702	0,000692
5	0,000237	0,000221	0,000370	0,000339	0,000475	0,000432	0,000587	0,000556	0,000693	0,000682
6	0,000190	0,000179	0,000302	0,000286	0,000409	0,000377	0,000531	0,000493	0,000635	0,000601
7	0,000222	0,000217	0,000383	0,000351	0,000493	0,000468	0,000607	0,000559	0,000718	0,000701
8	0,000236	0,000221	0,000403	0,000377	0,000491	0,000451	0,000582	0,000554	0,000686	0,000663
9	0,000192	0,000161	0,000401	0,000349	0,000503	0,000473	0,000614	0,000579	0,000704	0,000681
10	0,000228	0,000204	0,000381	0,000346	0,000491	0,000470	0,000577	0,000552	0,000698	0,000675
ORTA										
LAMA0,000214	0,000205	0,000364	0,000333	0,000466	0,000431	0,000574	0,000540	0,000682	0,000663	
Tüm										
ORTA										
LAMA	0,000209		0,000348		0,000448		0,000557		0,000673	

35 derecelik osteotomi sonrası rod üzerinde oluşan gerilimler hesaplandıktan sonra 65 derece osteotomi uygulanan vertebra modellerinde rod üzerinde oluşan gerilimler ölçüldü.

Tablo 4. 65 derece pedikül subtraksiyon osteotomisi uygulanmış vertebra modeli

PSO DENEY SONUÇLARI (65 DERECE)										
no	100 N yük altında		200 N yük altında		300 N yük altında		400 N yük altında		500 N yük altında	
	SAĞ	SOL	SAĞ	SOL	SAĞ	SOL	SAĞ	SOL	SAĞ	SOL
1	0,00049	0,00047	0,00075	0,00073	0,000952	0,000934	0,001178	0,001082	0,001374	0,001212
2	0,00047	0,00045	0,00071	0,00070	0,000972	0,000951	0,001112	0,001043	0,001374	0,001281
3	0,00043	0,00041	0,00070	0,00067	0,000910	0,000876	0,001143	0,001017	0,001332	0,001254
4	0,00041	0,00041	0,00074	0,00073	0,000974	0,000951	0,001145	0,001035	0,001321	0,001292
5	0,00040	0,00039	0,00069	0,00067	0,000921	0,000897	0,001107	0,001023	0,001324	0,001231
6	0,00039	0,00038	0,00071	0,00069	0,000952	0,000931	0,001104	0,001095	0,001383	0,001228
7	0,00041	0,00040	0,00073	0,00071	0,000953	0,000927	0,001134	0,001013	0,001383	0,001252
8	0,00040	0,00040	0,00072	0,00070	0,000963	0,000931	0,001159	0,001094	0,001374	0,001221
9	0,00040	0,00039	0,00071	0,00070	0,000964	0,000921	0,001145	0,001071	0,001324	0,001234
10	0,00039	0,00038	0,00072	0,00070	0,000958	0,000951	0,001185	0,001043	0,001312	0,001256
ortala										
ma	0,000421	0,000408	0,000717	0,000700	0,000952	0,000927	0,001141	0,001052	0,001350	0,001246
Tüm										
ortala										
ma	0,000414		0,000709		0,000939		0,001096		0,001298	

Tablo 5. 65 derece bone disk bone osteotomisi uygulanmış vertebra modeli

BDBO DENEY SONUÇLARI (65 DERECE)										
Deney no	100N yük altında		200N yük altında		300N yük altında		400N yük altında		500N yük altında	
	SAĞ	SOL	SAĞ	SOL	SAĞ	SOL	SAĞ	SOL	SAĞ	SOL
1	0,000421	0,000041	0,000671	0,000652	0,000983	0,000954	0,001143	0,001012	0,001332	0,001224
2	0,000441	0,000429	0,000651	0,000624	0,000995	0,000939	0,001145	0,001063	0,001345	0,001249
3	0,000409	0,000389	0,000609	0,000597	0,000917	0,000842	0,001159	0,001082	0,001350	0,001235
4	0,000437	0,000413	0,000763	0,000701	0,000943	0,000921	0,001162	0,001063	0,001392	0,001281
5	0,000452	0,000440	0,000671	0,000653	0,000902	0,000876	0,001153	0,001097	0,001373	0,001292
6	0,000396	0,000381	0,000615	0,000602	0,000925	0,000878	0,001132	0,001031	0,001238	0,001229
7	0,000461	0,000134	0,000773	0,000754	0,000953	0,000919	0,001113	0,001026	0,001293	0,001171
8	0,000472	0,000461	0,000777	0,000751	0,000925	0,000902	0,001165	0,001063	0,001292	0,001152
9	0,000492	0,000472	0,000823	0,000792	0,000979	0,000931	0,001146	0,001056	0,001264	0,001194
10	0,000498	0,000482	0,000769	0,000752	0,000907	0,000871	0,001158	0,001041	0,001332	0,001241
ortalama	0,000448	0,000364	0,000712	0,000688	0,000943	0,000903	0,001148	0,001053	0,001321	0,001227
Tüm ortalama	0,000406		0,000700		0,000923		0,001101		0,001274	

Bizim çalışmamızda 35 derecelik ve 65 derecelik bone disk bone osteotomisi ve pedikül subtraksiyon osteotomisi modelleri karşılaştırması yapıldı. Bu çalışmaya göre 35 derecede uygulanan osteotomilerde bone disk bone osteotomisinin uygulanan ardışık kuvvetlere karşı daha az gerilim kuvveti oluşturduğu görülmüştür. Buna göre 35 derece düzeltme sağlanması hedeflendiğinde uygulanan bone disk bone osteotomisinde gerilim daha az olduğu ve rod üzerine binen yükün az olduğu görüldü.

65 derecelik osteotomiler karşılaştırıldığında ise bone disk bone osteotomisi ve pedikül subtraksiyon osteotomisi uygulanan modellerde uygulanan yükün istatistiksel olarak birbirine eşit olduğu görülmüştür. 65 derecelik osteotomi uygulanan iki grup arasında farklılık görülmedi.

Tablo 6. 35 ve 65 derece BDBO ve PSO'nun ardışık kuvvetler uygulama sonrası rod üzerinde oluşan gerilimlerin istatistiksel olarak karşılaştırılması.

	35 derece (n=10)	65 derece (n=10)	p
PSO100Sag	0,000225±0,000023	0,000421±0,000035	<0. 001
PSO100Sol	0,000212±0,000021	0,000408±0,000031	<0. 001
PSO200Sag	0,000447±0,00003	0,000717±0,000017	<0. 001
PSO200Sol	0,00043±0,00003	0,0007±0,00002	<0. 001
PSO300Sag	0,000622±0,000036	0,000952±0,000021	<0. 001
PSO300Sol	0,000596±0,000041	0,000927±0,000024	<0. 001
PSO400Sag	0,000732±0,00005	0,001141±0,000028	<0. 001
PSO400Sol	0,000707±0,000053	0,001052±0,000031	<0. 001
PSO500Sag	0,000844±0,000049	0,00135±0,00003	0. 030
PSO500Sol	0,000801±0,000069	0,001097±0,0000361	<0. 001
BDB100Sag	0,000214±0,000018	0,000448±0,000034	<0. 001
BDB100Sol	0,000205±0,000022	0,000364±0,000151	0. 009
BDB200Sag	0,000364±0,000034	0,000712±0,000077	<0. 001
BDB200Sol	0,000333±0,000029	0,000688±0,000071	<0. 001
BDB300Sag	0,000466±0,000032	0,000943±0,000033	<0. 001
BDB300Sol	0,000431±0,000033	0,000903±0,000036	<0. 001
BDB400Sag	0,000574±0,000032	0,001148±0,000016	<0. 001
BDB400Sol	0,00054±0,000031	0,001053±0,000026	<0. 001
BDB500Sag	0,000682±0,00003	0,001321±0,000048	<0. 001
BDB500Sol	0,000663±0,000032	0,001227±0,000044	<0. 001

Data were shown as mean ±standard deviation

Tablo 7. 35 derece uygulanan PSO ve BDBO'nun ardışık kuvvetler uygulama sonrası sağ ve sol rod üzerine binen yükün istatistiksel olarak karşılaştırılması

	35 derece		p
	PSO	BDBO	
PSO100Sag	0,000225±0,000023	0,000214±0,000018	0,228
PSO100Sol	0,000212±0,000021	0,000205±0,000022	0,446
PSO200Sag	0,000447±0,00003	0,000364±0,000034	<0,001
PSO200Sol	0,00043±0,00003	0,000333±0,000029	<0,001
PSO300Sag	0,000622±0,000036	0,000466±0,000032	<0,001
PSO300Sol	0,000596±0,000041	0,000431±0,000033	<0,001
PSO400Sag	0,000732±0,00005	0,000574±0,000032	<0,001
PSO400Sol	0,000707±0,000053	0,00054±0,000031	<0,001
PSO500Sag	0,000844±0,000049	0,000682±0,00003	<0,001
PSO500Sol	0,000801±0,000069	0,000663±0,000032	<0,001

Tablo 8. 65 derece uygulanan PSO ve BDBO'nun ardışık kuvvetler uygulama sonrası sağ ve sol rod üzerine binen yükün istatistiksel olarak karşılaştırılması

	65 derece		p
	PSO	BDBO	
PSO100Sag	0,000421±0,000035	0,000448±0,000034	0,091
PSO100Sol	0,000408±0,000031	0,000364±0,000151	0,393
PSO200Sag	0,000717±0,000017	0,000712±0,000077	0,842
PSO200Sol	0,0007±0,00002	0,000688±0,000071	0,621
PSO300Sag	0,000952±0,000021	0,000943±0,000033	0,477
PSO300Sol	0,000927±0,000024	0,000903±0,000036	0,099
PSO400Sag	0,001141±0,000028	0,001148±0,000016	0,537
PSO400Sol	0,001052±0,000031	0,001053±0,000026	0,891
PSO500Sag	0,00135±0,00003	0,001321±0,000048	0,124
PSO500Sol	0,001097±0,0000361	0,001227±0,000044	0,287

35 derece BDBO ve PSO istatistiksel olarak karşılaştırıldığında;

Aksiyel olarak uygulanan 100 N yüke karşılık ayrı ayrı sağ ve sol rodlarda oluşan gerilim arasındaki istatistiksel değerlendirmede anlamlı fark saptanmamıştır (sağ rod p: 0. 228, sol rod p: 0. 446).

200 N yüke karşılık ayrı ayrı sağ ve sol rodlarda oluşan gerilim arasında istatistiksel değerlendirmede anlamlı fark saptanmıştır ve istatistik sonuçlarına göre BDBO uygulanan rod üzerine daha az gerilim olduğu gözlenmiştir. (p: <0. 001).

300 N yüke karşılık ayrı ayrı sağ ve sol rodlarda oluşan gerilim arasındaki istatistiksel değerlendirilmede anlamlı fark saptanmıştır ve istatistik sonuçlarına göre BDBO uygulanan rod üzerine daha az gerilim olduğu gözlenmiştir. (p: <0. 001)

400 N yüke karşılık ayrı ayrı sağ ve sol rodlarda oluşan gerilim arasındaki istatistiksel değerlendirilmede anlamlı fark saptanmıştır ve istatistik sonuçlarına göre BDBO uygulanan rod üzerine daha az gerilim olduğu gözlenmiştir. (p: <0. 001)

500 N yüke karşılık ayrı ayrı sağ ve sol rodlarda oluşan gerilim arasındaki istatistiksel değerlendirilmede anlamlı fark saptanmıştır ve istatistik sonuçlarına göre BDBO uygulanan rod üzerine daha az gerilim olduğu gözlenmiştir. (p: <0. 001)

Bu istatistik sonuçlarına göre 35 derece BDBO ve PSO karşılaştırıldığında 200 N ve üzerinde uygulanan aksiyel yüklenmelerde istatistiksel olarak BDBO uygulanmış vertebra modelinde rod üzerinde oluşan gerilimin daha az olduğu kanıtlanmıştır.

65 derece BDBO ve PSO karşılaştırıldığında ise aksiyel olarak uygulanan 100 N yüke karşılık ayrı ayrı sağ ve sol rodlarda oluşan gerilim arasındaki istatistiksel değerlendirmede anlamlı fark saptanmamıştır. (sağ rod p: 0. 091, sol rod p: 0. 393)

Aksiyel olarak uygulanan 200 N yüke karşılık ayrı ayrı sağ ve sol rodlarda oluşan gerilim arasındaki istatistiksel değerlendirmede anlamlı fark saptanmamıştır. (sağ rod p: 0. 842, sol rod p: 0. 621)

Aksiyel olarak uygulanan 300 N yüke karşılık ayrı ayrı sağ ve sol rodlarda oluşan gerilim arasındaki istatistiksel değerlendirmede anlamlı fark saptanmamıştır. (sağ rod p: 0. 477, sol rod p: 0. 099)

Aksiyel olarak uygulanan 400 N yüke karşılık ayrı ayrı sağ ve sol rodlarda oluşan gerilim arasındaki istatistiksel değerlendirmede anlamlı fark saptanmamıştır. (sağ rod p: 0. 537, sol rod p: 0. 891)

Aksiyel olarak uygulanan 500 N yüke karşılık ayrı ayrı sağ ve sol rodlarda oluşan gerilim arasındaki istatistiksel değerlendirmede anlamlı fark saptanmamıştır (sağ rod p: 0. 124, sol rod p: 0. 287)

Bu sonuçlara göre 65 derece BDBO ve PSO karşılaştırıldığında vertebra modeline uygulanan ardışık kuvvetler sonucunda rodlar üzerinde oluşan gerilim istatistiksel olarak karşılaştırıldığında anlamlı fark saptanmamıştır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

İnsan postürünü fizyolojik olarak erekte halde korumak, enerjinin ekonomik kullanımını, hareketin düzgün ve sürekli tekrarlayabilir halde yapılmasını, zamanla oluşabilecek dejenerasyonun en aza indirilmesi açısından önemlidir. Kifoz deformitesi ise adolesan kifoz, postural kifoz, iyatrojenik kifoz veya ankilozan spondilit gibi birçok sebepten kaynaklanıyor olabilir. Kifoz deformitesi oluştuğunda ise kompensasyon mekanizmaları ile tüm omurgada değişiklikler oluşur. Sakral slop değişir, torakal omurga açısı artar, bu artışa bağlı olarak solunum sistemi ya da kardiyak olarak kapasitede azalmalar meydana gelebilir. Kifoz deformitesi, mekanik olarak sorunlar oluşturduğu gibi, hastalarda en önemli semptomlar olan ağrı ve kozmetik sorunlar da ortaya çıkarır.

Kifoz deformitesinde konservatif tedavi uygulanabileceği gibi gerekli olgularda cerrahi tedavi uygulanır. Cerrahi tedavinin tanımlandığı ilk zamanlarda rijit kifoz vakalarında kombine olarak anterior gevşetme ve posterior füzyon cerrahi yaklaşımı kullanılmakta idi (Bridwell et al. 2004). Cerrahi tekniklerin artması sonucu posterior yaklaşım ile osteotomi teknikleri sayesinde omurganın üç kolonuna birden ulaşılma imkanı sağlanmıştır. Bu sayede anterior yaklaşımla oluşabilecek morbidite teknik zorluğu sorunlarının önüne geçilmiştir. Ancak omurganın maturitesinin tamamlanmadığı olgularda sadece posterior füzyon uygulandığında anteriordan büyüme devam edeceği için hastalarda crankshaft fenomeni adı verilen deformite geliştiği görülmüştür. Bu hastalarda crankshaft deformitesinin önüne geçebilmek için kombine anterior -posterior cerrahisi önerilmektedir (Hedequist et al. 2004).

Omurga biyomekaniği ile ilgili çalışmalarda omurga modelinin seçimi önemli bir nokta teşkil eder. Literatüre bakıldığında fiziksel modeller, in vitro deneyler, in vivo deneyler ve bilgisayar modelleri gibi farklı tekniklerle bu çalışmaların yapıldığı

görülmektedir. Fiziksel modeller kemik doku veya yumuşak dokunun öneminin olmadığı, daha çok kullanılan metaryal üzerinde olan çalışma metotlarıdır. İn vivo çalışmalar ise hayvanlarda füzyon gibi değerlerin karşılaştırılmasını değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın dezavantajı ise kullanılan modelin insana göre biyolojik ve biyomekanik olarak farklılıklar göstermesidir. Bilgisayar modellerinde ise çalışılmak istenen modelin çalışma esnasında geometrik ve matematiksel olarak değerlendirilmesini sağlar. Bu çalışmanın dezavantajı ise bu çalışmaların gerçek hayatta geçerliliğinin ispatlanmasındaki zorluklardır.

İN vitro biyomekanik çalışmalar değerlendirildiğinde ise bu çalışmaların anatomik yapıların önemli olduğu çalışmalarda kullanılabileceği görülmektedir. Bu çalışmaların en önemli özelliği omurga modellerinin veya bu modele uygulanan enstrümantasyonun dayanıklılığı ve stabilite gibi özelliklerinin değerlendirilmesidir. İn vitro çalışmalar insan veya hayvan kadavralarında çalışılmaktadır. Bu çalışmalarda insan kadavraları en avantajlı olan çalışma teknikleridir. Çünkü bu modeller insan ile aynı anatomide ve aynı biyomekanik oranda olduğu için bu çalışmalardan çıkarılan sonuçlar gerçek hayata en yakın uyarlanabilir sonuçlar ortaya çıkarır. Ancak insan modellerinde çalışmak medikolegal olarak zordur ve maddi olarak yüksek gidere sahip çalışmalardır. Hayvan modelleri değerlendirildiğinde ise medikolegal açıdan ve mali olarak daha kolay uygulanabilen bir model olarak karşımıza çıkmaktadır. Omurga ile ilgili çalışmalarda birçok hayvan cinsi kullanılmaktadır. Genel olarak ortak bir paydada buluşulan bir hayvan cinsi yoktur. Bu çalışmalarda kullanılan hayvanlar; yaş, cinsiyet, ağırlık gibi değişken durumları standartize edilebilmektedir. Hayvan deneylerinde kullanılacak omurga modelinin insan omurgası ve biyomekaniği ile benzer özellikte olması gerekmektedir. Yapılan çalışmalarda genellikle koyun, dana, keçi, primat, köpek gibi hayvan deneyleri yapılmıştır.

Koyun omurgası değerlendirildiğinde; büyüklüğü, anatomik özellikleri, modellerin kolay elde edilebilmesi ve maliyetinin az olması nedeni ile çalışmalarda sıklıkla tercih edilmektedir (Lee KS et al. 1993, Zdeblick et al. 1993). Bizim çalışmamızda da koyun vertebra model olarak kullanıldı.

Kifoz deformitesinde osteotomi teknikleri deformiteyi düzeltmek için hayat kurtarıcı tekniklerdir. Literatüre bakıldığında birçok çeşit osteotomi tekniği tarif edilmiştir. Osteotomilerde asıl amaç deformiteyi makul derecede düzelterek kifoz deformitesinin önüne geçmektir. Bu tercihte hastanın deformitesine, deformite açısına ve hastaya göre karar verilir. Osteotomi tekniklerine bakıldığında; Smith petersen osteotomisi, pedikül subtraksiyon osteotomisi, bone disk bone osteotomisi, vertebral kama rezeksiyonu gibi osteotomi teknikleri sayılabilir.

Kifoz ve diğer omurga deformitelerinin düzeltilmesi için yapılan osteotomilerin kaynayanaya kadar stabil tutulması gerek. Bu enstrümantasyonun stabilitesine bağlıdır. Hastalarda gelişen rod ve vida kırığının sebebi olarak kullanılan materyalin içeriği (krom kobalt, titanyum), yapılan osteotomi şekli (PSO, SPO), enstrümantasyon sırasında kullanılan rodun sagittal olarak yüksek derecelerde eğilmesi(>60 derece), hastanın vücut kitle endeksi olarak sıralanabilir.

Barton ve ark. 'larının(Barton et al. 2015) yaptığı 75 hastalık bir çalışmada posterior spinal enstrümantasyon geçirmiş takiplerinde rod kırığı yaşamış hastalar incelenmiş. Total insidans %9.3 imiş. PSO geçiren hastalarda %16.2, SPO geçiren hastalarda ise %2.6 imiş. Klinik olarak belirlenen rod kırığı oranı ise %5.3 imiş. Çalışmanın sonuçlarına göre rod kırığı sebepleri arasında enstrümantasyonun iki bileşkeyi geçmesi (örneğin torakolomber ve lumbosakral), sagittal rod eğriliğinin 60 dereceden fazla olması, 1 yıldan fazla takipli psödoartrozun olması, konnektör kullanılması, rod bağlantısı için domino kullanılması sebepler sayılmış.

Biz çalışmamızda pedikül subtraksiyon osteotomisi ve bone disk bone osteotomisini koyun vertebra üzerinde biyomekanik olarak çalıştık. Pedikül subtraksiyon osteotomisinin cerrahi prosedürü incelendiğinde bilateral pediküllerin çıkarıldığı, posterior elemanların tamamen rezekt edildiği, vertebral kolonun anteriorunun menteşe görevi görmesi için bırakıldığı bir cerrahi tekniktir. Bone disc bone osteotomisi ise; vertebral diskin çıkarıldığı vertebra korpusunun dekanselle edildiği genellikle anterior vertebral kolonun menteşe olarak kullanılmadığı bir cerrahi tekniktir. Biz çalışmamızda 35 ve 65 derecelik osteotomi uygulanan her iki vertebra

modelinde ardışık kuvvetlerde uygulanan yükte rod üzerine binen yük ölçümünde yapıldı.

Zhu Q ve arkadaşlarının yaptığı 370 vakalık omurga cerrahisi serisinde torakolomber kırık cerrahide anterior ve posterior cerrahisinin karşılaştırılmasında işe dönüş ve Cobb açılarındaki farklılık gözlenmezken, kanama miktarı ve operasyon zamanı açısından posterior yaklaşımın daha avantajlı olduğu görülmüştür.

Xu GJ ve ark. 'larının yaptığı 231 vakalık anterior ve posterior cerrahi tekniklerinin karşılaştırıldığı bir başka metaanalizde ise işe dönüş ve nörolojik problemler açısından farklılık göstermesede, kanama miktarı, solunum yolu enfeksiyonu ve hemopnömotoraks gibi komplikasyonların anterior yaklaşım ile cerrahide daha fazla olduğu gösterilmiştir (Xu et al. 2013). Biz cerrahi teknik olarak posterior osteotomi ve posterior spinal enstrümantasyon tekniği kullandık.

Toplamda 71 vakalık 30 adet Smith Petersen osteotomisi ve 41 adet pedikül subtraksiyon osteotomisinin karşılaştırıldığı bir çalışmada hastalardan preop dönemde, operasyon sonrası 2. ayda ve operasyon sonrası 2. yılda radyografik olarak kontrol edilmiş (Cho et al. 2005). Ölçümler osteotomi bölgesinin bir üstündeki omurganın end platesinden osteotominin bir altındaki omurganın end platesine kadar ölçülmüş. 7 hastada tek segment, 9 hastada 2 segment, 9 hastada 3 segment, 3 hastada 4 segment, 2 hastada ise 5 segment Smith Petersen osteotomisi uygulanmış. Pedikül subtraksiyon osteotomisi ise tüm hastalara tek segmentte uygulanmış.

Smith Petersen osteotomisi uygulanan hastaların 2'sinde L5-S1 psödoartroz gelişmiş. 1 hastada ise osteotomi sahasında psödoartroz gelişmiş. Pedikül subtraksiyon osteotomisinde ise 9 hastada psödoartroz gelişmiş. 6 hastada osteotomi bölgesinin proximali olan torakolomber bölgede, 2 hastada osteotomi sahasında, 1 hastada ise L5-S1 bölgesinde psödoartroz gelişmiş. Osteotomi bölgesinde psödoartroz gelişen hastaların 1 tanesinde daha önceden laminektomi geçirmiş, diğer hasta ise ankilozan spondilit nedeni ile daha önce pedikül subtraksiyon osteotomisi geçiren bir hasta

imiş. Bu çalışmada psödoartroz gelişimi pedikül subtraksiyon osteotomisi ve Smith petersen ostetomisi arasında karşılaştırılmış.

Sonuç olarak üç veya daha fazla Smith petersen osteotomisi ile bir pedikül subtraksiyon osteotomisi yapılan hastalar karşılaştırıldığında, kifozdaki düzeltme hemen hemen aynı imiş. Operasyonda konkavitenin dekompanse olma olasılığı tek bir PSO'ya kıyasla üç veya daha fazla SPO'nun daha etkili olduğu görülmüş. Kan kaybının PSO uygulanan hastalarda daha çok olduğu görülmüş.

Biz çalışmamızda BDB ve PSO'ni karşılaştırdık. Bone disk bone osteotomisinde pedikülün alınmaması, disk içerisinde rezeke edilmesi, pedikül subtraksiyon osteotomisinde ise pediküllerin rezeke edilmesi nedeni ile pedikül subtraksiyon osteotomisi yapılan sahaya binen yükün 35 derecelik osteotomide BDB osteotomisine göre daha fazla olduğu görülerek rod kırılmalarının ve yetmezliği daha fazla olabileceği düşünüldü.

1996-2010 arasında yapılan (Hyun et al. 2015) 66 vakalılık bir çalışmada üç kolon osteotomisi geçiren hastalarda iki rod kullanımı ve daha çok rod kullanımı arasındaki ilişki incelenmiş. Üç kolon osteotomisi ve 2'den fazla rod kullanılan hastalarda ameliyat endikasyonları 38 hastada flat back deformitesi, 25 hastada idiopatik veya konjenital kifoskolyoz ve 3 hastada scheuermann kifozu olarak belirlemiş. Aynı zaman periyodunda üç kolon osteotomisi ve iki rod ile füzyon yapılan hastalar cerrahi uygulandığındaki yaşlarına, tanılarına, rezeke edilen vertebra sayısına, füzyon yapılan vertebra seviyelerine ve açıl deformitelerine göre eşleştirilmiş. Her iki gruptaki hastalar operasyon sonrası iki yıl takip edilmiş. İki rod kullanılan hastaların takip yılları ortalama 6.5 ± 2.9 , çoklu rod kullanılan hastaların takip yılları ortalama 7.0 ± 4.0 yılmiş. Böylece iki rod kullanılan 66 kontrol hastası ile, ikiden fazla rod kullanılan (ortalama 3.4 rod kullanımı) 66 çoklu rod kullanımı uygulanan hasta eşleştirilmiş. Her iki grupta da 50 lomber pedikül subtraksiyon osteotomisi ve 16 vertebral kolon rezeksiyonu içeren çalışmada cerrahi tekniğe karar veren kişi aynı cerrahmış. Katılan cerrah vertebranın genel stabilitesi, osteotominin

kapanması, füzyon kapasitesi gibi faktörlere göre iki rod veya daha çok rod kullanımına karar vermiş.

Çalışmada takiplerin sonucunda üç kolon osteotomisi uygulanan hastalarda rod kırılması ve psödoartroz nedeni ile revizyon açısından anlamlı sonuçlar ortaya çıkmış. Cerrahi sırasında 2 rod kullanılan 11 hastada rod kırılması yaşanırken, 2'den fazla rod kullanılan hastalarda ise 2 hastada rod kırılması yaşanmış. Bu hastalardan iki rod kullanılıp rod kırılması yaşayan 6 hasta revizyon cerrahisine alınırken ikiden fazla rod kullanılıp parsiyel rod kırılması yaşayan hasta semptomatik olmayan psödoartroz geliştirdiği için revizyon yapılmamış. 3 kolon osteotomisi uygulanan hastalarda tam implant yetmezliği karşılaştırıldığında ise anlamlı sonuçlar ortaya çıkmış. Üç kolon osteotomisi uygulanıp iki rod kullanılan 11 hastada osteotomi uygulama bölgesinde tam implant yetmezliği gelişirken ikiden fazla rod kullanılan hastada ise tam implant yetmezliği gelişmemiş. Kullanılan rod ve rod kalınlıkları iki grupta da benzermiş. Çalışmaya göre 2'den fazla rod kullanımı yapının stabilite ve sertliğini artırarak 3 kolon osteotomisi uygulanan bölgede yetmezlik kırığı dahil semptomatik psödoartrozu önleyebileceği yönündedir. Bununla birlikte kısmi yetmezlik durumlarında psödoartroza bağlı ağrıyı engelleyen stabilite varsa, çoklu rod kullanımı psödoartrozun tanısını koymakta gecikmeye neden olabilir.

Sonuç olarak çoklu rod kullanımı, standart olarak kullanılan 2 rod'a göre üç kolon osteotomisi uygulanan hastalarda stabilite sağlamak için güvenli, basit ve etkili bir yöntemdir. Yayında torasik ve lomber omurganın üç kolonlu osteotomilerini stabilize etmek için çoklu rod kullanımını tavsiye etmektedir.

Bizim biomekanik çalışmamızda rod fiksasyonunda 2 adet rod kullandık. Bizim biomekanik çalışmamızda 35 derece bdb osteotomisinde osteotomiye sahasına yakın bölgede vida stabilitesi PSO'ye göre daha fazla olduğu için yüklenemenin daha az olduğu düşünülüyor. Bu sebepten dolayı çalışmamızda Otuzbeş decerecelik osteotomi yapılan modellerde PSO yapılmış olanlarda daha fazla yük bindiği görüldü. Rod üzerinde daha fazla yük binmesi rodun kırılmasına neden olacaktır.

Uzun torakolomber deformitelerde uygulanan cerrahi sonrası gelişen rod yetmezliği sonrası revizyon cerrahisinde kullanılan 7 revizyon tekniğini karşılaştıran bir çalışmada (Justin K. Scheer et al. 2011) ek rod konnektörü uygulayarak, 3 oryantasyonda kısa köprü rod kullanılarak ve karşılıklı köprü bağlantısı kullanılarak kadavra modelinde ölçüm yapmışlar. Çalışmada 7 adet taze donmuş insan omurgası kullanılmış. Kadavraların 6'sı erkek 1'i kadın cinsiyetindeymiş. Ortalama yaş oranları 69 +/- 8 arasındaymış. Kullanılan vertebra modeli T11 ile pelvis arasında yapılmış. Kullanılacak kadavraların anatomisinin normal olduğunu ya da tümöral bir lezyon olmadığını görmek için diseksiyondan önce tam ap ve lateral grafiler çekilmiş. Çekimler ardından uygun kadavralar ligamen ve diskler zarar görmeden kas dokularından temizlenmiş. Her kadavra numunesinde L3 vertebra hizasında pedikül subtraksiyon osteotomisi uygulanmış. Bu PSO L2 vertebra ve L4 vertebrada kısmi laminektomi, L3 vertebrada tam laminektomi ve tam pedikülektominin yanında L3 omurgasının kama dekanselezyonunu içeriyormuş (yaklaşık 30 derece) Ardından T12 ile S1 arasında (T3 vertebra hariç) posterior spinal enstrümantasyon uygulanmış. Vidalar 5.5 mm lik rodler ile birleştirilmiş. Ardından 7 adet çalışma modeli oluşturulmuş. İlk modelde T12 -S1 arasında PSE ve L3 vertebrada PSO uygulanmış. İkinci modelde L3 vertebra seviyesindeki rodler kesilmiş ve bu rodler rod içi konnektör ile bağlanmış.

Bu modelde L2 vertebra vidaları da çıkarılmış ve bu bölge de rod içi konnektör ile bağlanmış. Üçüncü çalışmada ikinci modelin üstüne L3 vertebra bölgesindeki rod içi konnektörün alt ve üst seviyesine karşılıklı rod bağlantısı kullanılmış. Dördüncü çalışmada 3. Çalışma modelinin üstüne her iki roda L3 seviyesindeki rod içi konnektörün bir alt ve üst seviyesini içerecek şekilde tam lateral bölgeye ek rod kullanılmış. Beşinci çalışmada eklenen rodler 45 derece anterior bölgeye asıl roda paralel olarak şekilde yerleştirilmiş. Altıncı çalışmada ise bu rodler 45 derece posteriora yerleştirilmiş. 7. ci çalışmada posteriora yerleştirilen ek roda ilave rodler arası L3 vertebra seviyesinin bir alt ve üst seviyesine karşılıklı bağlantı rodleri yerleştirilmiş. 8. ci çalışmada ise bu bağlantılar çapraz olarak yerleştirilmiş. Çalışma modelinde takılan enstrümantasyonlar eklenerek çalışmaya devam edildiği için eklenen enstrümantasyonları sökmeye gerek kalmamış.

Çalışmaya göre fleksiyon- ekstansiyon ölçümlerinde sadece PSO ve enstrümantasyon uygulanan model ile çalışılan 7 model arasında fark bulunamamış.

Aksiyel kuvvetlerin ölçümünde ise Rod içi bağlantı kullanılan modellerde aksiyel rotasyon kuvvetinin diğer çalışmalara göre anlamlı derecede az olduğu görülmüş. Ayrıca ek rod kullanılan modellerin sadece PSO uygulanan modellere göre sertliklerinin anlamlı derecede iyi olduğu görülmüş. Karşılıklı bağlantı uygulanan modellerde lokalize (L3 bölgesi) kuvvetin ise PSO uygulanan test modeline göre anlamlı derecede az olduğu görülmüş. Ancak bu modellerin tüm sistem üzerinde karşılaştırılmasında ise anlamlı bir fark görülmemiş. Yedinci ve 8. Modeller ise yalnızca rod içi kullanılan konnektörlere göre daha sert olduğu görülmüş.

Lateral bending kuvvetleri ölçüldüğünde ise yalnızca PSO ve PSE uygulanan kontrol grubu ile diğer 7 model arasında anlamlı derecede fark görülemedi.

Bu çalışmaya göre karşılıklı rodlar arası bağlantı uygulaması stabiliteyi artırmakta ve kullanılması önerilmekte. Uzun segment torakolomber cerrahi sonrası rod kırılması nedeni ile yapılan revizyon cerrahilerinde aksiyel rotasyon değerlendirildiğinde rod içi bağlantı kullanımı sistemin sertliğini yeteri düzeyde geri getirememekte. Bununla birlikte rod içi bağlantıya her iki rod arası köprü bağlantısı eklemek, ek rod eklemeye ihtiyaç duymadan sistemin sertliğini geri kazandırmaya yetmiş. Bununla birlikte ek rod kullanımına ek olarak rodlar arası bağlantı kurmak tüm bükme testlerinde tek başına rodlar arası bağlantıya göre daha fazla stabil olduğu görülmüş. Uygulanan testlerde ek rod kullanımında rodun öne ya da arkaya eklenmesinin veya roda şekil verilmesinin yapının sertliğine katkı sağlamadığı görülmüş. Çalışmaya göre ek rod kullanılacaksa hastayı normal yaşamında rahatsız etmeyecek şekilde eklenmesi önerilmiş. Çalışmaya ek olarak posterior enstrümantasyonun yanında greft kullanımı gibi ek faktörlerin yetmezlik gelişimini azaltabileceği düşünülmüştür ancak çalışma modelinde bu değerlendirilmemiştir.

T9 – L1 arası 14 adet insan kadavra omurgası kullanılan bir çalışmada (Ung-Kyu Chang et al. 2006) omurgalara öncelikle anterior spinal enstrümantasyon uygulanmış

ancak fiksasyon sırasında 7 omurga modeline 6. 25 mm lik pedikül vidası ve 6. 35 mm lik rod ile bağlanmış. Diğer 7 omurga modeline ise 6 mm lik vida kullanılırken 5. 5 mm lik rod ile bağlanmış. Her iki modelde de rodlar 2 adet karşılıklı köprü bağlantı ile birbirine bağlanmış. Ardından her iki model biyomekanik olarak çalışılmış. Bu çalışmanın ardından her iki modelde de T11 seviyesinde korpektomi uygulanmış ve karbon kafes konulmuş. Gerilim ölçerler (strain gauge) eklendikten sonra 0-500 N arası kuvvet uygulanarak ölçümler yapılmış. İlk olarak sağlam omurga testi uygulanmış ve sağlam omurgada her iki grup arasında (hareket açıklığı-range of motion) ROM farkı bulunamamış.

Ardından sağlam omurgalara anterior enstrümantasyon uygulanmış (daha önce anlatılan iki farklı grup). Enstrümantasyon uygulanan grupta ölçüm yapıldığında ise gruplardan bağımsız olarak ROM larda azalma görülmüş. Bu azalma, ekstansiyonda az olurken, bending(eğilme) ölçümünde en çok olmuştur. İki grup karşılaştırıldığında ise 6. 35 mm lik rod kullanılan grupta azalma daha çokmuş ancak bu fark istatistiksel olarak belirgin değilmiş.

Bu çalışmadan sonra T11 seviyesine total korpektomi uygulanmış ve stabilizasyon modeli değiştirilmemiş. Korpektomi yapıldıktan sonra karbon kafes uygulanmış ve ölçüm yapılmış. Buna göre ekstansiyon kuvvetlerinde enstrümantasyon yapılmamış sağlam omurgaya göre her iki karşılaştırma modelinde de ROM da artış meydana gelmiş. Buna karşılık fleksiyon, bükülme ve aksiyel rotasyonda sağlam omurga ile karşılaştırıldığında ROM da azalma meydana gelmiş. Eğilme testlerinde sağlam omurga her iki modele göre daha rijit olarak değerlendirilmiş.

Çalışmanın sonucuna göre 5. 5 mm lik ve 6. 35 mm lik rod kullanımı arasında rom açısından istatistiksel olarak farklılık bulunamamış. 5. 5mm lik rod kullanımı, çift rod kullanılan sistemlerde biyomekanik sertliği zayıflatmadığı bulunmuş.

6 yıl boyunca yetişkin spinal deformite cerrahisi sonrası rod kırılmasını retrospektif olarak incelenen bir çalışmada ise (Justin S. Smith et al. 2012) erişkin spinal deformite tanısı konulurken bazı kriterler belirlenmiş. Bunlar; koronal cobb açısının

20 dereceden fazla olması, sagittal vertikal axisin 5 cm'den büyük olması (C7 den inirilen çığının S1 anterosüperior köşesine olan uzaklığı), torasik kifozun 60 dereceden fazla olması, pelvik tiltin 25 dereceden fazla olması ve lomber lordozun 20 dereceden fazla olması olarak değerlendirilmiş. Bu çalışmaya katılma kriterlerinden biri de 18 yaşından büyük olmak ve yetişkin spinal deformitesi nedeni ile 5 seviyeden fazla posterior spinal enstrümantasyon geçirmek olarak tanımlanmış. Çalışmadan çıkarma kriterleri ise enfeksiyon nedeni, tümöral kökenli, travma sonrası veya nöromuskuler deformite nedeni yapılan cerrahilermiş. Tüm hastalar ya postoperatif dönemde 1 yıl takip edilmiş ya da operasyon sonrası 1 yıl içinde rod kırılması yaşayan hastalarmış. Bu hastalardan tamamen tesadüfi olarak tanı konulan ve hastaların rod kırılmasına bağlı klinik şikayeti olmayan hastalar bu çalışmaya dahil edilmemiş. Semptomatik olan hastalar ve bu şikayetlerin rod kırılmasına bağlı olabileceğine yönlendiren semptomlar ağrı, şekil bozukluğu ve cerrahi bölgede belirginlik olarak değerlendirilmiş. Çalışmaya dahil edilen hastalarda kırılan rod sayısı, rodların kırılma seviyesi, rod kırılması ile ilgili semptomları değerlendirilmiş. Hastalar operasyon sonrası 1 yıl içinde veya 1 yıl sonra rod kırılması olarak ikiye ayrılmış.

Çalışmaya 442 hasta dahil edilmiş. Bu hastalarda kullanılan rod içerikleri incelendiğinde; rodların 210'u titanyum alaşımlı, 122 si paslanmaz çelik alaşımlı, 110'u kobalt krom alaşımlı imiş. Çalışmaya alınan 442 hastadan 30 unda rod kırığı gelişmiş. Rod kırığı titanyum-paslanmaz çelik, paslanmaz çelik-kobalt krom rodlar arasında ve her üç rod karşılaştırıldığında anlamlı fark görülmemiş. Titanyum-kobalt krom rod karşılaştırıldığında ise kobalt krom rodta daha düşük kırılma oranlarında ancak önemli farklılık olmayan bir değişim varmış. Rod kırığı gelişen 30 hastanın 29 unda ilk semptom ağrı imiş. 1 hastada ise düzeltme operasyonundan sonra sagittal düzlem bozukluğu şikayeti gelişmiş. Bu hastalardan 11 tanesi ağrı şikayeti gelişmeden önce sırtında patlama sesi hissetmiş. Bu şikayetlerin gelişim anında 3 hastada boy hizasından düşme ve bir hastada öne doğru eğilme hikayesi mevcutmuş.

442 hastanın 30 unda kırılan rodlerin içerikleri incelendiğinde titanyum alaşım için %8. 6, paslanmaz çelik için %7. 4, kobalt krom için ise %2. 7 imiş. Kullanılan rod çapları incelendiğinde ise 5. 5 mm, 6 mm ve 6. 35 mm imiş. Rod kalınlığına göre kırılma oranları incelendiğinde ise 5. 5 mm rod için %7. 6, 6 veya 6. 35 mm kalınlığında rod için ise %5. 3 imiş.

Rod kırılmalarının çoğu lomber bölge veya torakolomber bileşkede meydana gelmiş. 21 hastada tek taraflı rod kırığı meydana gelirken geri kalan hastalarda iki taraflı rod kırığı meydana gelmiş. İki taraflı rod kırılması yaşayan hastaların üçünde ise rodler farklı vertebra seviyelerinde kırılmış. 30 rod kırılması yaşayan hastanın 22 tanesinde bir veya daha fazla köprü bağlantı mevcutmuş. 3 hastada rod kırığı köprü bağlantı seviyesinde gelişmiş. Bu hastaların çoğunda interbody greftleme artrodezi artırmak ve anterior kolon desteği için 1 veya daha fazla seviyede uygulanmış. Bu greftleme uygulamasına rağmen lomber interbody füzyon uygulanan 8 hastanın 6'sında ve transforaminal lomber interbody füzyon uygulanan 8 hastanın 3'ünde greft seviyesindeki rod bölgesinde kırık gelişmiş.

Cerrahi katılma kriterlerini karşılayan 442 hastanın 114'ünde pedikül subtraksiyon osteotomisi uygulanmış. Rod kırılması yaşayan 30 hastanın 18'inde pedikül subtraksiyon osteotomisi mevcutmuş. Tüm çalışma serisi incelendiğinde rod kırılması oranı %6. 8 iken PSO sonrası rod kırılma oranı %15. 8 'miş. PSO uygulanan 18 hastanın 16 'sında rod kırılması osteotomi bölgesinde veya osteotomi bölgesine bitişik noktalarda meydana gelmiş. PSO uygulanmış rod kırığı gelişen hastalarda rod içeriğik oranına bakıldığında ise krom kobalt için %7, paslanmaz çelik için %17 ve titanyum çelik için %25 olarak hesaplanmış.

Rod kırılmalarının zaman incelemesi yapıldığında ise semptomatik belirtilerin de ortaya çıktığı rod kırılma süresi ortalama süre 15. 7 aymış. Bu hastaların 19'unda (%63) ortalama 6. 4 ayda erken rod kırılması yaşanırken,11 inde (%37) 31. 8 ayla geç rod kırılması yaşanmış. PSO uygulanan hastaların çoğunda rod kırılması erken dönemde ortaya çıkmış.

Bu takiplerde rod kırılması yaşayan 30 hastanın 26 'sı revizyon cerrahisine alınmış. Tüm hastalarda rod değişimi yapıldı. Rod değişimi bazı hastalarda tamamen yapılırken bazı hastalarda konnektör yardımı veya diğer tekniklerle bölgesel olarak konnektör yardımı ile yapıldı. 7 hastada tüm cerrahi plan bu şekilde uygulandı. 5 hastada düzeltme cerrahisi için osteotomi teknikleri uygulandı, bunlardan 4'ü PSO iken 1'i çoklu Smith petersen osteotomisiymiş. 2 hastada transforaminal interbody füzyon uygulanırken, 5 hastada anterior interbody füzyon ve 5 hastada lateral interbody füzyon uygulanmış.

Bu hastaların revizyon cerrahileri de komplikasyonlar içermekteydi. Revizyon cerrahisi geçiren 26 hastanın 6 'sında 8 komplikasyon meydana gelmiş. Bunlar; 3 hastada postoperatif anemi, 1 hastada reentübasyon, 1 hastada postoperatif pleural effüzyon, 1 hastada durotomi, 1 hastada semptomatik pnömosefali ve 1 hastada ise inme imiş.

Sonuç olarak spinal deformite nedeni ile çok seviyeli posterior enstrümantasyon sonrası rod kırılma oranı %6. 8'imiş. Bu oran pedikül subtraksiyon osteotomisi uygulanan hastalarda ise %15. 8 olarak belirlenmiş. Rod kırılmalarının çoğu ilk 1 yıl içinde meydana gelmiş. Pedikül subtraksiyon osteotomisi uygulanan hastalarda kullanılan krom kobalt çubuklar, titanyum alaşım ve paslanmaz çelik alaşım rodulara göre daha az kırılma oranı göstermiş. Erken yetmezlik kırığı genellikle pedikül subtraksiyon osteotomisi uygulanan hastalarda meydana gelmiş ve bu yetmezlikler genelde osteotomi hattı ya da osteotomi hattı çevresinde oluşmuş. Çalışmaya göre postoperatif sagittal dizilim bozukluğu rod kırılma oranını artırabilir ancak bu risk faktörlerini değerlendirebilmek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

T12 ve sakrum arası vertebralar kadavra omurgasında bilgisayarlı tomografi ile taranarak 3 boyutlu görüntüleri elde edilen bir çalışmada (Januszewski et al. 2017) Yayında diğer yayınlarda önerildiği gibi (Bess et al. 2017) omurgalar için tetrahedral elementler, diskler ve bağlar için de heksahedral elementlerin kombinasyonu olan Hypermesh kullanılarak meshlenmiş. İki Çalışma grubunda osteotomiler L3

seviyesinde 25 derecelik bir Pedikül subtraksiyon osteotomisi veya L3-L4 seviyesinde 30 derece anterior kolon rezeksiyonu, interbody kafes ve Smith petersen osteotomisi içeriyormuş. Her iki vertebra modeli de T12-S1 segmenti arasında aynı derecede lordoz restorasyonuna sahipmiş. Osteotomiler 25 derece bir kama kullanılıp L3 ün tüm posterior elemanları çıkarılıp ardından osteotomi hattı kapatılarak oluşturulmuş. Test gruplarında kullanılan rodler şu şekilde kombine edilmiş; ya tek rod kullanılmış ya da uzun roda ek olarak aksesuar rod veya uzun roda bağlantısı olmayan uydu rodler kullanılmış.

Test grupları şu şekilde belirlenmiş;

1. Birinci grupta L3 seviyesinde PSO ve T12-S1 arasında L3 hariç posterior spinal enstrümantasyon (PSE) ve iki taraflı rod kullanımı,
2. İkinci grupta birinci gruptaki modele ek olarak L2-L3 arasında interbody kafes kullanımı,
3. Üçüncü grupta ikinci gruba ek olarak L2-L4 arasına aksesuar rod kullanımı
4. Dördüncü grupta ikinci gruba ek olarak L2-L4 arasına uzun roddan bağımsız olan uydu rod kullanımı
5. Beşinci grupta L3-L4 arasında anterior kolon rezeksiyonu ve T12-S1 arasında PSE ve bilateral rod kullanımı
6. Altıncı grupta beşinci gruba ek olarak L3-L4 arasında uzun roddan bağımsız olan uydu rod kullanımı

Sonuçlara göre en büyük yük gerilimi, fleksiyon yük altında PSO da görülmüş. Diğer vertebra modelleri ile karşılaştırıldığında, PSO ya interbody kafes eklenmesi rod stresini yüzde 15 oranında azaltmış. PSO ve interbody kafese aksesuar rod eklenmesi rod stresini yüzde 29 oranında azaltırken aksesuar rod yerine roddan bağımsız uydu rod kullanımı ise rod kullanımını yüzde 50 oranında azaltmış. Burdan çıkartılan sonuç 4 rodlu yapıların 2 rodlu yapılara göre daha az strese maruz kalması olmuş. Uydu rod kullanılan ve anterior kolon rezeksiyonu uygulanan modeller ile PSO ve interbody kafes ile birlikte uydu rod kullanılan modellerde rod üzerine binen stress yükleri birbirine eşit oranda bulundu.

Lateral bending kuvvetleri ölçüldüğünde ise PSO'ya göre PSO+interbody kafes ve PSO+interbody kafes ve aksesuar rod kullanımı sırasıyla %12 ve %25 oranında rod üzerine binen stress yükünü azalttığı görüldü. PSO+ interbody kafes+ uydu rod kullanımı ve anterior kolon rezeksiyonu+2 uydu rod kullanımı modellerinde rod üzerine binen yük%43 lük azalmayla birbirine eşit olarak bulunmuş.

Çalışmanın sonucuna göre pedikül subtraksiyon osteotomisi uygulanan, interbody füzyon uygulanan ve dört rod kullanılan hastalarda, pedikül subtraksiyon osteotomisi uygulanan, interbody füzyon uygulanmayan ve 2 adet rod kullanılan hastalara göre rod stresslerinde ciddi azalma görülmüş. Çalışmaya göre ayrıca anterior kolon rezeksiyonu ve dört rod kullanılan hastalarda, pedikül subtraksiyon osteotomisi uygulanmış ve dört rod kullanılmış hastalara göre daha az rod stresi olduğu yönünde görüş bildirilmiş. Bu durumun daha fazla çalışma ile desteklenmesi gerektiği de belirtilmiş.

Biz çalışmamızda 35 derece ve 65 derece osteotomi yapılan modellerde bone disk bone osteotomisi ve pedikül subtraksiyon osteotomisinin karşılaştırmasını yaptık.

Çalışmamıza göre 35 derece osteotomi yapılan modeller üzerinde uygulanan ardışık kuvvetlere karşı bone disk bone osteotomisi PSO'ne göre rodlar üzerine daha az gerilim kuvveti olduğu görülmüştür. Buna göre 35 derece düzeltme sağlanması hedeflendiğinde uygulanan bone disk bone ostetomisinde gerilim daha az olduğu ve rod üzerine binen yükün daha az olmasına bağlı hastalarda ilerleyen takiplerde rod kırılması/ fail/ revizyon cerrahilerinin daha az olabileceği öngörülmüştür.

65 derecelik osteotomiler karşılaştırıldığında ise bone disk bone osteotomisi ve pedikül subtraksiyon osteotomisi uygulanan modellerde uygulanan ardışık kuvvetlere karşı rod üzerine binen yükün birbirine eşit olduğu görüldü. Buna göre 65 derecelik düzeltme amaçlanan hastaların takiplerinde fail oranlarının değişkenlik göstermeyebileceği düşünülmektedir. Cerrahi teknik seçimi uygulanırken rod kırılması, revizyon cerrahisi gibi riskler hesaplanabileceği gibi asıl uygulanacak

tekniknin hastaya göre bireysel olarak seçilmesi gerektiği ve en önemli kriterin cerrahın teknik tecrübesinin olduğu unutulmamalıdır.

Çalışmamızında Düşük derece osteotomi yapılacak hastalarda tüm pedikül vidaların korunarak bone -disc-bone osteotomi yapılması, rod üzerinde gelebilecek kuvvetleri azalttığı görülmüştür. Bu biyomekanik çalışmaya bakıldığında düşük derece osteotomi yapılacak hastalara bone-disk-bone osteotomisi tercih edilmesini öneriyoruz.



KAYNAKLAR

- Aebi M. (2005). The adult scoliosis. *European Spine Journal*, 14(10):925-948.
- Amonoo KHS. (1992). Changes in the lumbosacral angle, sacral inclination and the curvature of the lumbar spine during aging. *Acta anatomica*, 145(4):373-7.
- Antoniades SB, Hammerberg KW, De Wald RL. (2000). Sagittal plane configuration of the sacrum in spondilolisthesis. *Spine*, 25(9):1085-91.
- Beals RK, Robbins JR, Rolfe B. (1993). Anomalies associated with vertebral malformations. *Spine*, 18(10):1329-32.
- Benzel EC. (1998). Biomechanics of Spine Stabilization. Omurga Stabilizasyonunun Biyomekaniği, Prensipleri ve Klinik Uygulama. Çeviren: Nadire S, Marmara Üniversitesi Nörolojik Bilimler Vakfı Yayınları, İstanbul. s. 3-17.
- Bess S, Harris JE, Turner AW, LaFage V, Smith JS, Shaffrey CI, Schwab FJ, Haid RW Jr. (2017). The effect of posterior polyester tethers on the biomechanics of proximal junctional kyphosis: A finite element analysis. *Journal of Neurosurgery Spine*, 26(1):125-133.
- Bridwell KH, Dewald RL. (Eds), (2011). Normal spinal anatomy: Normal sagittal plane alignment. The textbook of Spinal Surgery, 3rd ed, Williams and Wilkins
- Bridwell KH, LewisSJ, Rinella A, Lenke LG, Baldus C, BlankeK. (2004). Pedicle subtraction osteotomy for the treatment of fixed sagittal imbalance surgical technique. *The journal of Bone and Joint Surgery*, 86(Suppl 1):44-50.
- Buchowski JM, Bridwell KH, Lenke LG, Kuhns CA, Lehman RA, Kim JY, Steward D, Baldus C. (2007). Neurologic complications of lumbar pedicle subtraction osteotomy: A 10 year assesment. *Spine*, 32(20):2245-52.

- Cameron B, Andriy N, Vikas P, Christopher C, Christopher K, Evalina B. (2015). Risk factors for rod fracture after posterior correction of adult spinal deformity with osteotomy: a retrospective case-series. *Scoliosis*, 10(1):1-11.
- Carman DL, Browne RH, Birch JG. (1990). Measurement of scoliosis and kyphosis radiographs. Intraobserver and interobserver variation. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American volume*, 72(3):328-333
- Chang UK, Lim J, Kim DH. (2006). Biomechanical study of thoracolumbar junction fixation devices with different diameter dual-rod systems. *Journal of Neurosurgery: Spine*, 4(3):206-212.
- Cho KJ, Bridwell KH, Lenke GL, Berra A, Baldus C. (2005). Comparison of Smith petersen versus pedicle subtraction osteotomy for the correction of fixed sagittal imbalance. *Spine*. 30(18):2030-2037
- Cimen A. (2007). Cervical spine and pain. *Ağrı*, 19(2):13-19
- Dere F. (1992). *Klinik Anatomi*. s:276-320
- Dickson R, Bradford DS. (1984). *Management of Spinal Deformities*. No:2 Butterworth-Heinemann.
- Duval BG, Schmidt C, Cosson P. (1992). A barycentremetic study of the sagittal shape of spine and pelvis: The conditions required for an economic standing position. *Annals of Biomedical Engineering*, 20(4):451-462
- E Feldtkeller, Khan M, Heijde VD, Linden VD, Braun J. (2003). Age at disease onset and diagnosis delay in HLA-B27: Negative vs. positive patients with ankylosing spondylitis. *Rheumatology International*, 23(2):61-66.
- Enercan M, Ozturk C, Kahraman S, Sarier M, Hamzaoğlu A, Alanay A. (2003). Osteotomies /spinal column resections in adult deformity. *European Spine Journal*, 22(2):254-264.

- Erturk M, Kayaoğlu G. (2006). C7 vertebra anatomy as a guide for transpedicular screw fixation. *Med J*, 21(3):121-124.
- Farcy, Pierre CJ, Schwab FJ. (1997). Management of flatback and related kyphotic decompensation syndromes. *Spine*, 22(20):2452-2457.
- Geck M, Macagno J, Ponte A, Shufflebarger HL. (2007). The Ponte procedure: Posterior only treatment of Scheuermann's kyphosis using segmental posterior shortening and pedicle screw instrumentation. *Clinical Spine Surgery*, 20(8):586-593.
- Gokce A, Ozturkmen Y, Mutlu S, Caniklioğlu M. (2008). Spinal osteotomy: Correcting sagittal balance in tuberculous spondylitis. *Clinical Spine Surgery*, 21(7):484-8.
- Hammerberg KW. (1997). Kyphosis in the Elderly. *The Textbook of Spinal Surgery*, 2nd ed. p:1097-1107
- Hanson DS, Bridwell KH, Rhee JM, Lenke LG. (2002). Correlation of pelvic incidence with low and high grade isthmic spondylolisthesis. *Spine*, 27(18):2026-2029.
- Hardecker JW, Shuford RF, Capicotto PN, Pryor PW. (1997). Radiographic standing cervical segmental alignment in adult volunteers without neck symptoms. *Spine*, 22(13):1472-1479.
- Harrison DD, Janik TJ, Troyanovich SJ, Holland B. (1996). Comparison of lordotic cervical spine curvatures to a theoretical ideal model of the static sagittal cervical spine. *Spine*, 21(6):667-675.
- Harrison DE, Harrison DD, Caillet R, Troyanovich SJ, Janik T, Holland B. (2000). Cobb method or Harrison posterior tangent method: Which to choose for lateral cervical radiographic analysis. *Spine*, 25(16):2072-2078.

- Hedequist DJ, Hall JE, Emans JB. (2004). The safety and efficacy of spinal instrumentation in children with congenital spine deformities. *Spine*, 29(18):2081-2086.
- Holewijn RM, Schlösser TP, Bisschop A, Van Der Veen AJ, Stadhouders A, Van Royen BJ, Castelein RM, Kleuver MD. (2015). How does spinal release and Ponte osteotomy improve spinal flexibility? The law of diminishing returns. *Spine Deformity*, 3(5):489-495.
- Horton WC, Brown CW, Bridwell KH, Glassman SD, Suk SL, Cha CW. (2005). Is there an optimal patient stance for obtaining a lateral 360 degree radiograph?: A critical comparison of three techniques. *Spine*, 30(4):427-433.
- Hyun SJ, Lenke LG, Kim YC, Koester LA, Blanke KM. (2014). Comparison of standard 2-rod constructs to multiple-rod constructs for fixation across 3-column spinal osteotomies. *Spine*, 39(22):1899-1904.
- Januszewski J, Beckman JM, Harris JE, Turner AW, Yen CP, Uribe JS. (2017). Biomechanical study of rod stress after pedicle subtraction osteotomy versus anterior column reconstruction: A finite element study. *Surgical Neurology International*.
- Kapandji LA, (2007); The physiology of the Joints Volume 1, 2007.
- Kim KT, Suk KS, Cho YJ, Hong GP, Park BJ. (2002). Clinical outcome results of pedicle subtraction osteotomy in ankylosing spondylitis with kyphotic deformity. *Spine*, 27(6):612-618.
- Kim NH, Lee HM, Chun IM. (1999). Neurologic injury and recovery in patients with burst fractures of the thoracolumbar spine. *Spine*, 24(3):290-293.
- Lee GA, Betz RR, Clements DH, Huss GK. (1999). Proximal kyphosis after posterior spinal fusion in patients with idiopathic scoliosis. *Spine*, 24(8):795-799.

- Lee KS, Moon MS. (1993). The effect of multilevel laminectomy on the cervical spine of growing cats. An experimental study. *Spine*, 18(3):359-363.
- Lowe TG, Kasten MD. (1994). An analysis of sagittal curves and balance after Cotrel-Dubousset instrumentation for kyphosis secondary to Scheuermann's disease. *Spine*, 19(15):1680-1685.
- Lowe TG. (1999). Scheuermann's disease. *Orthopedic Clinics of North America*, 30(3):475-485.
- Malcolm BW, Bradford DS, Winter RB, Chou SN. (1981). Posttraumatic kyphosis: A review of forty-eight surgically treated patients. *J Bone Joint Surg*, 63(A):891-899.
- Moore KL. (1992). *Clinically Oriented Anatomy*. 3rd ed. Williams and Wilkins, Baltimore, p. 323-372.
- Netter F. (2010). *Atlas of Human Anatomy*. 6nd ed. p. 155.
- Putz R, Pabst R. (1994). *Sobotta*. 20nd ed. Munich, p. 1-47.
- Scheer JK, Tang JA, Deviren V, Buckley JM, Pekmezci M, McClellan RT, Ames CP. (2011). Biomechanical analysis of revision strategies for rod fracture in pedicle subtraction osteotomy. *Neurosurgery*, 69(1):164-172.
- Shah SA, Takemitsu M, Westerlund LE, Albert T. (2006). Pediatric kyphosis: Scheuermann's disease and congenital deformity. In: *Rothman-Simeone The Spine*, Herkowitz HN, Garfin SR; Bell GR, Eismont FJ, Balderston RA, 5nd ed, p. 565-85.
- Shimode M, Kojima T, Sowa K. (2002). Spinal wedge osteotomy by a single posterior approach for correction of severe and rigid kyphosis or kyphoscoliosis. *Spine*, 27(20):2260-2267.
- Shufflebarger HL, Clarck CE. (1992). Toracolumbar osteotomy for postsurgical sagittal imbalance. *Spine*, 17(Suppl 8):S287-290.

- Smith JS, Shaffrey CI, Ames CP, Demakakos J, Fu KMG, Keshavarzi S, Carol MY, Deviren V, Schwab FJ, Lafage V, Bess S. (2012). Assessment of symptomatic rod fracture after posterior instrumented fusion for adult spinal deformity. *Neurosurgery*, 71(4):862-868.
- Stagnara P, DeMauroy JC, Dran G, Gonan GP, Costanzo G, Dimmet J, Pasquet A. (1982). Reciprocal angulation of vertebral bodies in a sagittal plane: approach to references for the evaluation of kyphosis and lordosis. *Spine*, 7(4):335-342.
- Stokes IA, (1994). Three-dimensional terminology of spinal deformity. *Spine*, 19(2):236-248.
- Suk SI, Chung ER, Kim JH, Kim SS, Lee JS, Choi WK. (2005). Posterior vertebral column resection for severe rigid scoliosis. *Spine*, 30(14):1682-1687.
- Şar C. (2002). Lomber Omurganın Anatomisi, Biyomekaniği ve Biyokimyası. İçinde: *Bel ağrısı Tanı ve Tedavi*, Özcan E, 1. baskı, Nobel kitabevi, İstanbul. s. 9-14.
- Thompson JC. (2002). Netter's Concise Atlas of Orthopaedic Anatomy. USA, p. 1-42.
- Vedantam R, Lenke LG, Bridwell KH, Linville DL, Blanke K. (2000). The effect of variation in arm position on sagittal spinal alignment. *Spine*, 25(17):2204-2209.
- Vedentam R, Lenke LG, Keeny JA, Bridwell KH. (1988). Comparison of standing sagittal spinal alignment in asymptomatic adolescents and adults. *Spine*, 23(2):211-215.
- Vialle R, Levassor N, Rillardon L, Templier A, Skalli W, Guigui P. (2005). Radiographic analysis of the sagittal alignment and balance of the spine in asymptomatic subject. *JBJS*, 87(2):260-267.
- Voutsinas SA, MacEwen GD. (1986). Sagittal profiles of the spine. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, (210):235-242.

Wang MY, Berven SH. (2007). Lumbar pedicle subtraction osteotomy. *Operative Neurosurgery*, 60(Suppl 2):140–146.

White AA, Panjabi MM. (1990). Lippincott: Clinical Biomechanics of the Spine, 2nd ed. Philadelphia.

Xu GJ, Li ZJ, Ma JX, Zhang T, Fu X, Ma XL. (2013). Anterior versus posterior approach for treatment of thoracolumbar burst fractures: A meta-analysis. *European Spine Journal*, 22(10):2176–2183.

Zdeblick TA, Cooke ME, Wilson D, Kunz DN, McCabe R. (1993). Anterior cervical discectomy, fusion and plating. A comparative animal study. *Spine*, 18(14):1974-1983.