

**T.C.**  
**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**TIP FAKÜLTESİ**  
**BEYİN VE SİNİR CERRAHİSİ ANABİLİM**  
**DALI**



**ATLAYARAK LAMİNEKTOMİ İLE LAMİNOPLASTİNİN ALT  
SERVİKAL VERTEBRADA BİYOMEKANİK OLARAK  
KARŞILAŞTIRILMASI**

**MERT ARSLAN**

**ORCID:0000-0001-6540-6771**

**BEYİN VE SİNİR CERRAHİSİ**  
**ANABİLİM DALI UZMANLIK TEZİ**

**İZMİR-2024**

**T.C.**  
**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**TIP FAKÜLTESİ**  
**BEYİN VE SİNİR CERRAHİSİ ANABİLİM**  
**DALI**



**ATLAYARAK LAMİNEKTOMİ İLE LAMİNOPLASTİNİN ALT**  
**SERVİKAL VERTEBRADA BİYOMEKANİK OLARAK**  
**KARŞILAŞTIRILMASI**

**MERT ARSLAN**

**ORCID:0000-0001-6540-6771**

**BEYİN VE SİNİR CERRAHİSİ**

**ANABİLİM DALI UZMANLIK TEZİ**

**TEZ DANIŞMANI: DOÇ.DR. MURAT YILMAZ**

**ORCID: 0000-0002-2912-0386**

**İZMİR-2024**

## İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	i
TEŞEKKÜR.....	iii
KISALTMALAR.....	iv
TABLolar DİZİNİ .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
GRAFİKLER DİZİNİ.....	vii
RESİMLER DİZİNİ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT .....	xi
<b>1. GİRİŞ VE AMAÇ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. GENEL BİLGİLER.....</b>	<b>3</b>
2.1. TARİHÇE .....	3
2.1.1. Servikal Omurgaya Yönelik Cerrahi Girişimlerin Tarihçesi .....	3
2.1.2 Omurga Biyomekaniğinin Tarihçesi .....	5
2.2. ANATOMİ .....	6
2.2.1. Servikal Vertebraların Anatomisi .....	9
2.2.2. Servikal Omurga Biyomekaniksel Anatomisi .....	15
2.3. PATOGENEZ.....	22
2.3.1. Servikal Spondiloz Patogenezi .....	22
2.3.2. Servikal Miyelopati Patogenezi.....	23
2.3.2.1 Statik Faktörler .....	24
2.3.2.2. Dinamik Faktörler .....	25
2.3.2.3. İskemik Faktörler .....	26
2.3.2.4. Moleküler Faktörler .....	26
2.4. SERVİKAL MYELOPATİDE KLİNİK BELİRTİLER .....	28
2.5. SERVİKAL MYELOPATİDE GÖRÜNTÜLEME .....	30
2.6. SERVİKAL MYELOPATİDE TEDAVİ .....	31
2.7. SERVİKAL SPİNAL KANALI GENİŞLETİCİ POSTERİOR CERRAHİ GİRİŞİMLER .....	31
2.7.1. Hemilaminektomi.....	32
2.7.2. Laminektomi .....	35
2.7.3. Laminektomi Ve Füzyon .....	36
2.7.4. Laminoplasti .....	39

2.7.5. Atlayarak Laminektomi (Skip Laminectomy).....	41
<b>3. MATERYAL VE METOD .....</b>	<b>46</b>
3.1. Cerrahi İşlemler .....	48
3.2. Biyomekanik Testler .....	50
3.3. İstatistiksel Analiz .....	56
<b>4. BULGULAR.....</b>	<b>577</b>
<b>5. TARTIŞMA .....</b>	<b>655</b>
<b>6. SONUÇ.....</b>	<b>699</b>
<b>7. EKLER.....</b>	<b>70</b>
7.1. Ek-1: Etik Kurul Onayı .....	70
<b>8. KAYNAKÇA .....</b>	<b>71</b>

## TEŞEKKÜR

Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Nöroşirürji Anabilim Dalı'nda tıpta uzmanlık eğitimim boyunca ve uzmanlık tezimin her aşamasında benden kıymetli bilgilerini esirgemeyen ve yol gösteren saygıdeğer tez danışmanım Doç. Dr. Murat Yılmaz'a teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca tecrübeleri ve bilgileriyle bana bu zorlu yolda ışık tutan, hekimlik sanatının ve cerrahinin inceliklerini bana öğreten; emekli hocamız Prof. Dr. Nuri Arda ile saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. R. Serhat Erbayraktar, Prof. Dr. Burak Sade, Prof. Dr. Ercan Özer, Prof. Dr. Hülagü Kaptan, Prof. Dr. Nail Özdemir, Doç. Dr. H. Selim Karabekir, Doç. Dr. Murat Yılmaz, Doç. Dr. Orhan Kalemci, Dr. Öğr. Üyesi Koray Ur'a, uzmanlık eğitimim süresince hem akademik hem sosyal alanlarda bilgi ve birikimiyle her zaman desteğini hissettiğim, Doç. Dr. Ceren Kızmazoğlu'na teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Birlikte çalışma ve öğrenme fırsatı bulduğum, zorlu asistanlık sürecini birlikte geçirdiğim değerli ağabeylerim ve doktor arkadaşlarım Uzm. Dr. M. Furkan Yüzbaşı, Uzm. Dr. Ali Osman Muçuoğlu, Uzm. Dr. R. Saygın Altınağ, Uzm. Dr. F. Oğuzhan Durak, Uzm. Dr. Ege Coşkun, Uzm. Dr. Aibek Erkibaev, Uzm. Dr. Beyza Alkış Akdağ, Uzm. Dr. Ilgar Binnat, Uzm. Dr. Ersin İkizoğlu, Uzm. Dr. Can Şensöğüt, Dr. Salih Arslan, Dr. R. Deniz Aydeniz, Dr. N. Ömer Erişik, Dr. H. Mine Şahin, Dr. Oğuzhan Çakal, Dr. Anıl Can Küçüksözen, Dr. Ege Turan, Dr. H. Sina Yiğitsoy, Dr. İlayda Okşak'a, birlikte çalıştığım ve çok büyük yardımlarını gördüğüm tüm servis, ameliyathane hemşire ve personellerine teşekkür ederim.

Uzmanlık tezimin için biyomekanik laboratuvarında gerçekleştirdiğim deneylerde büyük katkıları olup uzmanlık tezimde emeği olan Reşat Buğra Hüsemoğlu'na teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim hayatım ve yoğun ihtisas eğitimim boyunca bana göstermiş oldukları destek, güven ve sabırları için çok kıymetli annem Hafize Arslan, babam Nihat Arslan, kardeşim Taner Arslan ve sevgili eşim Ecem İnce Arslan'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Dr. Mert Arslan

2024

## KISALTMALAR

**MÖ:** Milattan Önce

**MS:** Milattan Sonra

**FSÜ:** Fonksiyonel spinal ünite

**ROM:** Range Of Motion

**EHA:** Eklem Hareket Aralığı

**IAR:** Instantaneous Axis Of Rotation

**RAE:** Rotasyonun Anlık Ekseni

**SSM:** Servikal Spondilolitik Miyelopati

**PLL:** Posterior Longitudinal Ligament

**DISH:** Diffuse İdiopathic Skeletal Hyperostosis

**MJOA:** Modified Japanese Orthopedic Association- Modifiye Japon Ortopedi Birliği

**MR:**Manyetik Rezonans Görüntüleme

**BT:**Bilgisayarlı Tomografi

**SSC:** Semispinalis Cervisis

**MF:** Multifidus

**IQR:** Çeyrekler Açıklığı

**ANOVA:** Analiz of Variance- Varyans Analizi

**mm:** Milimetre

**N:** Newton

**Nm:** Newton-metre

**VAS:** Vizüel Analog Skala

**BMD:** Kemik mineral yoğunluğu

**DEXA:** Çift enerjili radyografi absorpsiyometrisi

## TABLolar DİZİNİ

**Tablo-1:** Servikal Omurganın Hareket Segmentlerindeki ROM Miktarı

**Tablo-2:** Modified Japanese Orthopedic Association Score- Modifiye Japon Ortopedi Birliği Skoru

**Tablo-3:** Nurick Skalası

**Tablo-4:** Gruplara ait yer değiştirme miktarının(mm) ortalama ve standart sapma değerlerine göre zet tanımlayıcı tablo

**Tablo-5:** Gruplara ait yer değiştirme miktarının(mm) medyan ve çeyrekler arası aralık değerlerine göre zet tanımlayıcı tablo

**Tablo-6:** Gruplara ait p değerlerine göre zet tanımlayıcı tablo

**Tablo-7:** Grup 1 ve 2'nin Mann-Whitney U testi ile hesaplanan p değerlerini gösteren tanımlayıcı tablo

**Tablo-8:** Grup 1 ve 3'n Mann-Whitney U testi ile hesaplanan p değerlerini gösteren tanımlayıcı tablo

**Tablo-9:** Grup 2 ve 3'n Mann-Whitney U testi ile hesaplanan p değerlerini gösteren tanımlayıcı tablo

## ŞEKİLLER DİZİNİ

**Şekil-1:** Columna Vertebralis

**Şekil-2:** Columna Vertebralis' in Sagittal Plan Görüntüsü

**Şekil-3:** Atlas Vertebranın Görünümü

**Şekil-4:** Aksis Vertebranın Görünümü

**Şekil-5:** C7 ve Diğer Servikal Vertebraların Görünümü

**Şekil-6:** İntervertebral Diskin Yapısı

**Şekil-7:** İntervertebral Diskin İnnervasyonu

**Şekil-8:** Fonksiyonel Spinal Ünite

**Şeki-9:** Yük Ve Deformasyona Yanıt Eğrisi

**Şekil-10:** Anlık Rotasyon Ekseninin Merkezde Olduğu Kartezyen Koordinat Sistemi

**Şekil-11:** Servikal Vertebralarda Rotasyonun Anlık Ekseninin Şematik Görünümü

**Şekil-12:** OPLL Sınıflamasının Şematik Görünümü

**Şekil-13:** Dejeneratif Servikal Miyelopatide Servikal Omurga Ve Omurilikte Meydana Gelen Karakteristik Patolojik Değişikliklerin Gösterimi

**Şekil-14:** Tek Taraflı Hemilaminektominin Cerrahi Prosedürünü Gösteren Diyagramlar

**Şekil-15:** Laminektominin Cerrahi Prosedürünü Gösteren Diyagramlar

**Şekil-16:** Yan Kitle (Lateral Mass) Vidalamasının Cerrahi Prosedürünü Gösteren Diyagramlar

**Şekil-17:** Servikal Omurganın Lamina ve Lateral Kitlelerin Açığa Çıktığı ve Vidaların Yerleştirildiği Arka Görünümü

**Şekil-18:** Modifiye Açık Kapı Laminoplasti İçin Ameliyat Tekniğini Gösteren Çizimler (Open-Door)

**Şekil-19:** Çift Açık Kapı Laminoplasti (French-Door)

**Şekil-20:** Atlayarak Laminektomide Servikal Omurganın Lateral Ve Posterior Yönlerinin Şematik Çizimi

**Şekil-21:** Lamina ve Ligamentum Flavumun Yarisını Açığa Çıkaran İnce Spatula Şeklinde Bir Ekartör İle Her Bir İnterspinöz Aralıkta Sağ Ve Sol Derin Ekstansör Kaslar Arasındaki Orta Hattaki Aralığı Gösteren Şematik Çizim

**Şekil-22:** Kemik mineral yoğunluğunun (BMD) çift enerjili radyografi absorpsiyometrisi (DEXA) ile ölçüm

## GRAFİKLER DİZİNİ

**Grafik-1:** Sağ ve Sol Yana Eğilmeye Ait Yer Değiş-tirmelerin Ortalama ve Standart Sapma Değerleri

**Grafik-2:** Fleksiyon ve Ekstansiyona Ait Yer Değiş-tirmelerin Ortalama ve Standart Sapma Değerleri

**Grafik-3:** Aksiyel Rotasyona Ait Yer Değiş-tirmelerin Ortalama ve Standart Sapma Değerleri



## RESİMLER DİZİNİ

**Resim-1:** Operasyon uygulanmamış kontrol grubundan bir piyes örneği

**Resim-2:** Laminoplasti operasyonu uygulanmış piyes örneği

**Resim-3:** Atlayarak laminektomi operasyonu uygulanmış piyes örneği

**Resim-4:** Piyelerin elektromekanik aktüatör üzerindeki görünümü

**Resim-5:** Kontrol grubu piyesin fleksiyon testi

**Resim-6:** Atlayarak laminektomi grubu piyesin ekstansiyon testi

**Resim-7:** Atlayarak laminektomi grubu piyesin sol yana eğilme testi

**Resim-8:** Laminoplasti grubu piyesin aksiyal rotasyon testi ve kontrol grubu piyesin aksiyal rotasyon testi sırasındaki görünümü

# ATLAYARAK LAMİNEKTOMİ İLE LAMİNOPLASTİNİN ALT SERVİKAL VERTEBRADA BİYOMEKANİK OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI

Mert Arslan

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ

Beyin ve Sinir Cerrahisi Anabilim Dalı

## ÖZET

**Giriş ve Amaç:** Servikal vertebralarda görülen spondiloz, posterior longitudinal ligamanın ossifikasyonu, travma, tümörler, enfeksiyonlar ve çok düzeyli servikal spondilolitik miyelopati (SSM) gibi çeşitli patolojik süreçlerin tedavisinde çeşitli posterior cerrahi girişimler uygulanmaktadır. Bu cerrahi girişimlerde temel amaç omurilik üzerindeki basıyı kaldırmak ve mekanik stabiliteyi korumaktır. Laminoplasti, omurga kanalının stabilitesini sağlamayı ve invazyonu en aza indirmeyi amaçlayan bir tekniktir. Atlayarak yapılan posterior servikal laminektomi ise daha az invaziv olup, metal implant kullanılmadığı için daha ekonomik bir yöntemdir. Bu çalışmanın amacı, servikal omurga cerrahisinde kullanılan iki farklı cerrahi tekniğin –atlayarak laminektomi ve laminoplasti– biyomekanik etkinliğini karşılaştırmak ve bu bilgiler ışığında klinik uygulamalara katkı sağlamaktır.

**Materyal ve Metot:** Çalışmada 28 adet taze koyun kadavra servikal omurgası kullanılmıştır. Daha sonra 7 adet numune maksimal yüklenme düzeyinin ve elastik bölgenin saptanması için kullanıldı. Geri kalan numuneler rastgele seçilerek üç grup oluşturulmuştur: kontrol grubu (operasyon uygulanmamış) (Grup 1), laminoplasti operasyonu uygulanan grup (Grup 2) ve atlayarak laminektomi operasyonu uygulanan grup (Grup 3). Her gruptaki omurgalara elektromekanik aktüatör ile (10 kN AG-X; Shimadzu, Kyoto, Japan) sağ yana eğilme, sol yana eğilme, fleksiyon, ekstansiyon ve aksiyel rotasyon hareketleri uygulanmış ve bu hareketler sırasında uygun kuvvetler altında omurgada meydana gelen yer değiştirme miktarları hassas ölçüm cihazları ile kaydedilmiş ve istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Verilerin normal dağılım gösterip göstermediği Kolmogorov-Smirnov testi ile kontrol edilmiştir. Normal dağılım gösteren veriler için Tek Yönlü ANOVA testi, normal dağılım göstermeyen veriler için ise Kruskal Wallis testi kullanılmıştır.

**Bulgular:** Grup 1'de (kontrol grubu) sağ yana eğilme, sol yana eğilme, fleksiyon, ekstansiyon ve rotasyon hareketlerindeki yer değiştirme miktarlarının ortalama ve standart sapması sırasıyla  $1.32\pm 0.6$ ,  $1.46\pm 0.77$ ,  $0.99\pm 0.67$ ,  $1.51\pm 0.74$  ve  $26.6\pm 6.60$  mm olarak ölçülmüştür. Laminoplasti operasyonu geçiren Grup 2'de bu değerler sırasıyla  $1.63\pm 0.74$ ,  $1.83\pm 0.99$ ,  $1.17\pm 0.18$ ,  $1.84\pm 0.65$  ve  $29.1\pm 4.32$  mm; atlayarak laminektomi operasyonu geçiren Grup 3'te ise sırasıyla  $1.90\pm 0.82$ ,  $2.03\pm 0.59$ ,  $1.10\pm 0.36$ ,  $1.80\pm 1.18$  ve  $28.6\pm 5.86$  mm olarak bulunmuştur. Gruplar arasında anlamlı bir fark saptanmamıştır.

**Sonuç:** Literatürde atlayarak laminektomi ve laminoplasti tekniklerinin klinik etkinlikleri açısından birbirlerine alternatif tedavi yöntemleri olarak kullanılabilirdiği görülmüştür. Çalışmamızda laminoplasti ve atlayarak laminektomi cerrahi tekniklerinin biyomekanik performans açısından istatistiksel olarak birbirine üstünlük sağlamadığını göstermektedir. Bu sonuçlar, cerrahi tekniklerin klinik uygulamalarında daha esnek bir yaklaşım benimsenebileceğini ve her iki yöntemin de geçerli alternatifler sunduğunu göstermektedir. Cerrahin klinik tecrübesi ve uygun endikasyonlar ışığında her iki tekniğin de servikal spinal kanalı daraltan patolojik durumların tedavisinde kullanılabilirdiğini göstermektedir. Atlayarak laminektomi, laminoplastiye biyomekanik açıdan alternatif bir tedavi yöntemi olarak kullanılabilir. Bununla birlikte, daha geniş kapsamlı biyomekanik ve klinik çalışmalara ihtiyaç vardır.

**Anahtar Kelimeler:** Atlayarak laminektomi, Laminoplasti, Biyomekanik

**Danışman:** Doç. Dr. Murat Yılmaz

# COMPARISON OF BIOMECHANICAL EFFECTS OF SKIP LAMINECTOMY AND LAMINOPLASTY IN LOWER CERVICAL VERTEBRAE

Mert Arslan

DOKUZ EYLUL UNIVERSITY FACULTY OF MEDICINE

Department of Neurosurgery

## ABSTRACT

**Introduction and Aim:** Various posterior surgical interventions are applied in the treatment of pathological processes such as spondylosis in cervical vertebrae, ossification of the posterior longitudinal ligament, trauma, tumors, infections, and multilevel cervical spondylotic myelopathy (CSM). The primary objective of these surgical interventions is to relieve pressure on the spinal cord and maintain mechanical stability. Laminoplasty is a technique designed to ensure the stability of the spinal canal while minimizing invasion. Posterior cervical skip laminectomy, on the other hand, is a less invasive and more economical method as it does not require the use of metal implants. This study aims to compare the biomechanical efficacy of two different surgical techniques used in cervical spine surgery – skip laminectomy and laminoplasty – and contribute to clinical applications based on these findings.

**Materials and Methods:** In this study, 28 fresh sheep cadaver cervical spines were utilized. Subsequently, 7 samples were used to determine the maximal load level and the elastic region. The remaining samples were randomly divided into three groups: control group (no surgery) (Group 1), laminoplasty group (Group 2), and skip laminectomy group (Group 3). Each group's spines were subjected to right lateral bending, left lateral bending, flexion, extension, and axial rotation movements using an electromechanical actuator (10 kN AG-X; Shimadzu, Kyoto, Japan). During these movements, the displacement amounts under appropriate forces were recorded with precise measurement devices and statistically compared. The normality of the data distribution was checked using the Kolmogorov-Smirnov test. One-way ANOVA was used for normally distributed data, and the Kruskal-Wallis test was used for non-normally distributed data.

**Results:** In Group 1 (control group), the mean and standard deviation of displacement amounts for right lateral bending, left lateral bending, flexion, extension, and rotation movements were measured as  $1.32\pm0.6$ ,  $1.46\pm0.77$ ,  $0.99\pm0.67$ ,  $1.51\pm0.74$ , and  $26.6\pm6.60$  mm, respectively. In Group 2 (laminoplasty), these values were  $1.63\pm0.74$ ,  $1.83\pm0.99$ ,  $1.17\pm0.18$ ,  $1.84\pm0.65$ , and  $29.1\pm4.32$  mm, respectively. In Group 3 (skip laminectomy), the values were  $1.90\pm0.82$ ,  $2.03\pm0.59$ ,  $1.10\pm0.36$ ,  $1.80\pm1.18$ , and  $28.6\pm5.86$  mm, respectively. No significant differences were found between the groups.

**Conclusion:** The literature indicates that skip laminectomy and laminoplasty can be used as alternative treatment methods in terms of clinical effectiveness. Our study demonstrates that the biomechanical performance of laminoplasty and skip laminectomy surgical techniques does not statistically surpass one another. These results suggest that a more flexible approach can be adopted in the clinical application of these surgical techniques and that both methods offer valid alternatives. The findings indicate that both techniques can be used in the treatment of pathological conditions causing cervical spinal canal stenosis, depending on the surgeon's clinical experience and appropriate indications. Skip laminectomy can be considered a biomechanically viable alternative to laminoplasty. However, more comprehensive biomechanical and clinical studies are needed.

**Key words:** Skip laminectomy, Laminoplasty, Biomechanics

**Advisor:** Assoc. Prof. Dr. Murat Yılmaz

## 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Servikal vertebralarda görülen servikal spondiloz, posterior longitudinal ligamanın ossifikasyonu, travma, tümörler, enfeksiyonlar ve çok düzeyli servikal spondilolitik miyelopati (SSM) gibi çeşitli patolojik süreçlerin tedavisinde, servikal spinal kanalı genişletici çeşitli posterior cerrahi girişimler uygulanmaktadır. Bu cerrahi girişimlerde en temel amaç omurilik üzerindeki basıyı kaldırmak için yeterli dekompresyonun sağlanması ve bunu yaparken mekanik stabilitenin korunmasıdır. Posterior cerrahi yaklaşımda hemilaminektomi, laminektomi, laminektomi ve füzyon, laminoplasti ve atlayarak laminektomi (skip laminectomy) gibi tekniklerinden kullanılabilir. Özellikle servikal dejeneratif hastalıklarda hangi cerrahi yöntemin seçileceği çok önemli bir konudur. Çok sayıdaki cerrahi yöntemler hastanın patolojisine göre tek tek irdelenerek uygulanmalıdır. Yüksek hızlı matkapların kullanılmaya başlanması, sinir dokusunun hassas ve güvenli bir şekilde dekompresyonuna olanak sağlamıştır.

Bu cerrahi tekniklerden laminoplasti ve atlayarak laminektomi (skip laminectomy) sıklıkla tercih edilmektedir. Bu iki cerrahi yaklaşımın klinik sonuçlarıyla ilgili literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır.

Laminoplasti tekniği; spinal kanalı genişletirken oluşabilecek mekanik stabilite kaybı ve özellikle kifotik deformite nedeniyle olduğuna inanılan postoperatif nörolojik bozulmayı minimize etmek için geliştirilmiştir. Laminoplasti, genişlemiş omurga kanalının stabilitesini sağlamayı ve kas ve bağ yapılarına yönelik invazyonu en aza indirmeyi amaçlayan bir tekniktir(1,2). Laminoplastinin sağladığı posterior elemanların korunmasının postlaminektomi kifoz insidansını azaltmaya yardımcı olduğu ve yeniden yapılandırılan omurga için sertlik sağladığı düşünülmüştür (3).

Atlayarak yapılan posterior servikal laminektomi tekniği, diğer tekniklere göre daha az invaziv olup metal implant kullanılmadığından dolayı daha ekonomik bir yöntemdir (4). Atlayarak laminektomide amaç enstrümantasyon cerrahisi olmadan servikal mobilite ve stabiliteyi korurken yeterli omurilik dekompresyonunu sağlamaktır. Yapılan işlem itibarıyla aynı amaca hizmet ettiği ve klinik çalışmalarda etkinliği gösterildiği ifade edilirken, son yıllarda birçok merkezde bu cerrahinin uygulandığı aktarılmaktadır (5). Yapılan birtakım klinik çalışmalar, atlayarak yapılan

posterior servikal laminektomi tekniğinin diğer tekniklere üstünlüğünü açıkça ortaya koymuştur (6). Bu iki yaklaşımın klinik sonuçları ile ilgili literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (5,7–9). Dünya literatüründe bugüne dek bu iki cerrahi tekniği karşılaştıran yapılmış deneysel biyomekanik çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle, yapılan deneylerin koyun servikal omurları üzerinde gerçekleştirilmesiyle, cerrahi tekniklerin biyomekanik açıdan değerlendirilmesine katkı sağlayacağı belirtilmektedir.

Araştırmanın amacı posterior servikal cerrahide sık kullanılan iki cerrahi teknik olan atlayarak laminektomi ve laminoplastinin biyomekanik olarak üstünlüklerine karşılaştırmak ve bu durumla ilgili olarak literatüre katkı sağlamaktır.



## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. TARİHÇE

#### 2.1.1. Servikal Omurgaya Yönelik Cerrahi Girişimlerin Tarihçesi

Omurga bozukluklarının cerrahi tedavisine ilişkin ilk kanıtlar yaklaşık milattan önce (MÖ) 1500 yılına kadar uzanmaktadır. Mısır dönemi anatominin anlaşılmasına yardımcı olmuştur. Erken Mısır (MÖ 1550), Yunan, Roma ve Arap tıp metinlerinde omurga rahatsızlıklarının tedavisine yönelik çabalar görülmekle birlikte, genellikle nihilist bir yaklaşım hâkim olmuştur (10).

Eski Mısır'ın en eski ve en önemli tıbbi papirüslerinden biri olarak kabul edilen Ebers Papirüsü (MÖ 1550), omurganın ve özellikle de hiyeroglif dilinde Djed olarak adlandırılan omuriliğin anatomisi hakkındaki bilgileri artırmak için yapılan diseksiyonları rapor etmektedir(11,12).

Yunan ve Bizans dönemi klinik semptomların tanımlanmasını sağlamış ve laminektomi gibi teknikler tarif edilmiştir. Genel olarak, 'primum non nocere' (önce zarar verme) ilkesi altında konservatif bir yaklaşım önerilmiştir (13). Yunan kökenli Romalı bir hekim olan Bergamalı Galen (MS 129-210) omuriliğin farklı seviyelerde kesildiği deneyler yapmış ve üst servikal bölgedeki lezyonların diyafram ve solunum kasları da dahil olmak üzere lezyon seviyesinin altında his ve hareket kaybına neden olduğunu kaydetmiştir (14).

Bizans döneminde Aegineta'lı Paulus (MS 625-690) omurilik dekompresyonu tekniğini de geliştirmiş ve diğer cerrahları bu tür ameliyatları yapmaya ikna etmiştir (15,16). Arap/İslam dönemi, birçok eserin tercüme edildiği ve zenginleştirildiği, bazı tekniklerin ve aletlerin geliştirildiği bir geçiş dönemiydi.

Omurga hastalıklarının karmaşıklığı ve antiseptik, anestezi ve iyi aletlerin yokluğu cerrahları omurga üzerinde ameliyat yapmaktan caydırmıştır. Omurga cerrahisinin modern gelişimi on dokuzuncu yüzyılda, antisepsi, anestezi ve uygun nörolojik muayenenin kullanılmaya başlanmasından sonra başlamıştır (13) Andreas Vesalius (MS 1514-1564) omurga ve omurlar arası diski tanımlamış ve Giovanni Morgagni (MS 1682-1771) omurilik üzerindeki baskının alt ekstremitelerde felce neden olabileceğini bildirmiştir (17).

1838 yılında Key, spondilolitik değişimlerin omuriliği sıkıştırabileceği hakkında ilk işaretleri verdi(18).1901 yılında Sir Victor Horsley, ilerleyici servikal spondilolitik miyelopatisi olan bir hastaya C6 seviyesinde laminektomi yaparak posterior dekompresyonun temellerini attı. Bu girişim, Scoville, Kahn, Fager ve diğer cerrahlar tarafından modifiye edildi ve 1950'lerin sonuna kadar yaygın bir şekilde uygulandı (19). Charles Elsberg 1925 yılında servikal bir disk posterior yaklaşımla çıkaran ilk cerrahlardan biriydi (17).

1940'ların ortalarında, Stookey, servikal disk protrüzyonunun miyelopati, radikülopati ve radikülomyelopatiye yol açabileceğini bildirdi. Ancak servikal spondilozun cerrahi tedavisi 1950'lere kadar sistematik bir şekilde uygulanmadı ve bu dönemde laminektomi ve foraminotomi gibi yöntemler tercih edilen yaklaşımlardı (20).1952'de Bailey ve Badgley, servikal travma için anterior yaklaşımı geliştirdiler (21). 1955 yılında Smith ve Robinson, güvenilir bir füzyon tekniği geliştirerek servikal kolonun hareketli segmentini stabilize ettiler. Bu dönemde anterior diskektomi ve füzyon uygulamaları yaygınlaşmaya başladı (22).

Servikal omurgaya anterior yaklaşımların geliştirilmesi, büyük ölçüde vertebra gövdesine ve intervertebral disk aralığına posterior yaklaşımların içerdiği risklerin fark edilmesiyle başlamıştır. Cerrahi tekniklerdeki gelişmeler ve daha iyi aydınlatmalı mikroskop kullanımı anterior yaklaşımları daha güvenli ve uygulanabilir hale getirmiştir. Anterior yaklaşımlar, omurilikte herhangi bir manipülasyon olmaksızın diskin çıkarılmasına ve interbody füzyona izin verir. Bu teknik günümüzde hala kullanılmakta ve birçok omurga cerrahı tarafından takdir edilmektedir. Cloward 1958 yılında bu tekniği modifiye ederek interbody füzyonu sağlamak için enstrümantasyon kullanımını bildirmiştir (23). 1960'ta Hirsch, anterior servikal diskektomide füzyonsuz bir yöntemi tanımladı (24). 1964'te Bohler, anterior servikal füzyonda metal plak ve vida kullanılmasını önerdi. Bu dönemde anterior cerrahi işlemler hızla gelişti ve daha fazla yenilik getirildi (25).Cerrahlar, kompresyon kuvvetlerini absorbe etmedeki önemi nedeniyle posterior elemanlar yerine vertebra gövdesini ele almak zorunda kalmıştır. Biyomekanik yönlere giderek daha fazla odaklanması, normal diskin esnekliğini taklit edebilecek ve omurganın hareket kabiliyetini koruyabilecek yeni sistemler geliştirme girişimlerini teşvik etmiştir (26,27)

1968'de Krita, laminoplasti tekniğini tanıttı (28). 1972'de Oyama ve Hattori lamina-Z-plasti tekniğini tanımladılar (29). Bu teknikler, postoperatif komplikasyonları azaltmaya ve stabiliteyi artırmaya yardımcı oldu. Hirabayashi ve ark. 1977 yılında genişletici açık-kapı laminoplasti (open-door laminoplasty) yöntemini geliştirdi (1). 1980 yılında Kurokawa ve ark. çift kapı laminoplasti (spinous process splitting laminoplasty-french door) yöntemini geliştirdi (2).

1998 yılında japon cerrah T. Shirashi atlayarak laminektomi (skip laminectomy) tekniğini geliştirmiş ve yaptığı çalışmayla klinik sonuçlarını bildirmiştir (4,5). Yuan W ve arkadaşları atlayarak laminektomi ve laminoplastinin klinik sonuçlarını karşılaştırmıştır (6).

### **2.1.2 Omurga Biyomekaniğinin Tarihçesi**

Spinal biyomekaniğin kökenleri antik çağlara dayanmaktadır. MÖ 17. yüzyılda yazılmış bir Mısır belgesi olan Edwin Smith cerrahi papirüsü, servikal burkulma, kırık ve kırık-çıkık arasındaki farkı tanımlıyordu (11,12). Hipokrat (MÖ 4. yüzyıl) zamanına gelindiğinde, omurga deformitelerini düzeltmek için çeken veya lokal basınç uygulayan fiziksel araçlar kullanıldı, ancak tedaviler sadece omurilik biyomekaniğinin ilkel bir bilgisine dayanıyordu (30). Rönesans, omurga biyomekaniği anlamak için ilk ciddi girişimleri üretti. Leonardo da Vinci omurgayı eğrilikleri, eklemleri ve omur sayısı ile doğru bir şekilde tanımlayan ilk kişiydi. Ayrıca omurga stabilitesinin kısmen servikal kas sistemi tarafından sağlandığını öne süren ilk kişidir(23).

Biyomekanik üzerine ilk kapsamlı inceleme olan *De Motu Animalium*, 1680'de Giovanni Borelli tarafından yayınlandı ve omurganın ilk ağırlık taşımasının analizini içeriyordu. Bu bağlamda, Borelli “omurga biyomekaniğinin babası” olarak kabul edilebilir(31). Alman cerrah Fabricus Hildanus, kendi zamanına göre oldukça gelişmiş bir omurga redüksiyon yöntemi önerdi. 1646'da servikal kırıklı çıkıkları redükte etmek için modern servikal traksiyona benzer bir yöntem tanımladı(32).

Rönesans sırasında spinal kolonun temel anatomisi ve temel biyomekaniği tarif edildikten sonra, premodern dönem biyomekanik prensipleri bilimsel bir şekilde tedaviye uygulamaya odaklanmıştır. Bir kolonun matematiksel kararlılığı ilk olarak 1744 yılında Euler tarafından kolon yüksekliği ve sertliğinin bir fonksiyonu olarak

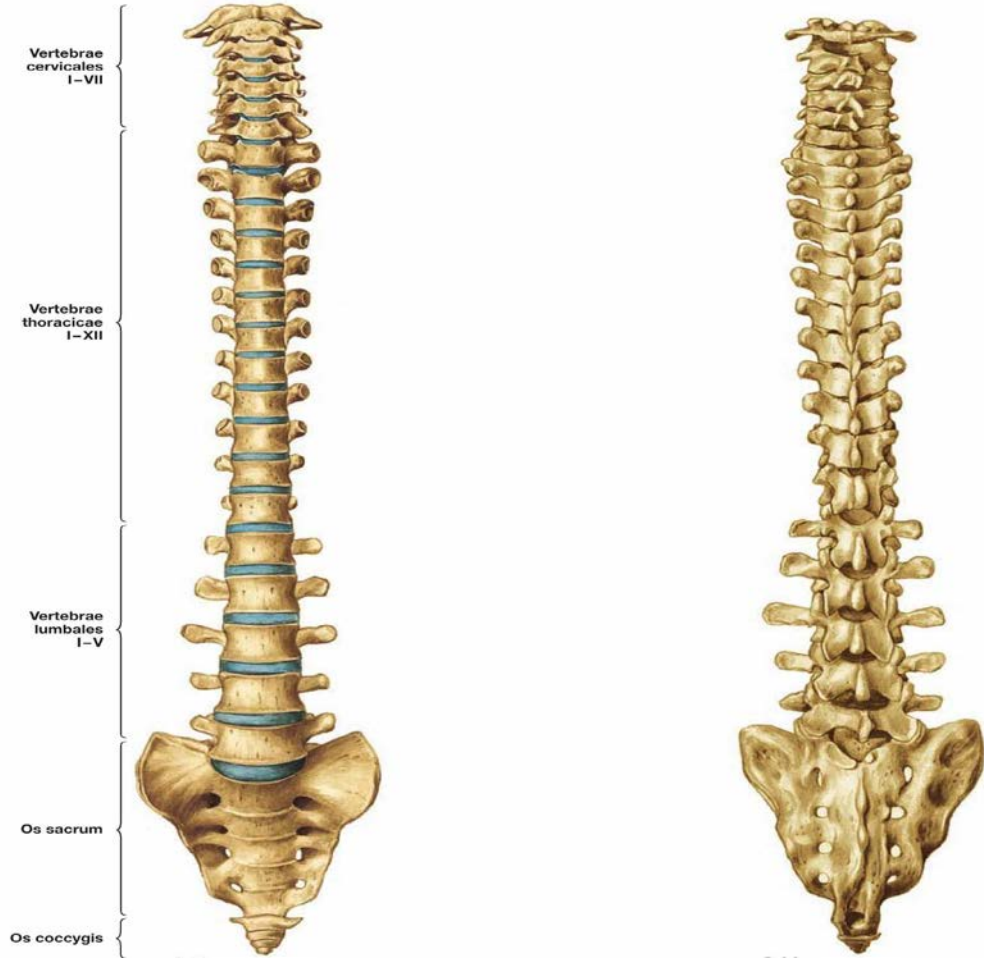
tanımlanmıştır(33,34). Julius Wolff'un (1836-1902) omurga biyomekaniğine katkısı dolaylıydı. Alman ortopedi cerrahı Wolff, kemiğin biçimi ve işlevi arasındaki ilişkiyle ilgileniyordu(35).

19. yüzyılın sonuna gelindiğinde, omurga hizalaması ve immobilizasyon gibi temel biyomekanik kavramlar, omurilik yaralanmasının tedavisi için iyice yerleşmişti. Omurga stabilitesinin daha ileri anatomik tanımı, 1913'te Wood-Jones'un adli idamların anatomik analiziyle ateşlendi(36,37). 1960'lara gelindiğinde, Holdsworth tarafından iki sütunlu bir omurga modeli önerildi(38).

Francis Denis tarafından 1983 yılında üç kolon teorisi ortaya çıkmıştır (12). Holdsworth tarafından dengeli olarak kabul edilen patlama kırıklarının aslında dengesiz olduğunu keşfetti. Bu durum onu, bir arka vertebral vücut, arka anulus fibrozis ve arka uzunlamasına bağın oluşturduğu bir orta kolonu tanımlamaya yönlendirdi. İnstabilite için iki sütunun bozulması gerekiyordu. Bu, bugünün tedavi stratejileriyle uyumlu bir paradigmaya işaret etmektedir(39).

## **2.2. ANATOMİ**

Vücudumuzda 33 adet vertebra bulunmakta olup, yukarıdan aşağıya oluşturdukları yapıya ‘‘Columna Vertebralis’’denir (Şekil 1). Vücut ağırlığının büyük kısmını taşıyan ve bu ağırlığı pelvis vasıtasıyla alt ekstremitelere aktaran omurga; baş, boyun ve gövdenin hareketlerinde de görev alır. Bu destek ve hareket işlevinin yanısıra omurga, içinde barındırdığı canalis vertebralis’de omuriliği saklar. Doğum sırasında 33 vertebradan (omur) oluşan omurga; sakrumun ve koksiksin füzyona uğrayıp birer omur haline gelmesiyle erişkinde 7 servikal, 12 torakal ve 5 lumbal olmak üzere 24 hareketli omur, bir sakrum ve bir koksiks olmak üzere toplam 26 parçadan oluşur. Bu yirmialtı omur birbirlerine, diskus intervertebralis olarak adlandırılan fibro-kartilaginöz yapılar ve bağlarla bağlanmışlardır. Omur ve disklerin boyutları yukarıdan aşağıya doğru artar. Yetişkin bir erkekte yaklaşık 71 cm olan omurga boyu, yetişkin kadında 61 cm’dir. Bu uzunluğun %25’i diskler, %75’i omurlar tarafından oluşturulur (40,41).



**Şekil-1:** Columna Vertebralis(42)

Fetüs'te öne doğru konkavite gösteren yay şeklinde olan omurga, geç fetal dönemde ve doğumdan sonra çocuğun başını tutması, emeklemesi, ayakta dik durması, yürüme gibi gelişim periyodlarında ilave eğrilikler kazanır (41).

Yandan bakıldığında bu eğrilikler şöyledir (Şekil 2).;

- 1- Servikal lordoz
- 2- Torasik kifoz
- 3- Lomber lordoz
- 4- Sakral kifoz

Bu eğriliklerden torakal ve sakral bölgedeki fetüs'de görüldüğünden primer eğrilik, servikal ve lumbal bölgedeki doğumdan sonra ortaya çıktığı için sekonder eğrilik olarak adlandırılır(40,41).



**Şekil-2:** Columna Vertebralis' in Sagittal Plan Görüntüsü(42)

Bir omur, tipik olarak iki ana yapıdan oluşur:

- 1) Önde yer alan spongioz kemik yapısındaki gövde (corpus vertebrae) ve
- 2) Arkada yer alan pedikül, lamina, processus transversus, processus articularis'ler ile processus spinosus'u taşıyan "arcus vertebrae" dir. Omur, içte trabeküler, dışta ise kompakt bir yapıya sahiptir. Kompakt tabaka, korpusun merkezine doğru ilerleyecek olan damarların geçmesine izin veren foramen nutricium'lar ile delinmiştir. Kompakt tabaka, arkus ve prosesus'larda daha kalındır.

Corpus vertebrae, kısa bir silindir biçimindedir. Silindirin üst ve alt yüzlerine, komşu corpus vertebra'ları birbirine bağlayan discus intervertebralis'ler yapışır. Bu yüzler substantia compacta veya corticalis denilen kemik kabuğu ile örtülü değildir

ve burada cismi yapan *substantia spongiosa* açık kalır. Bundan dolayı bu yüzler düz olmayıp çeşitli şekilde küçük çukur ve delikler gösterir. Bu delikler discusların yapışması için çok elverişlidir.

*Corpus vertebrae*'nin temelini yapan *substantia spongiosa* ve *compacta*'nın yapısı cismin işlevine göre ayarlı olup bölme ve lamellerle kuvvetlenmiştir.

*Arcus vertebrae*, her iki tarafta *corpus vertebrae*'nin ventral ve dorsal yüzlerinin birleştiği kısımdan başlar. *Foramen vertebrale*, *corpus vertebrae*'nin arka yüzü ve arkada *arcus vertebrae* ile sınırlanmış, içinde *medulla spinalis*'i barındıran büyük bir deliktir. *Arcus vertebrae*'nin *corpus vertebrae* ile birleşen yerine *pediculus* denir. *Pediculus*, morfolojik olarak toplumlara göre farklılıklar gösterebilir. *Pediculus* üst ve alt kenarlarında her iki tarafta *incisura vertebralis superior* ve *inferior* bulunur. Bunlardan alt çentik daha derin olup, alt ve üst çentiğin bir araya gelmesiyle içinden spinal sinirlerin geçtiği *foramen intervertebrale* oluşur.

*Arcus vertebrae*'nin kök kısmını oluşturan iki taraflı *pediculus*, arkaya doğru iki taraflı laminayla devam eder ve en arkada *processus spinosus* ile sonuçlanır. *Lamina* ile *pediculus*'un birleşme yerinde, yukarı kısmında *processus articularis superior* ve aşağı kısmında *processus articularis inferior* yer alır. Alt ve üstteki omurların *processus articularis*'leri birbirleriyle *articulationes zygapophysiales* adı verilen eklemleri yaparlar ve görevleri omur hareketlerini kısıtlayarak omurların öne kaymasına engel olmaktadır.

*Arcus vertebrae*'nin her iki tarafında yanlara doğru *processus transversus* adı verilen çıkıntılar bulunur. Bu çıkıntıların şekil ve uzunluğu değişik olmakla birlikte, torakal 1-10. omurlarda *processus transversus*'ların ön yüzlerinde kaburgaların *tuberculum costae*'sıyla eklem yapan *fovea costalis transversalis* bulunur(43).

### **2.2.1. Servikal Vertebraların Anatomisi**

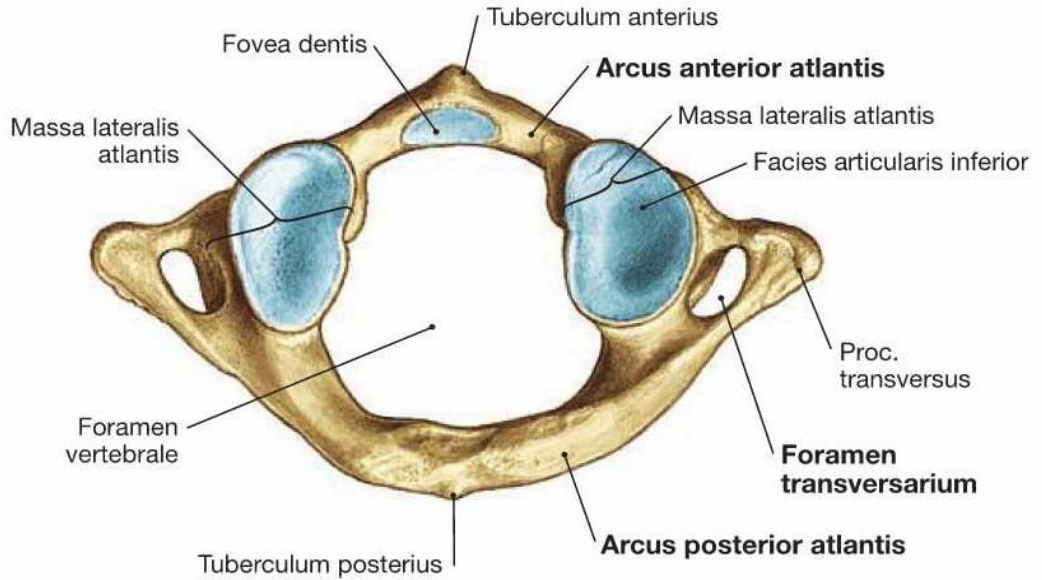
Servikal omurga 7 adet vertebradan oluşmaktadır. Bu omurga fleksiyon, ekstansiyon, lateral bending(yana eğilme) ve aksiyal rotasyon hareketlerine izin veren stabil bir yapı durumundadır. Atlas (C1), aksis (C2) vertebraları atipik özellik göstermektedirler. Kafa tabanına birbirlerine ve diğer tipik servikal vertebralara ligamanlar ile bağlanırlar. C3-C7 dahilindeki tüm vertebralar genel servikal vertebral özelliği gösterdiklerinden tipik servikal vertebralardır. Servikal vertebralarda diğer

vertebralarda olmayan kendine has özgü yapısı denince ilk akla gelen, processus transversium' larında bulunan vertebral arterin geçiş ve seyir bölgesi olan bu vertebral foramenlerdir. Diğer yandan, servikal omurgaların korpusları daha küçük, foramen vertebraları geniştir. Pediküller yine küçük gözlenmekte ve laminalar da daha uzun ve incedir. Pediküller vertebra korpuslarından posterolateral yönde çıkarlar, superior ve inferior yüzeylerinde çentikler bulunur, bu çentikler komşu vertebralardakilerle birlikte intervertebral foramenleri oluşturur. Mediyale yönelimli laminalar ise orta hatta karşıdan gelen lamina ile birleşerek kısa, bifid spinöz prosesi oluşturur. Pedikül ile laminanın birleşim yerinden laterale uzanan eklem yüzeyleri ise superior ve inferior artiküler fasetleri oluşturur. Çatal (bifid) şeklindeki processus spinosuslar tipiktir. Anterior longitudinal ligaman ve musculus longus kolliler için servikal vertebra korpus ön yüzlerinde yapışma yerleri bulunmaktadır. Diğer yandan servikal vertebraların korpusları yukarıda da bahsedildiği gibi diğer vertebralara göre daha küçük olup, boyutları yukarıdan aşağıya doğru gidildikçe artmaktadır. Transvers çaplar ön-arka çapa göre daha fazla gözlenmektedir. Çatal şeklindeki processus spinosuslara ligamentum nuchae ve sırtın ekstansör kasları yapışarak stabilizasyonda rol oynarlar. Atlas ve aksis dışında tüm servikal vertebralarda ve 1.torakal omurgada korpus yan yüzlerinde üst kenarda bulunan çıkıntıya 'Unsinat Çıkıntı' denir(44,45). Unsinat çıkıntıyla üstteki omurun alt yüzü arasındaki ekleme de Luschka tarafından tariflendiği için, 'Luschka eklemi' denilmiştir (46,47). Sonralarda bu eklem gerçek bir eklem olmadığı kanıtlanmıştır. Unsinat çıkıntılarının en önemli rolü, boyun hareketlerini yana fleksiyonda ve rotasyonlarda kısıtlamak olup diskin yırtılması ve bozulmasını önlemektir(45-47). Servikal vertebraların foramen transversiumlarından yukarıda da bahsedildiği gibi vertebral arterler geçmektedir. Nadir bir durum olmaklar birlikte 7.servikal vertebradaki foramen transversiumdan venöz pleksuslar ve otonom lifler geçebilmektedir. Transvers prosesler üzerinde transvers foramenler bulunur, çevresini anterior ve posterior tüberküllerde sonlanan dar kemik barlar oluşturur. Bu kemik çubuklar foramenin lateralinde kosta-transvers bar ile birbirleriyle birleşirler. Sadece posterior barın medial kısmı gerçek transvers prosese karşılık gelir, anterior bar, kostatransvers bar ve posterior barın lateral kısmı kostal elementlerdir ve anormal gelişim göstererek 6. ve 7. servikal vertebrada servikal kot oluşturabilirler. Servikal vertebralardan C4'ten C6'ya kadar olanların prosesus

transversariumları üzerinde önde ve arkada tüberküller yer alır. Bu nedenle bu tüberküllere carotid tüberkül adı verilir. Servikal vertebralardan 1., 2. Ve 7. Servikal vertebraların tipik özellikleri vardır ve bazı özelliklerle diğerlerinden spesifik olarak ayrılmaktadırlar(48);

- Atlas (C1)

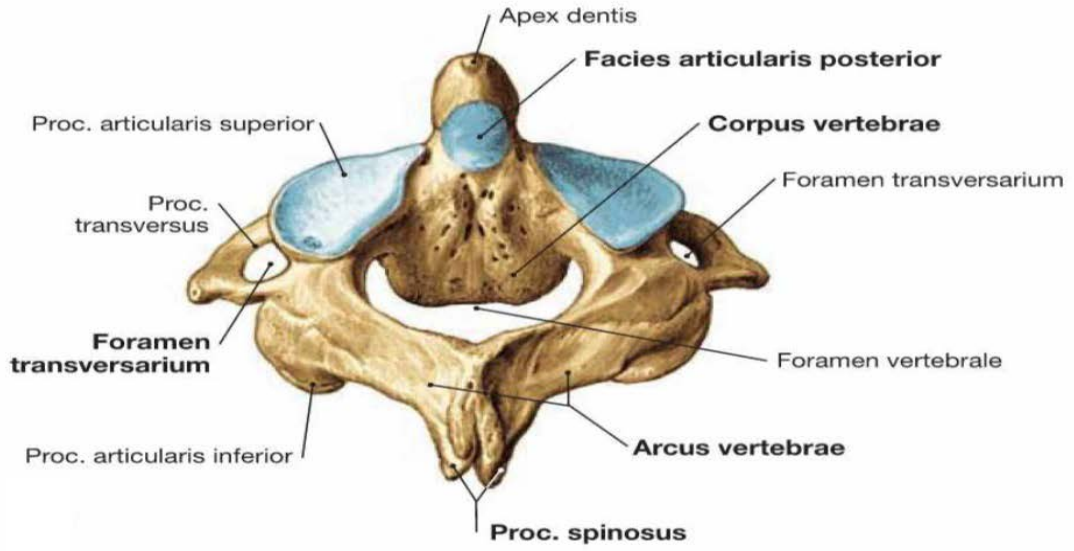
C1 vertebra özel adıyla Atlas vertebraşında korpus ve processus spinosus yoktur (Şekil-3). Lateral mass ya da massa lateralis denilen kendine özgü korpus yerine görev gören yapıları mevcuttur. Oksipital kemiğin kondil kısımlarıyla üstte, aksisin üst yüzündeki eklemle altta eklem yapmaktadır. Massa lateralisler bilateral olup, medial kısımlarındaki tüberküllerde aksisin densinin yerinde kalmasını stabilize olmasını sağlayan ligamentum transversum için yapışma yerleri vardır. Massa lateralis'lerin üst eklem yüzlerinin arkasında yer alan oluktan (sulcus arteriae vertebralis) geçen a. vertebralis daha sonra foramen vertebrale içinden foramen magnum'a ve kranyum içine ilerler. Arkus anterior ve arkus posterior yapıları bulunmaktadır. Ligamanlar ve kaslar için yapışma yerleri sağlamaktadırlar(49-51).



Şekil-3: Atlas Vertebraşının Görünümü(42)

- Aksis (C2)

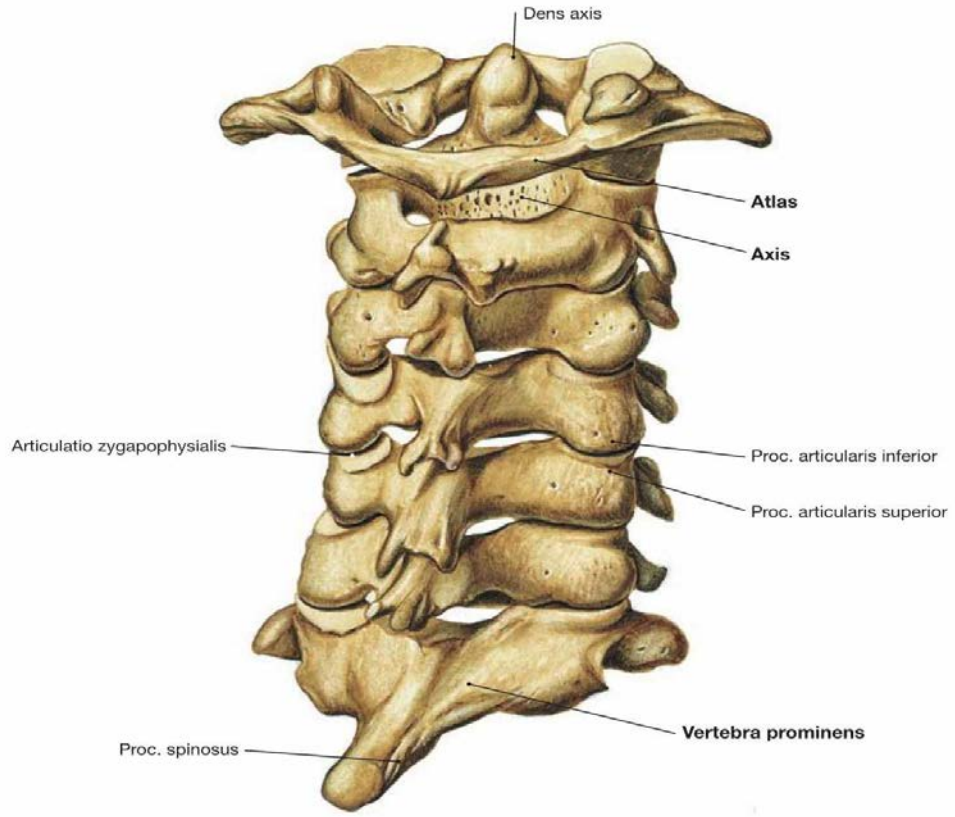
En belirgin ve tipik özelliği korpustan çıkan dens (processus odontoideus) yapısıdır (Şekil-4). Dens ön yüzü, atlasın anterior arkusunun posterioru sinovyal eklem yapar. Arka yüzünde ise ligamentum transversum için oluklar bulunur. Üst ucunu apikal ligaman, lateral yüzlerine ise alar ligaman yapışmaktadır. Aksisin pedikül ve laminaları servikal vertebralara göre daha kalın ve ligamanetum flavum buralara yapışmaktadır(49–51).



**Şekil-4:** Aksis Vertebranın Görünümü(42)

- Vertebra prominens (C7)

Torakal omurlara daha çok benzer. Processus spinosus'u belirgin şekilde diğer servikal omurlardan uzundur ve ucu çatalsızdır. Canlıda palpe edilebilen tek processus spinosus C7'ye aittir (Şekil-5). Processus transversus'larında for.transversum bulunması ile torakal omurlardan ayrılır. For.transversariumdan sadece v. vertebralis geçer. C7'de ön ve arka longitudinal bağlar ve posterior lateral eklemlerdeki kapsül, boyunda hem stabilizeyi hem de hareketi sağlar. Bu nedenle C7 klinik açıdan önemlidir(48–50).

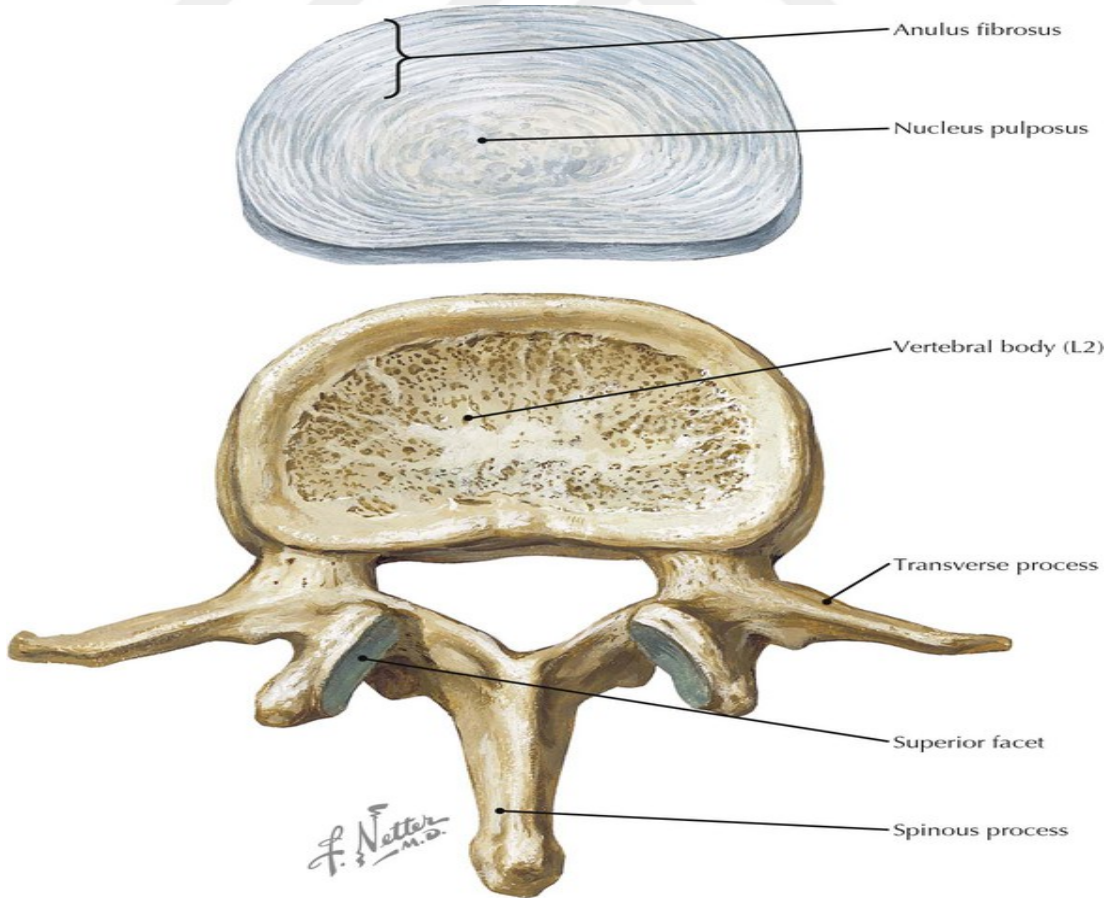


**Şekil-5:** C7 ve diğer servikal vertebraların görünümü(42)

- İntervertebral Disk

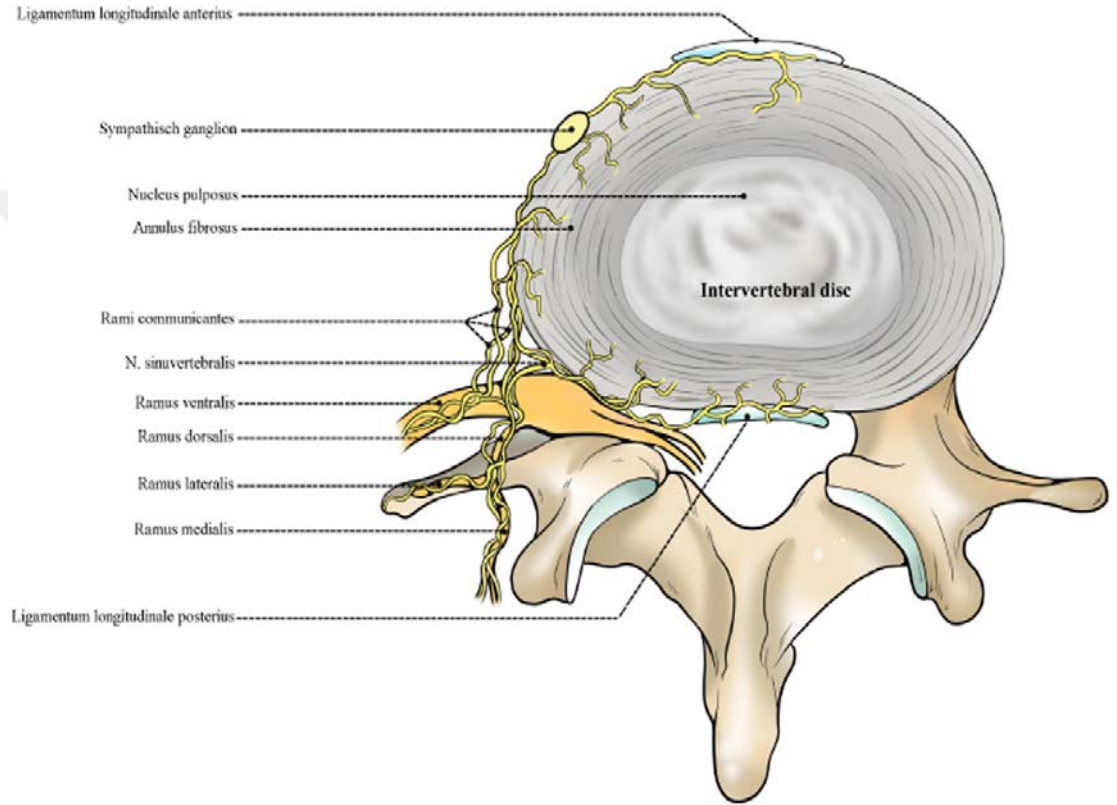
Servikal omurganın toplam yüksekliğinin %25'ini oluşturan intervertebral diskler, end plate kırırdağı, annulus fibrosus ve nükleus pulposustan oluşurlar (Şekil 6). Omurga stabilitesinin ve hareketinin en önemli bileşenlerinden biridir. Bunlar bitişik omurları birbirine bağlayan kırırdağ yapılarıdır. Her iki komşu omurun karşıt yüzeylerine end plate adı verilir ve bu kısımlar diski besler. Annulus fibrosus dediğimiz yapının iç ve dış kısmı vardır. Dış katman tip 1 kolajenden yapılmıştır. İç katman daha büyük ve daha az düzenlidir ve proteoglikan içeriği diskin merkezine doğru artar. Fibrozis halkası ile bitişik omurlar arasındaki end plateler arasındaki bağlantı, kolajen lifleri tarafından yapılır. Nükleus pulposus diskin ortasında bulunur ve disk hacminin yaklaşık yarısını kaplar. Normal bir yetişkinde %70'i sudur. Annulus fibrosustan farkı genellikle daha fazla tip 2 kollajen içermesidir. Gençken jel benzeri ve berrak olmasına rağmen, ilerleyen yaşlarda ve yaşlılıkta lifli ve donuk bir hal alır. Kollajen ve proteoglikanların yoğunluğu ise diskteki lokasyonlarına göre

değişiklik göstermektedir. Annulus fibrosusta kollajen %70 oranında bulunurken, nukleus pulposusta proteoglikanlar %60 oranında bulunur. Yaşlanan diskteki proteoglikanların oranı yaşla birlikte giderek azalır. Yetişkin bir insandaki normal bir disk neredeyse damarsızdır ve beslenmeyi yalnızca end platelerden kılcal difüzyonla alır. Glikoz, amino asitler ve diğer besin maddeleri gibi farklı geçişlere sahip maddeler diske girdiğinde atık ürünler diskten kılcal damar ağına taşınır. Çocuklar yetişkinlerden farklı bir disk şekline sahiptir. Yenidoğanda nükleus pulposus diskin neredeyse yarısını oluşturur. Aynı zamanda gençler ve çocuklarda nukleus pulposus ile annulus fibrosus arasında keskin bir sınır vardır. Ancak yaş ilerledikçe bu sınır azalır, hatta kaybolur. Aynı zamanda yaşla birlikte su içeriği de azalır. Fibril halkası bozulmaya başlar, kollajen fibriller arasında çatlaklar ve boyutsal farklılıklar ortaya çıkar, pulpozun lif içeriği artar ve bunun sonucunda sert fibrokartilaj haline gelir. Aynı zamanda yüksekliğin azalmasına bağlı olarak end plate genişleyerek çevreye yayılmaya başlar, bütünlüğü bozulur(44,46,52).



Şekil-6: İntervertebral diskin yapısı(53)

Disklerin innervasyonu sinovertebral sinirler tarafından sağlanır (Şekil 7). Sinovertebral sinir spinal sinirden ventral ramus ve gray ramustan köken alırlar. Diskin anterior kısmı ve anterior longitudinal ligaman gray ramus kommunikans tarafından innerve edilir. Primer dorsal ramus ise faset eklemleri, paraspinoz kasları interspinöz ligamanları uyarır. Sinovertebral sinirin herhangi bir nedenden dolayı uyarımı aktivasyonu köken aldığı spinal sinir trasesi boyunca ağrı oluşturur(54).



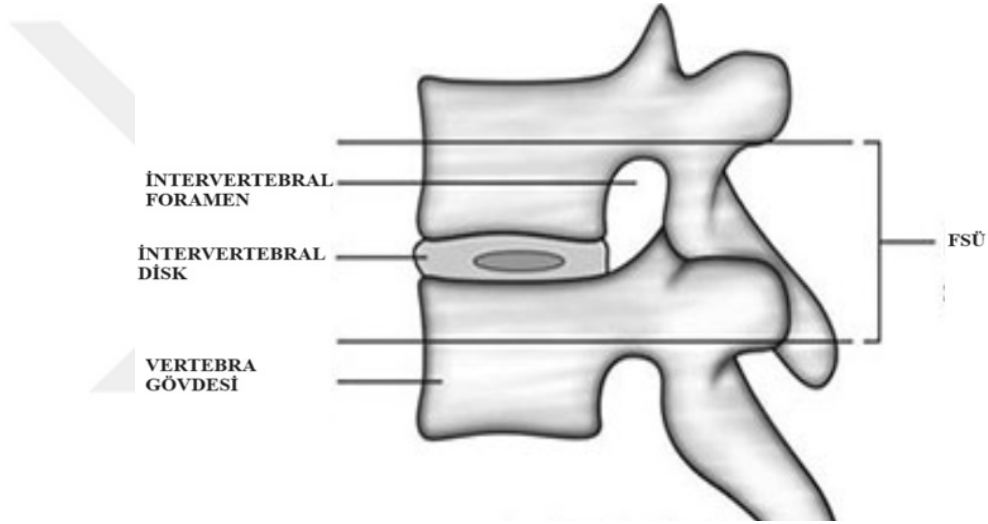
Şekil-7: İntervertebral diskin innervasyonu (55)

### 2.2.2. Servikal Omurga Biyomekaniksel Anatomisi

Omurganın servikal bölümü, 7 omurdan oluşur ve diğer omurga bölümlerinden daha hareketlidir. Servikal vertebra kranioservikal blok ve alt servikal vertebralar olmak üzere iki fonksiyonel birimden oluşur. Bu iki birim, biyomekanik ve yapısal açıdan farklılıklar göstermektedir. Fakat bu bölgede bulunan hayati yapıları koruyup desteklemede ve servikal bölgede büyük miktarda hareket açığa çıkarmak gerektiğinde, iki fonksiyonel birim birlikte hareket eder (56). Üst servikal bölgenin daha karmaşık bir yapısı ve hareket mekanizması vardır. Alt

servikal bölgelerin önemli bir özelliği lordotik yapısıdır. Bu bölgeye uygulanan kuvvetlere karşı koyabilmesi lordotik yapı ile birlikte, faset eklemlerinin yükü yönlendirme etkinliğine bağlıdır (57). Hareketin en yoğun olduğu kısım C5-6 ve C6-7 segmentlerdir. Bu da dejeneratif süreç ve kanal darlığının bu alanda daha sık görülmesinin biyomekaniksel nedenlerinden biridir (58).

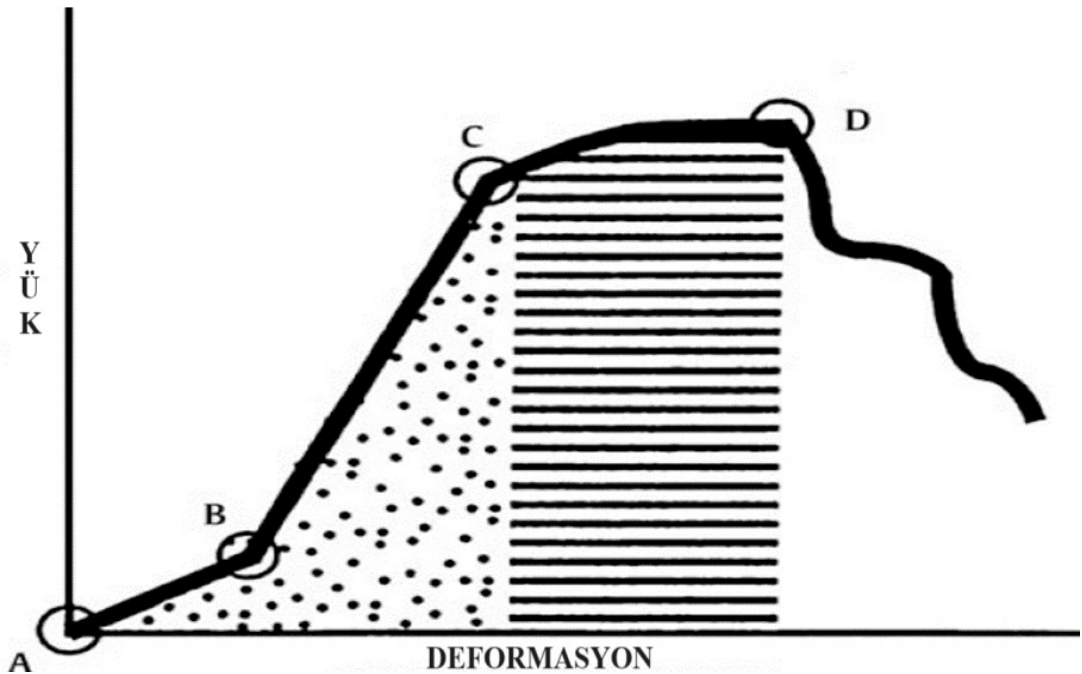
Omurga kolonunun fonksiyonel biyomekanik özelliklerini tanımlayabilen en küçük birimine “fonksiyonel spinal ünite (FSÜ)” denilmektedir. (Şekil-8) FSÜ’de, iki komşu vertebra bir disk mesafesi, faset eklemleri ve ligamanlar bulunmaktadır (56).



**Şekil-8:** Fonksiyonel spinal ünite (FSÜ)

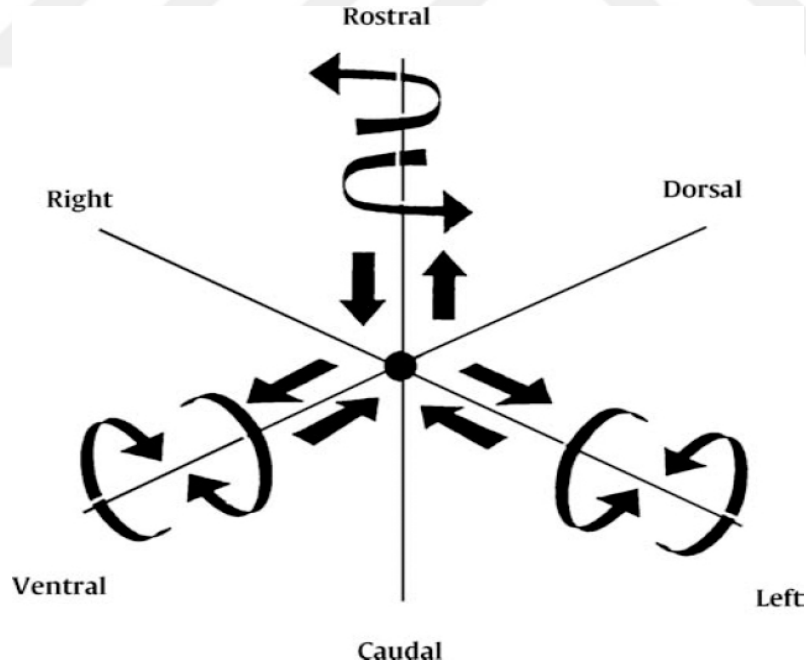
Hareket segmenti iki omur ve aralarındaki intervertebral diskin oluşturduğu birimdir. Range of motion (ROM) diye bilinen bu hareket aralığı, bir düzlemde yapılan toplam hareket miktarını tanımlar. Nötral ve elastik zondan oluşan ROM klasik stabiliteyi tanımlamada ve anlamada en temel yapı taşıdır. Servikal omurga nötral zon içinde nispeten az bir kuvvetle hareket edebilmektedir. Bu hareket aralığı için paraspinal kaslar çok az enerji harcar. Nötral zonun dışında hareketler için yumuşak doku kaynaklı elastik kuvvetlerin üzerinde bir güç gerekir. Bu bölge elastik bölge olarak tanımlanır. Nötral zonda ya da hareket aralığında anormal artış varlığında, ligamentöz yaralanma ya da omurga instabilitesi akla gelmelidir.

Omurga için yük-deformasyon eğrisi çizildiğinde sigmoid bir eğri oluşur. (Şekil-9) Bu eğri, omurganın yük altında nasıl şekil değiştirdiğini gösterir. Eğrinin farklı bölgeleri farklı mekanik davranışları temsil eder. Nötral bölge (AB), omurganın tarafsız konumundan fizyolojik harekete direnç gösterdiği noktaya kadar uzanan bölgedir. Disk ve faset hareketlerinin sonucu olarak normalde bulunan serbest harekete karşılık gelir. Başka bir deyişle nötral bölgede bağ gerginliği sıfırdır. Elastik bölge (BC), eklemlerin ve bağların esnek özelliklerinin devreye girdiği bölgedir. Dokunun esnek sınırı bu bölgede aşılanaya kadar uzanır. Kuvvet kaldırıldığında doku orijinal şekline döner. Ancak, elastik bölgeyi aşan bir noktada, yani C noktasında, dokunun elastik sınırı aşılır ve kalıcı şekil bozuklukları başlar. Bu noktada, kuvvet kaldırılrsa bile dokuda geri dönüşü olmayan değişiklikler başlar. Bu bölgeye plastik bölge denir. Bununla birlikte, eğrinin ilerleyen kısmında (CD), omurga üzerinde kalıcı bozukluklar olsa da parçanın bütünlüğü genellikle korunur. Son olarak, maksimum kuvvetin uygulandığı D noktasında, artık omurga parçasının bütünlüğü de bozulur (59). Bu noktadan sonra, omurganın yapısal bütünlüğü ciddi şekilde etkilenir ve iyileşme olasılığı azalır. Bu aşama genellikle omurga yaralanmalarının en şiddetli olduğu noktadır.



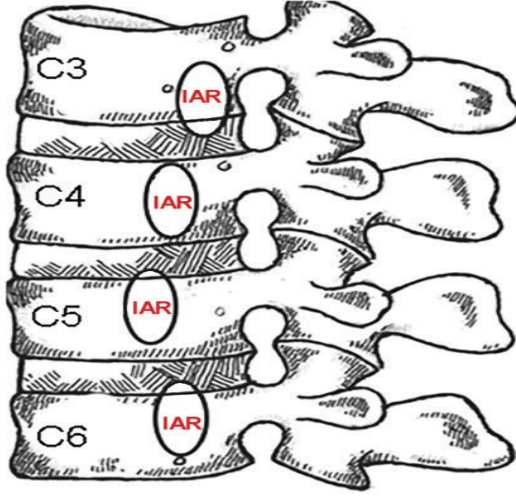
Şekil-9: Yük ve Deformasyona Yanıt Eğrisi

Spinal hareketlerin klinik olarak tanımlanması son derece önemlidir. Servikal vertebranın hareketlerini sağlayan pasif elemanlar faset eklemi, disk, ligamanlar ve kemiklerdir, aktif elemanlar ise kaslardır. Bir veya birden fazla servikal spinal düzeyde hareket anormallikleri, hareket aralığında (ROM: range of motion), nötral zon, bağlantılılık paternleri ve anlık dönme eksenini (IAR: instantaneous axis of rotation) değişikliklere neden olabilir. Bu değişiklikleri tanımak için normal verilere ihtiyaç vardır. Bu veriler, in vitro veya in vivo çalışmalarla elde edilebilir. İn vitro deneylerde, hareketleri üç boyutlu olarak ölçmek ve büyük yükler uygulamak kolaydır. Ölçümler kesin ve tekrarlanabilir olmasına rağmen, kasların etkileri göz ardı edilir. Bu nedenle, in vitro çalışmaların dikkatlice yorumlanması gerekir. İn vivo çalışmalar ise gerçeğe daha yakındır ancak gerçek üç boyutlu ölçümler zor olabilir. Ayrıca, aktif in vivo hareketler ile pasif hareketler arasında farklılıklar vardır. Servikal omurga, çeşitli yönlerde ve büyüklüklerde kuvvetlerin ve momentlerin etkisi altında hareket eder. Bu hareketlerin daha iyi anlaşılması için omurga, standart bir koordinat sistemi ile açıklanmaya çalışılmıştır.



**Şekil-10:** Anlık Rotasyon Ekseninin Merkezde Olduğu Kartezyen Koordinat Sistemi. Translasyon ve Rotasyon, Her Eksen Etrafında İlgili Yönlerde Gerçekleşebilir(60)

Bu sistemde omurgada x, y, z eksenleri üzerinde rotasyon ve translasyon hareketleri meydana gelir. (Şekil-10) Dolayısıyla, her bir eksen için ikişer olmak üzere altı serbest hareket vardır. Ayrıca, her bir eksenin aksi yönünde aynı hareketler gerçekleştirilebilir, bu da omurganın üç eksende, altı yönde, toplamda 12 farklı hareket yapabileceği anlamına gelir. Her bir hareket segmentinde, omurga omur cisimlerinin bir tarafa doğru hareketini, sabit bir eksen üzerinde gerçekleştirir. Bu eksen, rotasyonun anlık eksenini (instantaneous axis of rotation = IAR=RAE) olarak tanımlanır ve spinal segment hareket ettiğinde omur cisminin içinden geçen ve hareket etmeyen eksendir(61).



**Şekil-11:** Servikal vertebralarda rotasyonun anlık ekseninin şematik görünümü (62).

Vertebra, bir eksen etrafında rotasyon veya translasyon hareketi yaparken, diğer iki planda da rotasyon veya translasyon hareketi gerçekleştirebilir. Bu özellik, kombine hareket olarak adlandırılır ve her üç planda rotasyonun anlık eksenini (RAE) oluşmasına neden olur. (Şekil-11) Tek bir plandaki RAE'nin kesiştiği nokta, ilgili segmentin RAE'si olarak tanımlanabilir. Aynı şekilde, tek bir plandaki RAE'nin kesiştiği nokta, bir nokta kümesi olarak da tanımlanabilir, bu da centroidi oluşturur. RAE'nin vücuttaki bilinen pozisyonlara göre hesaplanması mümkündür, bu da hata payını azaltır ve RAE'nin üç boyutlu konumu "helical axis of rotation" olarak

tanımlanır. Bu yöntem, hareketin tam olarak belirlenmesine ve omurga hareketlerinin anlaşılmasına yardımcı olur.

Servikal omurgada temel üç ana hareket bulunmaktadır: Sagittal planda fleksiyon-ekstansiyon, koronal planda yana eğilme (lateral bending) ve aksiyel planda rotasyon. Tablo 1’de bu hareket dereceleri gösterilmiştir. İn vitro kadavra çalışmalarına göre, servikal bölgede toplam fleksiyon ortalama olarak  $41.8 \pm 16.4^\circ$ , ekstansiyon ise ortalama olarak  $51 \pm 20.8^\circ$  olarak ölçülmüştür. Ayrıca, toplam aksiyal rotasyonun ortalama değeri  $89.7 \pm 12.9^\circ$ , toplam lateral bending'in ise ortalama değeri  $55.4 \pm 12.2^\circ$  olarak belirlenmiştir (63). Kas gruplarının etkisiyle, servikal omurgadaki hareket aralıkları şu şekilde değişmektedir: Fleksiyon/ekstansiyon için  $141.3^\circ$ , yana eğilme (lateral bending) için  $91.4^\circ$  ve aksiyel rotasyon için  $175^\circ$ . Bu hareket aralıklarında, fleksiyon-ekstansiyon hareketi en fazla atlantookspital bölgede gerçekleşmektedir. Toplam hareket aralığı ise  $27.4 \pm 71^\circ$ dir ve nötral bölge, hareket aralığının %65'ini kapsayacak şekilde  $17.2 \pm 5.9^\circ$ dir. Aksiyel rotasyon ise  $56.7 \pm 4.8^\circ$  hareket aralığıyla en fazla C1-2 arasında görülmektedir. Her iki taraflı lateral bending hareketi ise  $6.5 \pm 2.3^\circ$  ile üst servikal bölgede en az C1-2 aralığında olmaktadır. Alt servikal bölgedeki fleksiyon ve ekstansiyon hareketlerine bakıldığında en fazla hareketin C5-6 bölgesinde (sırasıyla  $5.5 \pm 2.6^\circ$  ve  $4.8 \pm 1.9^\circ$ ) gerçekleştiği görülmektedir. Koronal plandaki servikal faset yapısı nedeniyle yana eğilme (lateral bending) ise ortalama  $9.3^\circ$  ile en fazla C2-5 segmentlerinde olmaktadır. Servikal bölgede, RAE üst servikal bölgede C2 densinin arkasında bulunurken, alt servikal bölgede vertebra cisminin arka tarafında disk mesafesine yakın bir konumda bulunur (64).

<b>Tablo-1</b>	<b>Aksiyel Rotasyon</b>	<b>Yana Eğilme</b>	<b>Fleksiyon</b>	<b>Ekstansiyon</b>
<b>C0-C1</b>	0	8	13	13
<b>C1-C2</b>	47	0	10	9
<b>C2-C3</b>	9	10	8	3
<b>C3-C4</b>	11	11	7	9
<b>C4-C5</b>	12	13	10	8
<b>C5-C6</b>	10	15	10	11
<b>C6-C7</b>	9	12	13	5
<b>C7-T1</b>	8	14	6	4

**Tablo-1:** Servikal Omurganın Hareket Segmentlerindeki ROM Miktarı(Derece)

Alt servikal omurganın biyomekanik olarak stabilitesi, tüm anterior ve posterior elemanların fizyolojik yükler altında sağlam kalması durumunda olur. Fleksiyon sırasında posterior elemanlar, ekstansiyon sırasında ise anterior ligamanlar stabiliteye katkıda bulunur (65). White ve Panjabi, alt servikal vertebra instabilitesi için biyomekanik olarak üç ana özellik tanımlamışlardır: Tüm anterior veya posterior elemanların ikisinden birinin hasarlanması veya işlevsiz hale gelmesi, bir vertebranın diğer vertebra üzerinde 3.5 mm'den fazla kayması, komşu vertebralar arasında 11°'den fazla rotasyon farkı olması. Ancak, sadece bu kriterler servikal omurganın instabil olarak kabul edilmesi için yeterli değildir. Ayrıca, nörolojik tablo, ağrı ve deformite faktörleri de önemlidir (66).

- Bu aşamada servikal bölgeyi etkileyen bazı dejeneratif omurga hastalıklarının seyrinden bahsedilecektir.

## 2.3. PATOGENEZ

### 2.3.1. Servikal Spondiloz Patogenezi

Servikal vertebralar; iki faset eklem, uncinat çıkıntılarının oluşturduğu Luschka eklemleri ve intervertebral diskten oluşan kompleks yapı aracılığı ile birbirine tutunurlar (67). Faset eklemler gerçek diartrodial eklemlerdir, fleksiyon, ekstansiyon ve rotasyona izin verirler, translasyonu önlerler (68). Tipik servikal vertebraların arka taraf yüksekliği öne göre daha fazladır, fakat intervertebral disklerin ön tarafının daha yüksek olması sonucunda normal servikal lordoz sağlanır. Servikal bölgede intervertebral diskler, tüm servikal omurga yüksekliğinin %22'sini oluşturur (69). İntervertebral diskler, omurgaların her yöne hareket etmesine yardımcı olurlar. Genç bir erişkinde intervertebral disk içeriğinin yaklaşık %90'dan fazlası su iken, sekizinci dekattan sonra su içeriği %70'in altına iner. Diskteki ana yapı, suyun haricinde kollajen ve proteoglikanlardır. Nükleusta tip 2, annulusta ise başlıca tip 1 kollajen bulunur. Nükleus pulpozusun suyu tutma özelliği ve hidrostatik basıncı sağlama yeteneği glikoz aminoglikan zincirlerinin negatif yüklü gruplarının bulunmasından kaynaklanır (67). Nükleus pulpozusta glikoz aminoglikan miktarı fazla iken, annulus fibrozus daha çok fibrokartilajenöz bir yapıya sahiptir (69). Yaş ilerledikçe nükleusta glikoz aminoglikan keratin sülfat artarken, glikoz aminoglikan kondroitin sülfat azalır (70), annulus fibrozustaki glikoz aminoglikan miktarı azalır, tip 1 kollajenin yerini daha az sıklıkla yerleşmiş kollajen fibrilleri alır. İntervertebral diskteki yaşlanma, nükleus pulposusta su kaybı ve kollaps gelişimi ile başlar (71). Nükleus ve annulus arasındaki belirgin olan sınır kaybolur, diskin içinde kollajen oranı kademeli olarak artar, proteoglikan zincirinde negatif yüklü gruplar azalır ve böylece diskin su tutma yeteneği azalır. İntervertebral diskteki ozmotik basıncın bu şekilde düşmesi, diskin kompresif güçlere karşı koyabilme ve yükü dağıtabilme özelliğini azaltır. Disk yüksekliğini kaybeder. Dejeneratif değişiklikler, disk yüksekliğinin kaybına, osteofit oluşumuna, faset eklemlerde hipertrofiye ve spinal kanal daralmasına neden olur. Özellikle C5-C6 ve C6-C7 segmentlerindeki hareketli bölgelerde osteofit gelişimi daha belirgindir. Bu osteofitler zamanla birleşerek otostabilizasyon sağlamaya çalışırken, spinal kanalın daralmasına ve klinik semptomlara yol açabilir. Spondilolitik değişikliklere bağlı olarak kifoz ve instabilite gelişimi, faset eklemlere binen yük

dağılımını değiştirir. Ligamentum flavum hipertrofisi, omurga cisimleri arasındaki yükseklik azalması nedeniyle göreceli uzama ve spinal kanal daralmasıyla sonuçlanabilir. Bu değişiklikler, sinir köklerinin veya omuriliğin basıya maruz kalmasıyla klinik belirti ve bulgulara neden olabilir.

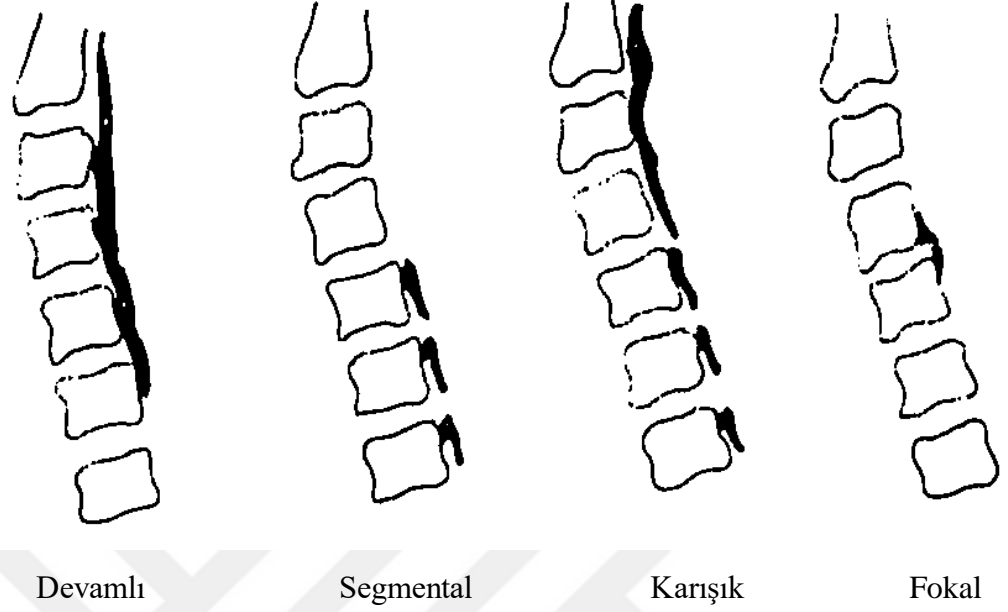
### **2.3.2. Servikal Miyelopati Patogenezi**

Servikal omurga elemanlarının dejenerasyonu, servikal spondilozun ana patolojik lezyonunu temsil ederken, omurilik veya vasküler yapılara sekonder bası miyelopati semptomlarının ortaya çıkmasından sorumludur. Spondiloz yaşlanmanın doğal bir sonucudur (72). Dejeneratif değişiklikler devam ederken servikal omurga asemptomatik kalabilir. Semptomatik süreç ancak dejeneratif osteofitik yapıların nöral dokulara bası yapması ile başlamaktadır. Yaşlandıkça intervertebral disklerin sıvı, protein ve mukopolisakkarit içeriği zamanla azalır. Bu onların elastikiyetini kaybetmesine, daha lifli hale gelmesine ve parçalanmasına neden olur. Bu süreç nükleus pulposusta başlar ve zamanla merkezi halka şeklindeki lamina içe doğru bükülür ve annulus fibrosusun dış konsantrik bantları yanal olarak ayrılır (73). Annulus fibrosusun arkasında dorsal yüzündeki bağlar incedir, bu nedenle disk çekirdeği posterior olarak gelişir. Servikal spondilotik miyelopati(SSM) intervertebral disklerin histopatolojik kesitlerinde kırıklar, yırtılmalar, dejenerasyon ve anterior vertebral gövdeye gelen tekrarlayan kuvvetler kifotik deformiteye neden olur. Sonuçta; disk herniasyonu, dejeneratif değişiklikler ve ligaman gevşemesi anormal servikal hareketlerin oluşmasında etkili olabilir (74). C3 vertebradan C7 ye kadar spinal çap cinsiyet arasında değişiklikler de olsa 17-18 mm kadardır(75). Bu kanal çapının azalması ile servikal miyelopatinin oluşumu yakın ilişkiindedir. Daralma statik ve dinamik faktörler sonucunda olabilir. SSM'nin patofizyolojisi karmaşık ve dinamik bir süreçtir. Patofizyolojide yer alan mekanizmalar kısmen iç içe geçmiş süreçlerdir. Patofizyolojik faktörler birbirinden tamamen bağımsız olmasa da genel olarak statik, dinamik, iskemik ve moleküler faktörler başlıkları altında incelenmektedir.

### 2.3.2.1 Statik Faktörler

Darlığa neden olan statik faktörler arasında servikal spondiloz, konjenital darlık, tümörler, posterior longitudinal ligament (PLL) ile ligamentum flavumun ossifikasyonu sayılabilir. Servikal spondiloz orta yaşlarda başlayan intervertebral diskte progresif dejeneratif değişikliklerle karakterize bir sorundur. Bu dejenerasyon ilgili segmentte anormal harekete, disk yüksekliğinin azalmasına, luschka ekleminde ve faset ekleminde dejenerasyona neden olur. Disk dejenerasyonu ile vertebra endplate'lerinin posteriorunda oluşan osteofitler omuriliğe anteriordan basıya neden olur. Faset ekleminde oluşan osteofitler, kapsülün hipertrofiye olması ile ligamentum flavumun içe kıvrılması ise posteriordan basıya oluşturur. Bu şekilde çepçevre daralan kanal içinde omurilik statik basıya maruz kalır(76,77). Servikal spinal ön-arka kanal çapı C3-C7 vertebraları arasında 17-18 mm arasında değişmekte olup servikal kanalın sagittal çapının azalması ile miyelopati arasında ciddi korelasyon olduğunu ortaya konmuştur(78). Bu çapın 12 mm'nin altına inmesi miyelopati oluşma riski için kritik sınır olarak kabul edilir(79). Ancak buradaki sorun yine de magnifikasyonun standardize edilememesidir. Bunun için kanalın sagittal çapı ile vertebra korpusunun sagittal çapı arasındaki oran yani Torg- Pavlov oranı oldukça kullanışlıdır. Normalde  $\geq 1$  olan bu oranın  $\leq 0.82$  olması kanal darlığı olduğunu gösterir(80). Konjenital dar kanalı olan hastalarda miyelopati oluşma riski daha fazladır. Servikal omurilik çapı C1-7 arasında yaklaşık 10 mm (ortalama 8.5-11.5 mm) olup, omurilik normal bir servikal omurgada C1-3 arasında spinal kanalın 2/3 ünü, C4-7 arasında 1/2' sini doldurur(81). Normal anatomik yapıda spondilotik değişikliklere karşı yeterli bir alan bulunurken konjenital servikal spinal darlığı olan hastalarda omuriliğin spondilotik değişikliklere karşı yeterli toleransı yoktur. Konjenital darlığı olan hastalarda hafif spondilotik değişiklikler bile omurilikte bası semptomlarının ortaya çıkmasına yol açarak, SSM' nin patofizyolojisinde önemli bir risk faktörü oluşturmaktadır (82). Servikal kanal darlığına neden olan statik faktörlerden bir diğeri ossifiye PLL(OPLL) dir. OPLL morfolojik olarak dört tipe ayrılır: Segmental, devamlı, karışık ve fokal (Şekil-12). Segmental tip %39, devamlı tip %27, karışık tip %29, fokal tip ise %5 oranında görülür. Etiyolojisi oldukça kompleks ve hem çevresel hem de genetik faktörler rol oynar. Genetik olarak kollajen ile ilgili birçok gen polimorfizminin yanında, BMP ve TGF- $\beta$  gibi sitokinler

de rol oynar. Diabet ve DISH (Diffuse idiopathic skeletal hyperostosis) de ossifiye PLL için bir risk faktörüdür (83).



Şekil-12: OPLL sınıflamasının şematik görünümü(1)

### 2.3.2.2. Dinamik Faktörler

Spinal kanal çapındaki azalma SSM' deki ana faktörlerden biridir. Fleksiyon veya ekstansiyon sırasında servikal omurga kanalı alanının yukarıda açıklanan kritik değer altına düştüğü bilinmektedir. Korpus posteriorunda spondilolitik değişiklikleri olan bir hastada omuriliğin anteriora doğru yer değiştirmesi osteofitlerin omurilik üzerine basısını artırdığı gibi servikal kifozda basının daha da artmasına yol açacaktır. Bu nedenle fleksiyon sırasında omuriliğin öne doğru yer değiştirmesi, omuriliğe mekanik stres uygular ve iskemi olasılığını artırır. Servikal dar kanalda ekstansiyon ile transvers kanal çapında artma ortaya çıksa da sagittal kanal çapının azalmasına neden olmaktadır ve efektif kanal çapı azalmaktadır. Fleksiyon sırasında bazı olgularda gerilen posterior longitudinal ligamanın protrüde disk dokusunu geriye itmesi ve ligamentum flavumdaki invajinasyonun düzelmesi gibi nedenlerle efektif kanal çapı artabilmektedir. Segmental hiperekstansiyon eğimi  $10^\circ$  ve üzerindeyse intramedüller sinyal değişikliği ihtimali belirgin artmaktadır (84). Ayrıca

hiperekstansiyon, transvers kesit alanının en geniş olduğu pozisyonudur ve hiperfleksiyon pozisyonuyla birlikte kesit alanında ortalama %30 azalma görülür. Ekstansiyon ile kesit alanında azalma servikal spondilolitik myelopati (SSM) hastalarının %80'inde görülmektedir ve en çok azaldığı saptanan segment C5-C6, sonrasında C4-C5'dir (85). Ayrıca ekstansiyonda omuriliğin üstteki vertebranın posteroinferioru ile bir alt vertebranın lamina veya ligamantum flavumu arasında sıkışmasına kısıkaç etkisi (pincer effect) denilmektedir.

### **2.3.2.3. İskemik Faktörler**

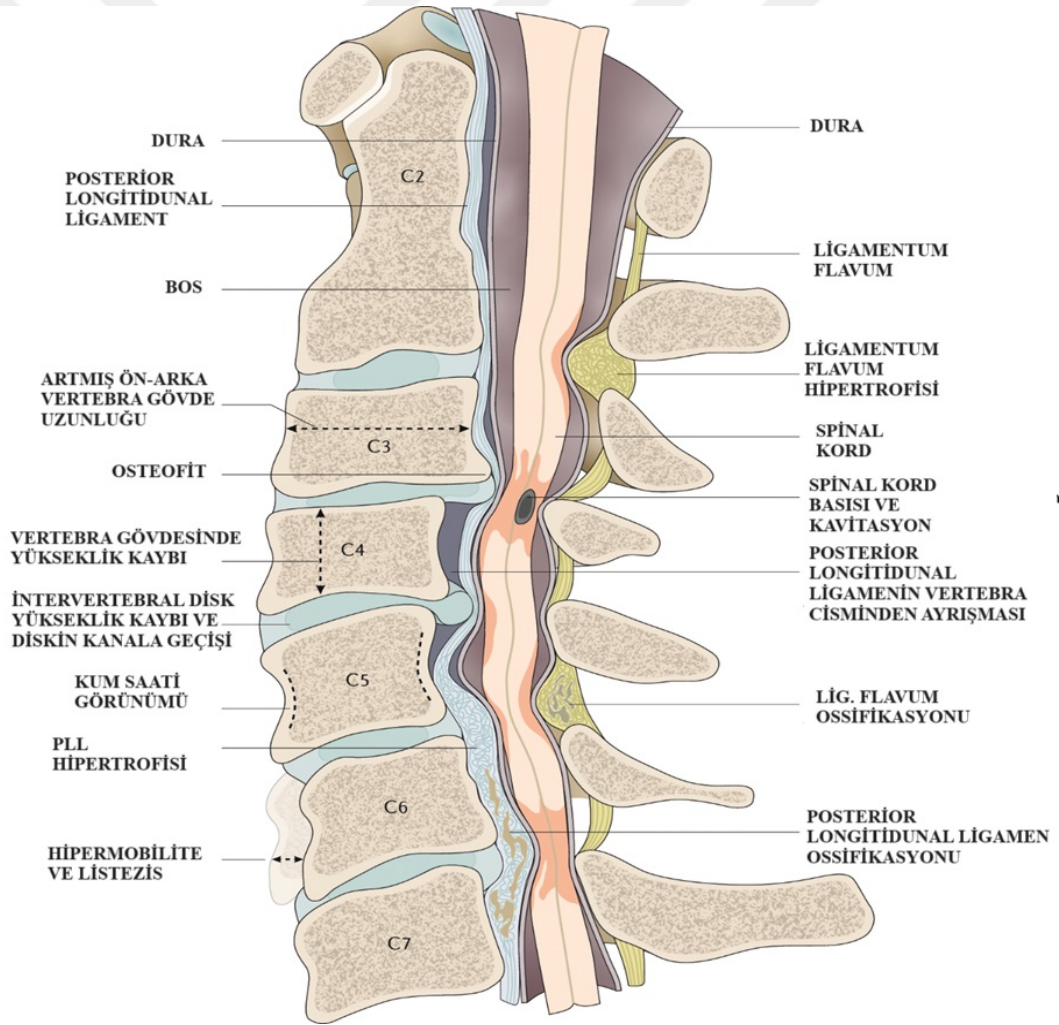
SSM'de omurilikte rol oynayan temel patofizyolojik süreçler iskemi, kan-omurilik bariyerinin bozulması, inflamasyon ve apoptoz ile ilgilidir ve bunların tümü kronik kord basısından kaynaklanır. İskemi, omuriliğin bölgesel ve lokal perfüzyon bozukluğunun bir sonucudur. Bası ve iskemi sonucunda anterior spinal arter ve parankimal arteriollerde kalınlaşma ve hiyalinizasyon ortaya çıkmaktadır. Histopatolojik çalışmalar SSM' de gri cevher ve beyaz cevherde iskemik hasar oluşurken deneysel çalışmalarda da kompresyon ve iskeminin de benzer histopatolojiye yol açtığı gösterilmiştir. Yapılan çalışmalarda pial pleksusdaki akımın bozulması, venöz konjesyon veya anterior spinal arter gibi daha büyük damarların kompresyonu olduğu ortaya konmuştur. Histopatolojik olarak en çok etkilenen bölgeler dorsal ve lateral kolonlardır. Lateral kolonda en çok etkilenen bölge osteofitik barların görüldüğü seviyelerde olmaktadır. Kortikospinal traktusta kompresyonun kaudalinde değişiklikler gözlenir ve iskemik hasarda en çok etkilenen bölgedir. Omuriliğin santral bölgesinin drenajı santral sulkal kıvrımlardan anterior median spinal vene doğru olmaktadır. Bu ven ventral osteofitlerin basısı altında kalabilir ve venöz akımının bozulması sonucu miyelopati gelişebilmektedir. Sonuç olarak, omurilikte görülen kelebek şekilli nekrozun arterial veya venöz akımın bozulması sonucu oluştuğu düşünülmektedir (86).

### **2.3.2.4. Moleküler Faktörler**

SSM'de iskeminin bir sonucu olarak hipoksik hücre ölümü, kronik omurilik kompresyonuna yanıt olarak endotel hücrelerinin kaybı ve fonksiyon bozukluğu nedeniyle zaten bozulmuş olan kan-omurilik bariyerinin daha da bozulmasına neden olur. Enflamatuar hücreler, kan-omurilik bariyerinin bozulması ve damar

geçirgenliğinin artması nedeniyle periferik dolaşımdan omurilik parankimine girer. Mikrogliaların aktivasyonu ve daha fazla proinflamatuvar sitokin salgılayan makrofajların toplanmasıyla bir inflamatuvar kaskat ortaya çıkar. İskemi ve inflamasyon, ilerleyici nöron ve oligodendroglial hücre ölümüyle sonuçlanan apoptotik yolları tetikler. Glutamatla ilişkili eksitotoksisite aynı zamanda SSM'de hücre ölümünde de rol oynayabilir. SSM'de histopatolojiye ilişkin bulgular arasında demiyelinizasyon, gliosis, mikrokistik kavitasyon, beyaz cevher yollarının Wallerian dejenerasyonu ve dorsal ve ventral boynuz atrofisi yer alır (86).

Sonuç olarak; SSM' deki patofizyoloji kompleks bir süreç olup tek bir faktörle açıklanamaz.



**Şekil-13:** Dejeneratif servikal miyelopatide servikal omurga ve omurilikte meydana gelen karakteristik patolojik değişikliklerin gösterimi (87).

## 2.4. SERVİKAL MYELOPATİDE KLİNİK BELİRTİLER

Hastalar semptomların kesin olarak başlangıç zamanını genellikle bilmezler. Karakteristik sendrom; boyunda ağrı ve sertleşme, kollarda ağrı ve beceriksizlik, bacaklarda değişen ataksiyle birlikte spastik güçsüzlükten oluşmaktadır (88). En sık rastlanan şikâyet, üst ekstremitede güçsüzlük ve beceri kaybıdır. Bunlar; düğme iliklerken, yazı yazarken veya daktilo kullanırken gerekli parmak hareketlerinde zorlukla kendini gösterir. En erken tutulan ve en çok etkilenen kaslar, elin intrinsik kaslarıyla triseps kasıdır (89).

Fizik muayenede miyelopatinin belirtileri arasında hiperrefleksi, klonus, Hoffmann ve Babinski refleksi, elin intrinsik kaslarının atrofisi, alt ekstremitte spastisitesi; veya geniş tabanlı, dengesiz bir yürüyüş vardır (90,91). Duyu değişiklikleri değişik şekillerde karşımıza çıkarken semptomlar tipik olarak parmak uçlarından başlar, zamanla tüm ele yayılabilir ve radiküler olmayan bir dağılım gösterir (92). Sfinkter kontrolünün kaybı ve üriner inkontinans nadir görülür. Ancak bazen hastalar sık idrara çıkma, duraksama ya da sıkışmadan yakınır (93). L'hermitte belirtisi ciddi basısı olan olgularda oluşur, spinal kanalın dar ve omuriliğin osteofitlerle bası altında olduğunu düşündürür (88). Hoffmann bulgusunun duyarlılığı, boynun tam fleksiyon ve tam ekstansiyona getirmeye zorlanıp test edildiğinde artar (dinamik Hoffmann bulgusu) ve SSM' nin erken tanısında önemlidir. Bir diğer önemli bulgu "Lhermitte bulgusu"dur. Eğer bulgu pozitifse boynun fleksiyonu esnasında sırttan bacaklara doğru elektrik soku benzeri bir duyu yayılır. Ancak bu bulgu SSM ye özgü değildir, bu hastaların %25' inde pozitifdir ve klasik olarak posterior kolonun fonksiyon bozukluğunu gösterir (94).

SSM ile ilişkili fonksiyonel bozukluğun ciddiyeti, modifiye Japon Ortopedi Birliği (mJOA) skorlaması (Tablo-2)(95) veya Nurick skalası (Tablo-3)(96) ile derecelendirilir. Yürüme bozukluğu Nurick tarafından miyelopatinin ağırlığını ortaya koymak için evrelendirilmiştir. Buna göre normalden (Evre 0) ağır miyelopatiye (Evre 5) kadar ayrılmıştır. Ancak bu evrelendirme daha çok alt ekstremitte motor fonksiyonunu ortaya koyar ve bu anlamda değerlendirmede yetersiz kalır. Daha sonraları Hirabayashi tarafından geliştirilen JOA (Japanese Orthopaedic Association) skalası çok daha ayrıntılıdır. Buna göre hastalar üst-alt ekstremitte motor fonksiyonu, duysal fonksiyon ve sfinkter disfonksiyonu parametreleriyle değerlendirilir. Uzak

doğuda yemek yerken kullanılan çubukları (chopstick) kullanma becerisini içeren bu skalayı batılı ülkelerde uygulamak güç olduğundan Benzel ve arkadaşları tarafından modifiye edilmiştir (95). . mJOA ölçeğinin göz önünde bulundurulması özellikle önemlidir çünkü SSM için geçerli klinik uygulama kılavuzları, şiddetli (mJOA puanı ≤11), orta (mJOA puanı 12-14) ve hafif (mJOA puanı 15) için mJOA ölçeğine göre sınıflandırmaya dayalı yönetim önerileri verir. Tamamen normal hastaların skoru bir başka deyişle maksimum skor 18'dir. mJOA skoru ameliyat endikasyonu koyarken ve postoperatif izlem için kullanılmaktadır. JOA skoru 14 altında olan hastalarda cerrahi tedavi endikasyonu vardır.

<b>Tablo-2</b>	
<b>MODİFİYE JOA (JAPON ORTHOPEDİC ASSOCIATION) SKORLAMASI</b>	
<b>A. Üst ekstremite motor fonksiyon bozukluğu</b>	
0	Ellerini hareket ettiremiyor
1	Ellerini hareket ettiriyor, ancak kaşıkla yemek yiyemiyor
2	Kaşıkla yemek yiyebiliyor, ancak düğme ilikleyemiyor
3	Düğmeleri büyük zorlukla ilikleyebiliyor
4	Düğmeleri hafif zorlukla ilikleyebiliyor
5	Normal, hiç bozukluk yok
<b>B. Alt ekstremite motor fonksiyon bozukluğu</b>	
0	Motor ve duysal fonksiyonda tam kayıp
1	Duyu korunmuş, ancak ayaklarını oynatamıyor
2	Ayaklarını oynatabiliyor, ancak yürüyemiyor
3	Bir destek (baston veya walker ile) kullanarak düz zeminde yürüyebiliyor
4	Bir destekle merdiven inip çıkabiliyor
5	Yürüyüşte orta derecede veya şiddetli instabilite, fakat merdivenleri desteksiz inip çıkabiliyor
6	Yürüyüşte hafif derecede instabilite, fakat yardımsız olarak yürüyebiliyor
7	Disfonksiyon yok
<b>C. Üst ekstremitelerin duysal disfonksiyon bozukluğu</b>	
0	Ellerde tam duyu kaybı
1	Şiddetli duyu kaybı veya ağrı
2	Hafif duyu kaybı
3	Normal
<b>D. Sfinkter fonksiyon bozukluğu</b>	
0	İstemli idrar yapamama
1	İdrar yapmada belirgin zorluk
2	Hafif veya orta derecede idrar yapma zorluğu
3	Normal

<b>Tablo-3</b>	
<b>NURİCK SKALASI</b>	
<b>Grade 0</b>	Myelopati yok, minimal radikülopati var.
<b>Grade 1</b>	Hafif myelopati var, yürüme normal.
<b>Grade 2</b>	Hafif-orta seviyede myelopati var, yürüme etkilenmiş, çalışabilir.
<b>Grade 3</b>	Orta derecede myelopati var, yürüme bozulmuş, çalışamaz, evde bağımsız.
<b>Grade 4</b>	Orta-şiddetli myelopati var, yürüteç ve birinin desteği gerekli.
<b>Grade 5</b>	Şiddetli myelopati var, tekerlekli sandalyede.

## 2.5. SERVİKAL MYELOPATİDE GÖRÜNTÜLEME

Genel olarak SSM'de görüntülemenin rolü, anatomik kaynağı tanımlamak ve omurilik basısının ciddiyetini değerlendirmek, omurganın bölgesel ve/veya genel dizilimini değerlendirmek ve cerrahi planlamayı kolaylaştırmaktır. Manyetik rezonans görüntüleme (MR), omuriliğin yanı sıra intervertebral diskler ve bağlar da dahil olmak üzere yumuşak doku yapılarının yüksek çözünürlükte değerlendirilmesini sağlayan görüntüleme yöntemidir. MR, dejeneratif değişikliklerin doğasını ve derecesini belirlemede (örn. spondiloz, OPLL, ligamentum flavumun ossifikasyonu, ligamentum flavumun hipertrofisi), omurilik kanalının çapının değerlendirilmesinde, omuriliğin sıkışmasının belirlenmesinde, sinyal yoğunluğunun tespit edilmesinde faydalıdır. Omurilik parankimi içindeki değişiklikleri ortaya koyar ve miyelopatinin diğer olası nedenlerini (örneğin, tümör, vasküler malformasyon, demiyelinizan plak, siringomiyeli) potansiyel olarak dışlar (97,98). Bilgisayarlı tomografi (BT), MR'yı tamamlar ve özellikle kemik anatomisinin incelenmesinde faydalıdır. Ayrıca BT miyelografi, kontrendikasyonları olan (örn. kalp pili) hastalarda MR'ya değerli bir alternatiftir. Düz röntgenler, fizyolojik yük altında dik pozisyonda bölgesel veya genel dizilimin incelenmesinde faydalıdır ve fleksiyon-ekstansiyon röntgenleri, anormal hareket ve instabiliteyi gösterir (99). Ayrıca, röntgenler spondiloz, dejenere diskler, omurilik kanalı daralması ve kemik füzyonunun kapsamlı bir değerlendirmesini sağlar.

## 2.6. SERVİKAL MYELOPATİDE TEDAVİ

Konservatif tedavi ve cerrahi tedavi olarak ikiye ayrılır. Konservatif tedavi daha çok akut yumuşak disk hernisinde uygulanır. Çok etkili olmamakla birlikte semptomların hafiflemesine yardımcı olabileceği bildirilmiştir. Konservatif tedavide yatak istirahati, immobilizasyon (boyunluk gibi), anti inflamatuvar ilaçlar, aerobik egzersizler, duruş ve duruş eğitimi, ekstansör kas güçlendirme egzersizleri kullanılır. Servikal omurganın dejenerasyonundan kaynaklanan bir hastalık olan servikal miyelopatinin yavaş ilerlemesi, herhangi bir klinik semptomun görülmediği yıllar ile sonuçlanabilir veya ani semptom ataklarıyla belirginleşebilir. SSM'de semptomların süresi ile cerrahi fayda arasında bir ilişki vardır. Cerrahinin zamanlaması çok önemlidir ve klinik bulgusu olmayan hastaların yakın takibini gerektirir. Servikal dejeneratif hastalıklarda cerrahi yöntemler Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa da anterior cerrahi olarak gelişmiştir. Uzakdoğu'da Japonya ve Kore'de ise posterior servikal cerrahi daha ön plana çıkmıştır. SSM'de anterior girişim ile çoklu seviye diskektomi veya korpektomi, posterior girişim ile laminektomi, laminoplasti, atlayarak laminektomi (skip laminectomy), hemilaminektomi cerrahi tedavi alternatifleridir (100).

- Bu aşamada servikal spinal kanalı genişletici posterior cerrahi girişimlerin teknik özelliklerinden ayrıntılı olarak bahsedilecektir.

## 2.7. SERVİKAL SPİNAL KANALI GENİŞLETİCİ POSTERİOR CERRAHİ GİRİŞİMLER

Servikal omurga cerrahisinde kullanılan girişimler anterior, posterior, anterior-posterior kombine ve anterolateral girişimler olarak sayılabilir. Servikal omurgaya yönelik ilk ameliyatlarda posterior ile olmuştur. Son dört dekat içinde anterior servikal yaklaşımlar basit anterior diskektomi tekniklerinden anterior enstrümantasyonlu çok seviyeli korpektomilere kadar gelişme göstermiştir. Paraspinal kasların sıyrılması sonrası potansiyel olarak daha fazla rahatsızlık duyulması ve hastanede kalış süresinin daha uzun olması ile laminektomi sonrası deformitenin sıklığı hakkında farkındalık konusunda düşünceler de olmuştur. Bu faktörlerin hepsi bazı cerrahların posterior yaklaşıma olan hevesini azaltmıştır. Her

şeye rağmen birkaç durum geniş yaklaşımları gerektirir ve en iyi posterior servikal omurga cerrahisi ile tedavi edilirler. Servikal posterior segmental fiksasyonu için lateral mas plaklarının mevcut olması ve laminoplasti tekniklerinin artması cerrahın posterior bir teknik seçmede daha fazla serbestlik hissetmesini sağlamıştır. Her ne kadar anterior veya posterior bir seçme tercih konusu olsa da belli durumlar belirli bir yaklaşımı açıkça zorunlu kılar.

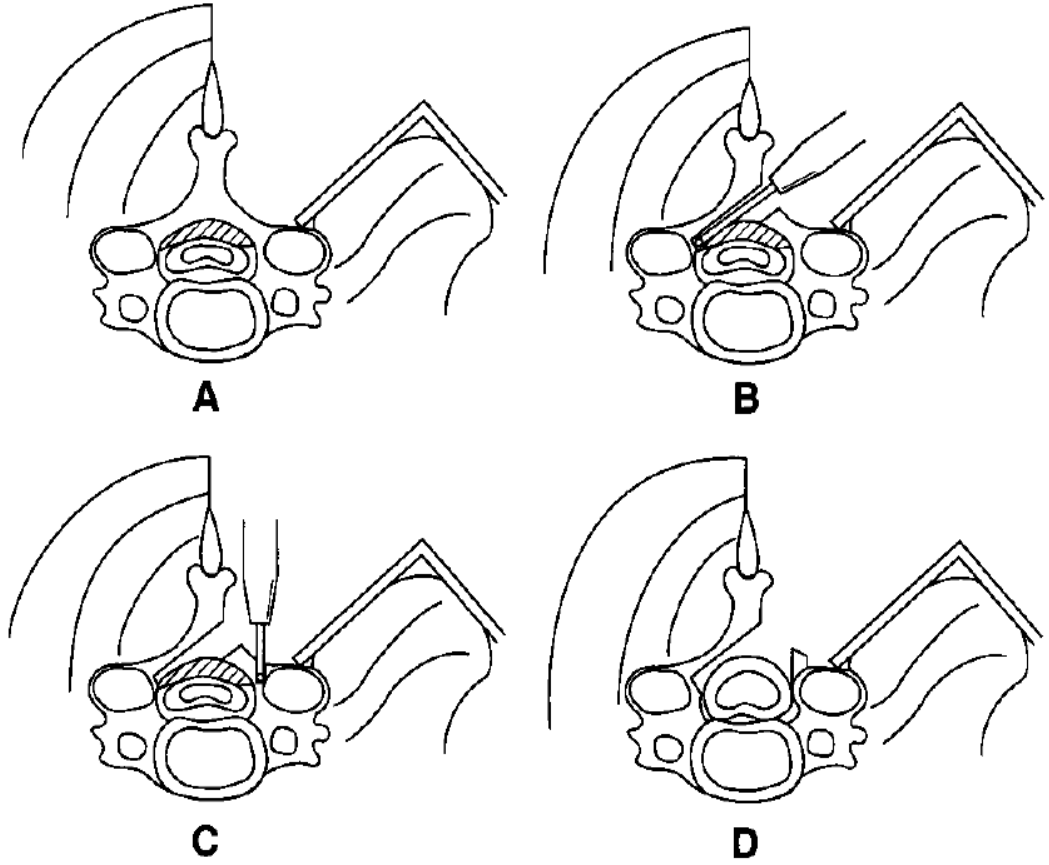
Bu bölümde posterior cerrahi yaklaşımda kullanılan hemilaminektomi, laminektomi, laminektomi ve füzyon, laminoplasti ve atlayarak laminektomi (skip laminectomy) tekniklerinden bahsedilecektir.

### **2.7.1. Hemilaminektomi**

Tek taraflı hemilaminektomi ile bilateral dekompresyon, SSM'li olgular için yeni bir cerrahi tekniktir ve yaygın anterior ve posterior yaklaşımlara alternatif olarak düşünülmelidir. Hemilaminektomide, posterior elemanlar ve paravertebral adalelerin muhafaza edilmesi, enstrüman ve füzyon kullanılmaması ile postop servikal hareketliliğin devamı ve servikal lordotik yapının korunması hedeflenmektedir. Servikal bölgede ilk kez Hidayi ve ark. tarafından tanımlanmıştır (101). Tek taraflı hemilaminektomi ile bilateral dekompresyon, posteriordan omurilik basısı olan olgular için daha uygun bir cerrahi tekniktir. Kifotik servikal omurgada veya spinal kanal çapının %50'den fazla azaldığı durumlarda önerilmemektedir (102). Hidayi ve arkadaşları tarafından Japonya'da gerçekleştirilen tek taraflı dorsolateral dekompressif hemilaminektomi uygulamasında kontralateral bölgedeki posterior spinal elemanlar ve paravertebral adaleler korunarak postoperatif dönemde sagittal dizilimin korunmasına katkıda bulunulmuştur (101). Minamide ve arkadaşları SSM tedavisine yönelik olarak mikroendoskopik hemilaminektomi dekompresyon işlemini başarıyla gerçekleştirmişlerdir (103).

Hemilaminektomi ameliyatında hasta genel anestezi altında, çivili başlık ya da ay başlık ile pron pozisyonda baş hafif fleksiyonda tespit edilir. Fleksiyon posterior cilt katlantılarını azaltarak girişimi ve cilt kapatılmasını kolaylaştırır, laminaların arasının açılmasını sağlar, spinal kanalın hafif genişlemesine ve epidural venöz basıncın azalmasına yardımcı olur. Ancak pozisyon verilirken aşırı fleksiyondan kaçınılmalıdır. Cerrahi alan temizliği ve steril kapamayı takiben

posterior orta hat cilt insizyonu yoluyla servikal fasyaya ulaşılır. Muayene bulgularının daha belirgin olduğu semptomatik taraftan, belirgin bası izlenen seviyelerde, C3 ten C7superioruna kadar paravertebral adaleler subperiostal olarak sıyrılarak, ekartör yardımıyla laminalar faset eklemi medialine kadar ortaya konulur. C2 ve C7 ye yapışan kaslar ve kontralateral bölgedeki paravertebral adaleler tamamıyla muhafaza edilir. Skopi ile mesafe tayini yapıldıktan sonra mikroskop eşliğinde; sıyrılan taraftaki lamina, yüksek hızlı drill kullanılarak spinöz proçeslerin bazal kısmından parsiyel çıkarılır. Kontralateral taraftaki laminanın iç katmanı da dikkatlice drillenerek; tüm dış korteks ve az miktarda spongioza yerinde kalacak şekilde iç lamina dural kesenin karşı kenarına kadar çıkarılır. Bu aşamada duranın şişmesini önlemek için ligamentum flavum çıkarılmaz. Lateral drilleme, lamina faset sınırı boyunca bir çizgide yapılır. Son olarak ligamentum flavum dikkatlice çıkarılarak spinal kanalın hemilaminektomi ile bilateral dekompresif cerrahisi tamamlanır (101).



**Şekil-14:** Tek taraflı hemilaminektominin cerrahi prosedürünü gösteren diyagramlar(101)

A: Semptomatik taraftaki paravertebral kaslar subperiostal sıyrılır, kontralateral taraf kasları ve posterior spinal elemanlar korunur. B: Kontralateral ligamentum flavum üzeri serbestleştirilir, spinal kord çok dikkatlice korunur. C: Semptomatik taraftaki lamina faset medialine kadar yüksek devirli tur ile drillenir, faset eklemi korunur. D: Bilateral ligamentum flavum çıkarılır.

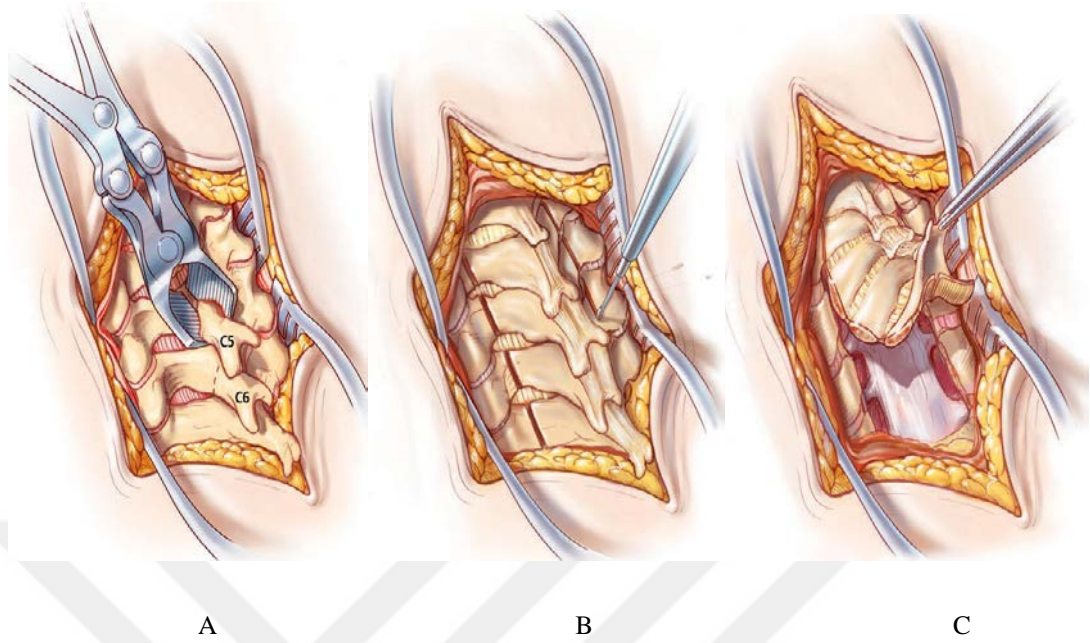
Bu cerrahi teknik ile omuriliğin dekompresyonunun mümkün olduğu; ayrıca tek taraflı kas sıyrılması ile invaziv girişimden kaçınılması, implant kullanımına gerek olmaması ve daha kısa operasyon sürelerinin olması gibi diğer posterior cerrahi tekniklere göre avantajları olduğu belirtilmektedir. Bununla birlikte; bilateral foraminotomi yapılamaması, instabilite durumunda lateral mass vidalar ile unilaterale stabilizasyonun yeterli olmaması gibi dezavantajları da mevcuttur (104).

## 2.7.2. Laminektomi

Laminektomi SSM tedavisinde uzun yıllardır en çok kullanılan yöntemlerden biri olarak yer almıştır (105). Özellikle servikal spondilozda, OPLL'na bağlı omurga kanalındaki daralma, omurga ve omurilik tümörlerinde, nadiren de travmayla oluşan omurga yaralanmalarında tercih edilen bir yöntemdir. Daha çok lordozu normal olan arkadan basılı olgularda endikedir. Lordoz düzleşmesinin olduğu olgularda laminektomi yapılacaksa füzyon ile yapılmasında yarar vardır (106,107). Laminektominin amacı, posteriordan bası yapan elemanların alınmasıyla spinal kanalın genişlemesini sağlamaktır. Böylece dura ve omurilik; bası yapan osteofitlerden, hipertrofik ligamentum flavumdan ve fasetlerden uzaklaşarak rahatlayacaktır. Vertebral kanal genişleyerek anterior basıların etkisini de azaltacaktır. Ayrıca laminektomi işlemiyle birlikte foraminotomi de yapılarak radiküler ağrı, parestezi, motor kayıp, dermatomal duyu kayıplarının düzelmesi sağlanabilir (108,109). Total laminektomiyle beraber faset eklemine tahrip etmesi, spinöz çıkıntı ve posterior ligamanların alınması sonucu kifoz oluşma riskinin yüksek olması füzyon içeren alternatif cerrahi teknik arayışlarını doğurmuştur. Ayrıca laminektominin bir diğer komplikasyonu zamanla gelişen ve laminektomi membranı olarak adlandırılan fibrozisin kanalı yeniden daraltmasıdır (110).

Laminektomi operasyonunda hasta genel anestezi altında, çivili başlık ya da ay başlık ile pron pozisyonda baş nötr veya hafif fleksiyonda sabitlenir. Cerrahi alan temizliği ve steril kapamayı takiben posterior orta hat cilt insizyonu yoluyla servikal fasyaya ulaşılır. Fasya açılarak paravertebral kaslar iki taraflı olarak spinöz çıkıntılardan, laminalardan ve yan kitlelerden subperiostal olarak sıyrılır. Skopi ile mesafe tayini yapıldıktan sonra bilateral laminalarda faset sınırı boyunca yüksek hızlı drill ile laminektomi oluşturulur. Aradaki bağları ve flavumu çıkarmak için küçük bir Kerrison rongeur kullanılır. Daha sonra supraspinöz çıkıntı ve lamina, flavumla birlikte yavaşça kaldırılır. Laminektomi bitince daha lateraller de alınarak spinal kanal çapı genişletilir ve omurilik dekomprese edilir. Gerekirse foraminotomiler

yapılabilir. Fasetin medial 1/4'ünden fazlası alınmamalıdır. (111)



**Şekil-15:** Laminektominin cerrahi prosedürünü gösteren diyaagramlar(112)

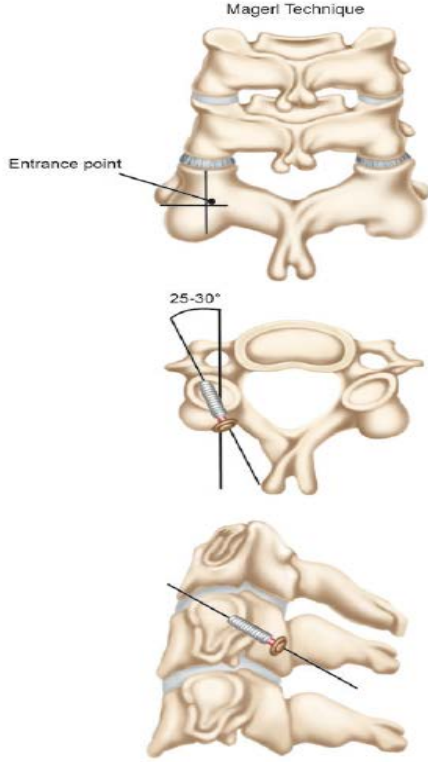
A: Ronguer yardımıyla spinöz çıkıntıların uzaklaştırılması, B: Olukların drilllenmesi, C: Spinöz çıkıntıların ve laminaların bütün olarak çıkarılması

Laminektomi tek başına; fokal posterior veya kombine anterior basıya sahip olan, servikal lordotik kurvaturu korumuş olan ve instabilite riski az olan olgularda kullanılabilir. Literatürde diğer tekniklere benzer başarı oranları belirtilse; ilerleyici uzun süreli nörolojik iyileşme kaybı ve postlaminektomi kifozu nedeniyle bu teknik diğer tekniklere oranla daha az kullanılmaktadır (113).

### 2.7.3. Laminektomi Ve Füzyon

Laminektomi uzun dönemde instabiliteye ve kifotik deformiteye neden olabildiği için alternatif olarak posterior spinal füzyon ile kullanılmaya başlanmıştır. Daha önceden kifozu veya normal servikal lordoz kaybı olan hastalarda laminektomi, kifotik deformitenin ilerlemesine neden olabilir. Dejeneratif hastalığı nedeniyle laminektomi uygulanan ve lordoz kaybı olan hastalarda kifotik deformiteden sakınmak için posterior servikal enstrümantasyon ile faset eklem aralığına füzyon yapılması önerilmektedir (114).

Günümüzde posterior servikal rijid fiksasyon için lateral mass plak/vida (yan kitle vidalaması) uygulaması tercih edilmektedir. Bununla birlikte, uzun dönem stabilizasyon sağlamaz. Bunun için kemik füzyon gereklidir. Transpediküler vidaların sıyrma direnci lateral mass vidalarından daha iyi olmasına rağmen, riskleri daha fazladır.

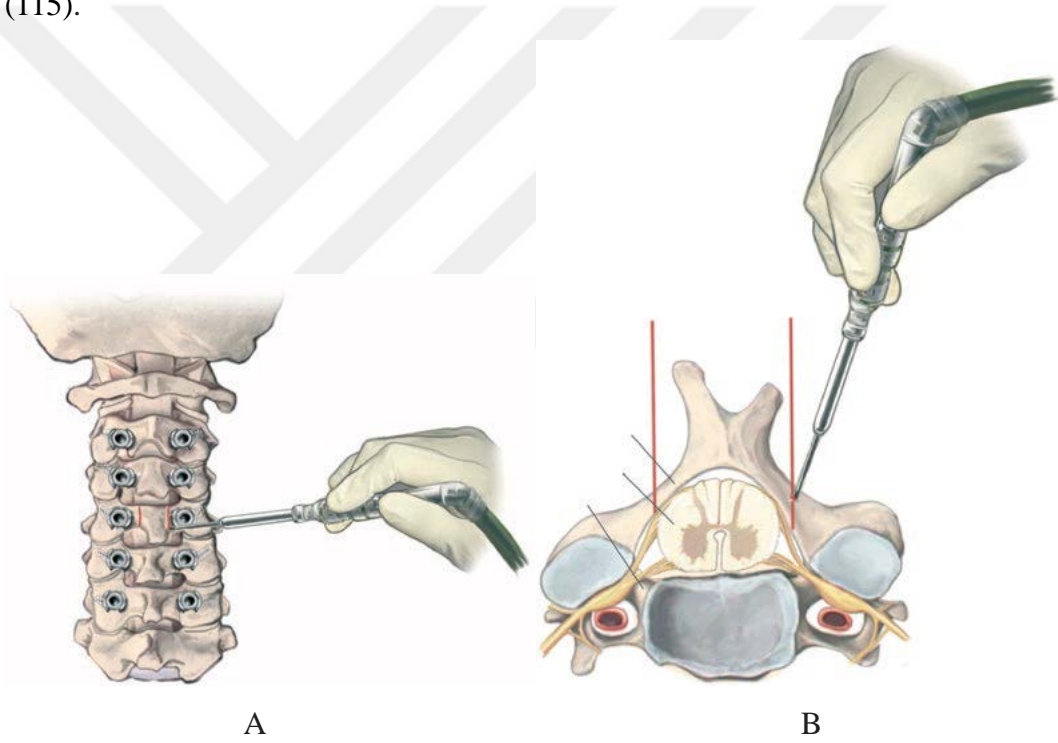


**Şekil-16:** Yan kitle (lateral mass) vidalamasının cerrahi prosedürünü gösteren diyagramlar

Laminektomi ve yan kitle vidalaması operasyonunda hasta genel anestezi altında, çivili başlık ya da ay başlık ile pron pozisyonda baş nötr veya hafif fleksiyonda sabitlenir. Cerrahi alan temizliği ve steril kapamayı takiben posterior orta hat cilt insizyonu yoluyla servikal fasyaya ulaşılır. Fasya açılarak paravertebral kaslar iki taraflı olarak spinöz çıkıntılardan, laminalardan ve yan kitlelerden subperiostal olarak sıyrılır. Skopi ile mesafe tayini yapıldıktan sonra enstrümantasyon sırasında omurilikte hasara yol açmamak ve yan kitle vidalarını yerleştirirken yönelimlerini kaybetmemek amacı ile laminektomi öncesi enstrümantasyon yapılmalıdır. Yan kitle vidalaması için yan kitlenin ortasının 1 mm mediali en uygun yerdir (Magerl yöntemi). Buradan vida aksiyal planda 25° laterale, sagittal planda komşu faset ekleme paralel olacak şekilde (yaklaşık 30°) kraniale

doğru yönlendirilir. Yan kitle vidalaması sonrası stabilizasyon plak ya da rod sistemleri ile sağlanır. Enstrümantasyon sonrasında, bilateral laminalarda faset sınırı boyunca yüksek hızlı drill ile laminektomi oluşturulur. Aradaki bağları ve flavumu çıkarmak için küçük bir Kerrison rongeur kullanılır. Daha sonra supraspinoz çıkıntı ve lamina, flavumla birlikte yavaşça kaldırılır. Laminektomi bitince daha lateraller de alınarak spinal kanal çapı genişletilir ve omurilik dekompresye edilir. Gerekirse foraminotomiler yapılabilir.

Laminektomi ve füzyon uygulanması kifozun lordoza dönüşmesine izin vererek miyelopati tedavisine olanak sağlamaktadır. Preoperatif instabilitenin olduğu olgular ile lordoz düzleşmesinin olduğu olgularda füzyon yapılması önerilmektedir (115).



**Şekil-17:** Servikal omurganın lamina ve lateral kitlelerin açığa çıktığı ve vidaların yerleştirildiği arka görünümü (A). Enstrümantasyon tamamlandıktan sonra, laminektomi bir matkapla veya cerrahın tercihine göre başka bir şekilde gerçekleştirilecektir. Eksenel görünümde dekompresyonun genişliği gösterilmektedir (B).

#### 2.7.4. Laminoplasti

1970'lere kadar laminektomi servikal omurga için tek posterior dekompresyon prosedürüydü. Yüksek hızlı matkapların kullanılmaya başlanması, sinir dokusunun hassas ve güvenli bir şekilde dekompresyonuna olanak sağladı. Bazı vakalarda, laminektomi sonrası arka elemanların eksizyonundan kaynaklanan mekanik stabilite kaybı, özellikle kifotik deformite nedeniyle olduğuna inanılan postoperatif nörolojik bozulma sergiledi. Buna göre 1973 yılında Oyama ve Hattori hem omurilik kanalının dekompresyonunu güvence altına alan hem de arka kemik elemanlarını koruyan Z-plastiği icat etti (116). Lamina rezeke edilmeden omurga kanalının genişletilmesinin ilk tanımından sonra, Hirabayashi ve ark.(117) açık kapı laminoplasti ve Kurokawa ve ark.(118) çift kapı laminoplasti (yani spinöz proses splitting laminoplasti, aynı zamanda Fransız kapı laminoplastisi olarak da bilinir) bildirdiler. O zamandan bu yana, genişlemiş omurga kanalının stabilitesini sağlamayı ve kas ve bağ yapılarına yönelik invazyonu en aza indirmeyi amaçlayan, bu iki laminoplasti tekniğini temel alan birçok değiştirilmiş teknik tanımlanmıştır. Laminoplastinin sağladığı posterior elemanların korunmasının postlaminektomi kifoz insidansını azaltmaya yardımcı olduğu ve yeniden yapılandırılan omurga için sertlik sağladığı düşünülse de, bu hipotezi destekleyen kesin bir kanıt yoktur (3).

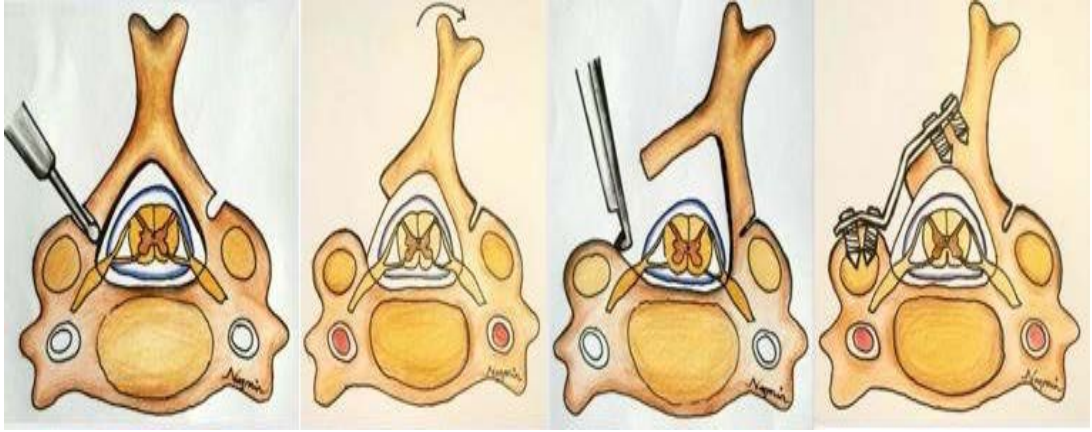
Servikal dejeneratif hastalıklarda hangi cerrahi yöntemin seçileceği çok önemli bir konudur. Çok sayıdaki cerrahi yöntemler hastanın patolojisine göre tek tek irdelenerek uygulanmalıdır. Servikal laminoplasti endikasyonları servikal spondilolitik myeloradikülopati, doğumsal servikal dar kanal, posterior longitudinal ligaman ossifikasyonu sürekli tip ve bunların 3 veya üzerindeki seviyelerdir. Ayrıca dura içi cerrahide kullanılabilecek bir yöntemdir (119).

Bugün için en fazla kullanılan yöntemler; Hirabayashi'nin açık-kapı(open-door) laminoplasti yöntemi ile Kurokawa'nın çift kapı laminoplasti(french-door) spinöz çıkıntı ayırma yöntemleridir.

Laminoplasti operasyonunda hasta genel anestezi altında yüzükoyun çivili başlıkta prone pozisyonda ameliyata alınır. Bu pozisyonun en önemli yararı hastanın her üç yönde çevresinde çalışma olanağının olabilmesidir. Ayrıca skopide çok rahat kullanılabilir. Deri, deri altı ve paravertebral kaslar yöntemine uygun açılır. Burada dikkat edilmesi gereken önemli noktalardan birisi C6-7 segmentinde

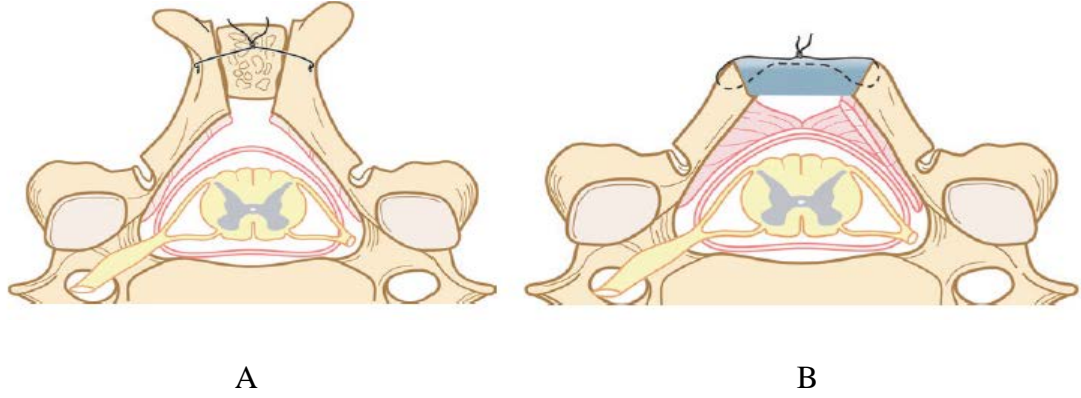
instabilite ve kifotik deformitenin önüne geçmek için C6 ve C7 spinöz uzantılarına yapışan nuchal ligamentlerin yapısının korunmasıdır. Erector spinae kaslarının C2 ye yapışma yerinin korunması ve nuchal ligamanların bütünlüğünün korunması fleksiyon deformitesinde çok önemlidir (120). C2 ye yapışan semispinalis cervicis korunması postoperatif süreçte servikal hareket ve lordotik yapının korunmasında önemlidir.

Açık kapı laminoplastide; laminanın bir tarafı yüksek devirli tur ile kesilir, diğer tarafta ise laminanın iç korteksi korunarak sadece dış kortekste kesim yapılır. Daha sonra lamina küçük bir periost kaşığı aracılığı ile kaldırılır. Daha sonra kaldırılan lamina, miniplak veya özel geliştirilmiş plaklar ile sabitlenir. Laminaların spinöz uzantıları arasındaki bağlantıların kesilmesine gerek yoktur.



**Şekil-18:** Modifiye açık kapı laminoplastisi için ameliyat tekniğini gösteren diyagramlar

Çift kapı laminoplasti yönteminde ise spinöz uzantılar ortadan kesilerek yanlara doğru açılır ve kanal genişletilir. Spinöz uzantının kesilmesinde Tomita teli veya yine yüksek devirli turlar kullanılabilir. Çift kapı laminoplasti yönteminde açılan spinöz uzantıların arasına daha sonra kemik greft veya benzeri bir ürün konularak spinöz uzantıların ayrık kalması ve kanalın genişlemesi sağlanır.



**Şekil-19:** Çift açık kapı laminoplasti. (A) İliak krest kemik grefti kullanılarak çift açık kapılı laminoplasti. (B) Hidroksiapatit ayırıcı kullanılarak çift açık kapılı laminoplasti.(112)

### 2.7.5. Atlayarak Laminektomi (Skip Laminectomy)

Ense ve omuz ağrısı, boyun hareketlerinin kısıtlanması gibi aksiyal semptomlar ve servikal lordozun azalması, servikal omurgaya posterior girişimlerde önemli postoperatif problemler olmuştur. Son yayınlar, derin ekstansör kaslar da dahil olmak üzere arka ekstansör mekanizmalara intraoperatif hasarın, bu sorunlara neden olan ana faktörlerden biri olduğunu öne sürmektedir (121,122). Hasarı en aza indirmek için Shirashi, uygun seviyelerde standart bir laminektominin, spinöz çıkıntılara kas bağlantılarının bozulmadığı diğer seviyelerde laminaların sefalik yarısının kısmi laminektomisi ile birleştirildiği atlayarak laminektomiyi (skip laminectomy) geliştirmiştir (4). Bu işlem spondiloz, SSM, disk herniasyonu, ligamentum flavum kalsifikasyonu, posterior longitudinal ligamanın (OPLL) ossifikasyonu gibi çeşitli patolojilere bağlı servikal miyelopatide uygulanabilmektedir.

Atluyarak laminektomide amaç enstrümantasyon cerrahisi olmadan servikal mobilite ve stabiliteyi korurken yeterli omurilik dekompresyonunu sağlamaktır.

Shirashi ve arkadaşları olgularını gözden geçirdiğinde, endikasyon sınırlarının lateral röntgenogramlarda; 20°'den az lokal kifoz, 3,5 mm'den az anterior kayma ve 15°'den az posterior vertebral eğim olduğunu ortaya koymuştur. OPLL için sınır, lezyon tarafından kanal işgal oranının %60'tan az olması olarak belirlenmiş (123).

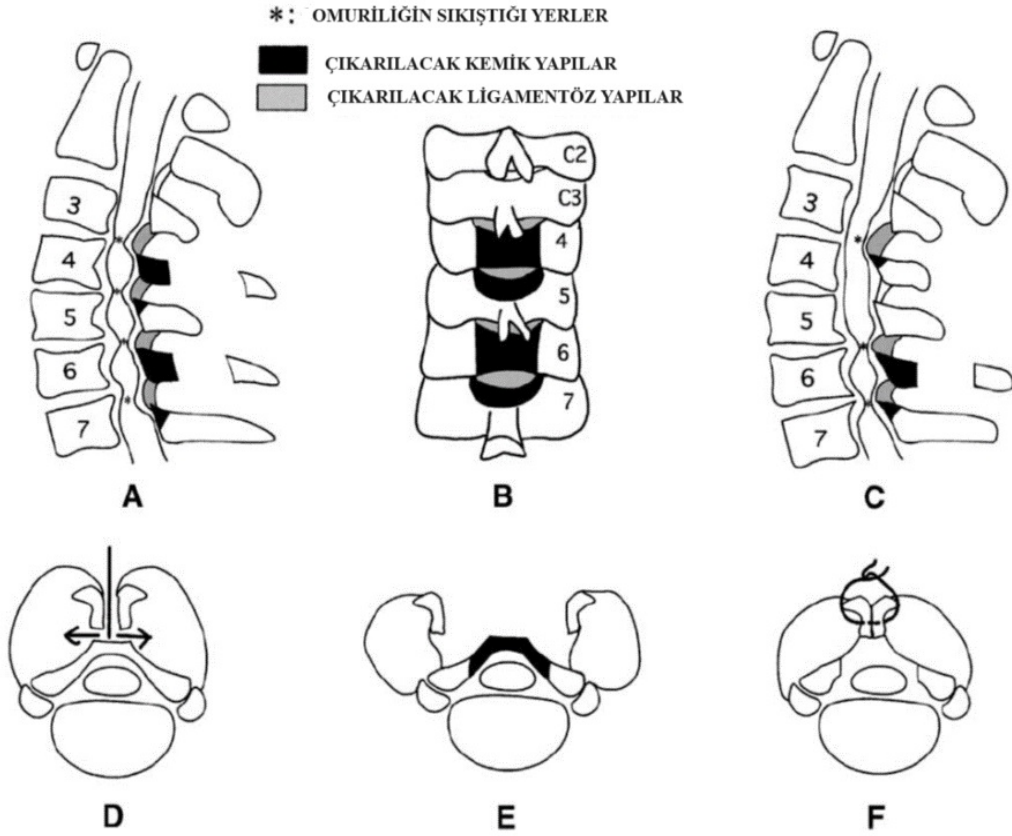
Dekompresyon yapılacak seviye(ler), boynun nötral veya ekstansiyon pozisyonunda preoperatif dinamik T2 ağırlıklı sagittal manyetik rezonans görüntülerinde (MRG) omuriliğin hem posteriorunda hem de anteriorunda boşluğun tamamen tıkanması ile belirlenmiştir (124). Etkilenen her seviyede laminektomi genişliğinin, ameliyat öncesi T2 ağırlıklı aksiyal MRG'de omurilikten 2-3 mm daha büyük olmasına karar verildi. Bir başka çalışmada laminektomi genişliği  $17 \pm 3$  mm olarak bulunmuştur (125). Ardışık 2 seviyeli dekompresyon genellikle tek bir laminanın mono laminektomisi ve alt komşu laminanın kranial yarısının kısmi laminotomisi ile etkilenen seviyeler arasında flavektomi ile gerçekleştirilir. Ardışık 3 seviyeli dekompresyon, etkilenen seviyeler arasında komşu iki laminanın çift laminektomisi ile elde edilir. Dört veya daha fazla laminanın ardışık laminektomisi genellikle devamlı tip OPLL veya gelişimsel kanal stenozu için gereklidir. Sürekli OPLL veya yaygın kanal stenozu dışında, her zaman ardışık laminektomi gerektirmeyen çok seviyeli lezyonu olan bazı vakalar vardır. Bu tür vakalar için atlayarak laminektomi endikasyonu vardır. Sürekli tipte yoğun OPLL'de olduğu gibi, servikal kanalın aşırı daralması olan vakaların tedavisinde atlayarak laminektomi kullanılmamalıdır.

Atlayarak laminetomi operasyonunda hasta genel anestezi altında, Mayfield at nalı baş desteği kullanılarak boynu nötr pozisyonda olacak şekilde yüzükoyun yatırılır. Yoğun OPLL, büyük anterior osteofitler veya masif disk herniasyonu gibi şiddetli anterior kompresyonları olanlarda fleksiyon veya çene bükülmüş pozisyonda tutulmamasına dikkat edilmelidir, aksi takdirde omurilik, ameliyat boyunca lezyonlara daha da sert bir şekilde basılacaktır. Derin ven trombozunu önlemek için her iki bacağı da varis çorabı uygulanır.

Aşağıda açıklanacak yöntem, C3-4 ve C6-7 arasında dört seviyeli bir dekompresyona dayanmaktadır (Şekil-20, A ve B). C4 ve C6 spinöz çıkıntılarının seviyesi arasında posterior orta hat cilt insizyonu yapılır. Ense fasyası cilt insizyonu ile aynı hizada bölünür. Ardından C3-4, C4-5, C5-6 ve C6-7 interspinöz boşluklarında sağ ve sol derin ekstansör kaslar arasındaki orta hattaki aralık belirlenir. Bu aralık, her bir aralıktaki lamina ve ligamentum flavumun kranial yarısını ortaya çıkarmak için ince spatül şekilli bir ekartör ile ayrılır (Şekil-21, A). C2'nin altındaki kasların servikal laminaların kranial yarısına değil kaudal

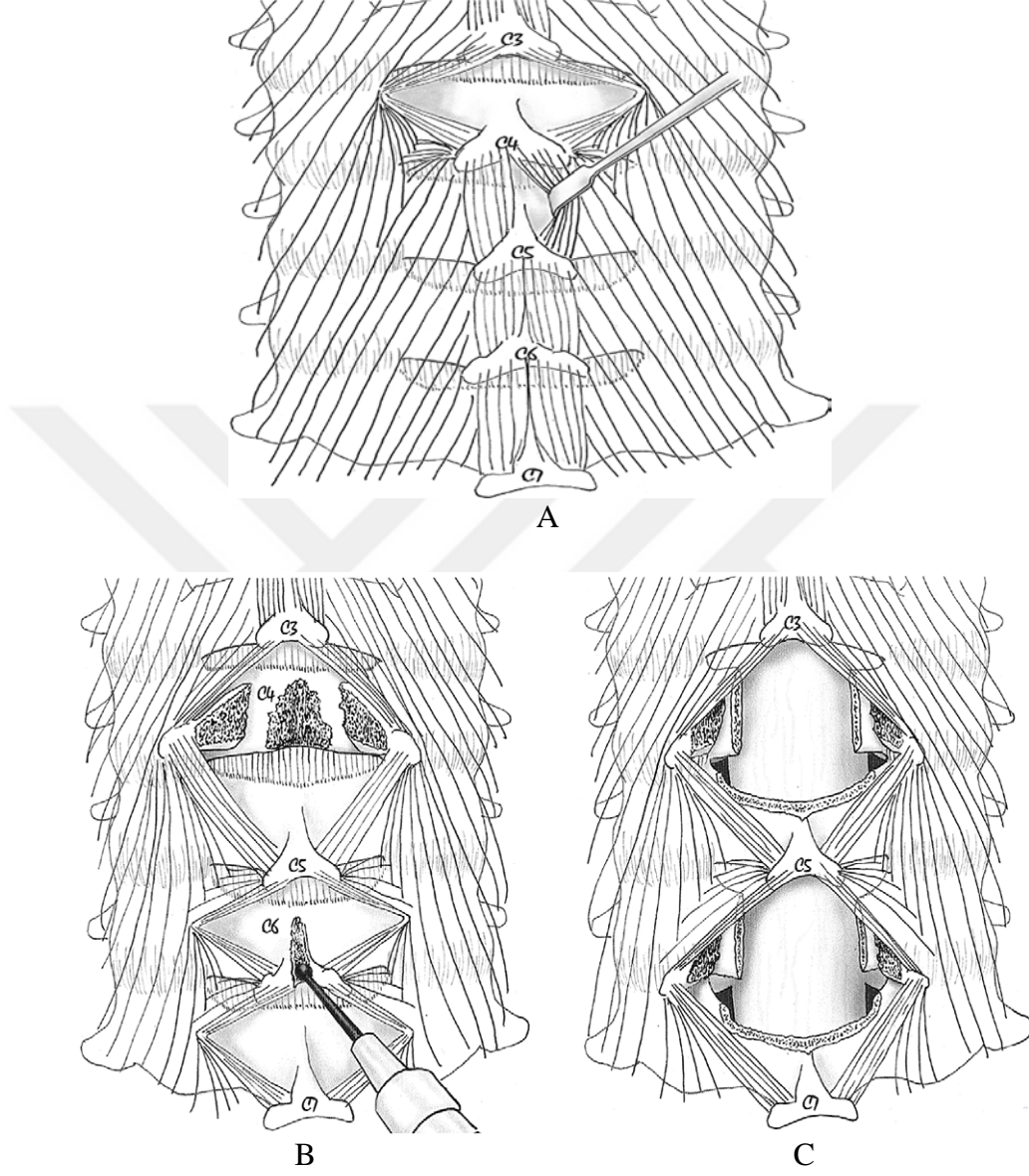
yarılarına tendinöz bağlantıları olduğundan, bu basit minimal invaziv manevra ile lamina ortaya koyulabilir. Böylece, C4 ve C6 spinöz çıkıntılarının her birinin hem üst hem de alt kenarları görülebilir ve iki spinöz çıkıntı longitudinal olarak ikiye ayrılır. İnce 2 mm elmas uçlu yüksek hızlı bir drill kullanılarak her bir posterior arkta ayrılırlar ve bağlı semispinalis cervicis (SSC) kasları ile multifidus (MF) kasları bilateral olarak yerinde bırakılır (Şekil-21, B). C4 ve C6 laminalarını ortaya çıkarmak için kaslar her bir laminadan lateral olarak disseke edilir. Kasların diseksiyonunun her bir faset eklem kapsülünün medial kenarının ötesine geçmemesine dikkat edilmelidir (Şekil-20, E). C3, C5 ve C7'nin posterior arkları ve spinöz çıkıntıları ile bilateral SSC ve MF kaslarının bunlara bağlantıları bozulmadan tutulur. Dekompresyonun ilk adımı C4 laminasının standart şekilde çıkarılmasıdır (Şekil-20, B). Daha sonra C5 laminasının kranial yarısı çıkarılır, ardından C3-4 ve C4-5 intervertebral seviyelerinde flavektomi yapılır. C3-4'teki ligamentum flavumun proksimal kısmı, küçük kavisli bir küret veya ince oblik Kerrison rongeur ile C3 laminasının ventralinden çıkarılır. Böylece üst iki seviyedeki omurilik dekomprese edilir. C5-6 ve C6-7'deki alt iki seviye de aynı şekilde dekomprese edilir. Korunmuş C5 laminasının altında ince bir spatula ile yapılan kontrolde yeterli yer kazanılmadığı görülürse, spinal kanalı genişletmek için laminanın ventral yüzeyi alttan kesilir.

Sonuç olarak, C3-4 ve C6-7 arasında dört seviyeli bir posterior dekompresyon, C3, C5 ve C7 posterior arklarının yanı sıra SSC ve MF kaslarının bilateral bağlantıları korunarak alternatif laminaların (C4 ve C6) çıkarılmasıyla gerçekleştirilir (Şekil-21, C). C4 ve C6 spinöz süreçlerinin ayrık parçaları daha sonra sağlam bir iğne kullanılarak güçlü bir sütürle yeniden yaklaştırılır (Şekil 20, F).



**Şekil-20:** Atlayarak laminektomide servikal omurganın lateral(A) ve posterior yönlerinin şematik çizimi, alternatif laminaların (C4 ve C6), C5 ve C7 laminalarının kranial yarısının ve bu dört seviyede ligamentum flavumun çıkarılmasıyla gerçekleştirilen C3-4 ve C6-7 arasındaki ardışık dört seviyeli dekompresyon için C4 ve C6 skip laminektomisini göstermektedir. Posterior ekstansör mekanizmalara verilen zararı en aza indirmek için, çıkarılacak her bir lamina komşu intervertebral seviyeler arasında seçilir; C3-4 ve C4-5 arasındaki dekompresyon için C4 laminası ve C5-6 ve C6-7 arasındaki dekompresyon için C6 laminası. Komşu seviyeler olan C5-6 ve C6-7 arasındaki dekompresyonu gösteren çizim(B), C7'nin kısmi laminektomisi ile birlikte C6 standart laminektomi gerçekleştirilir. Anterior omurilik basısının önemsiz olduğu C3-4'te, sadece ligamentum flavum ve C4 laminasının kranial yarısı çıkarılarak bir interlaminar dekompresyon gerçekleştirilebilir(C). Spinöz çıkıntının orta hatta ikiye bölündüğünü ve tabanından ayrıldığını gösteren çizim, semispinalis cervicis ve multifidus kaslarının her bir yarıya olan bağlantıları korunarak(D). Açıkta kalan laminayı gösteren çizim. Kasların denervasyonunu önlemek için, kasların diseksiyonu

intervertebral eklemlerin medial kenarlarının ötesine geçmemelidir(E). Laminektomi sonrasında kaslar ve dural kese arasındaki ölü boşluğu en aza indirmek için spinöz sürecin bölünmüş yarılarının yeniden yaklaştırıldığını gösteren çizim(F).



**Şekil-21:** Lamina ve ligamentum flavumun yarısını açığa çıkaran ince spatula şeklinde bir ekartör ile her bir interspinöz aralıkta sağ ve sol derin ekstansör kaslar arasındaki orta hattaki aralığı gösteren şematik çizim (A). C4 spinöz çıkıntısına bağlı kasları bozulmadan uzunlamasına bölünmüş olarak gösteren şematik çizim. Daha aşağıda C6 laminası yüksek hızlı bir matkapla yarıyor (B). C3-4 ve C6-7 arasında C4 ve C6 skip laminektomi ile gerçekleştirilen dört seviyeli posterior dekompresyonu gösteren şematik çizim (C), C3, C5 ve C7 posterior arklarını ve bu spinöz çıkıntılara olan tüm kas bağlantılarını korur.

### 3. MATERYAL VE METOD

Çalışmamızda posterior servikal cerrahide sık kullanılan iki cerrahi teknik olan, atlayarak laminektomi ve laminoplastinin biyomekanik olarak üstünlüklerinin karşılaştırması ve yeterliliğinin değerlendirilmesi amaçlandı.

- **Denek Seçimi**

Omurilik ve omurga hastalıklarıyla ilgili biyomekanik çalışmalarda farklı hayvan modelleri kullanılmıştır. Ancak, genel kabul görmüş bir hayvan modeli bulunmamaktadır. Modelin insana anatomik ve fizyolojik olarak benzemesi gerektiği açıktır. Birçok araştırmacı, omurga anatomisi açısından primatların diğer laboratuvar hayvanlarından daha uygun olduğunu düşünmektedir(126). Omurilik travmalarının patofizyolojisiyle ilgili çalışmalarda genellikle kedi, köpek, sıçan, tavşan gibi dört ayaklı küçük hayvanlar kullanılmıştır. Ancak, bu hayvan modellerinin insanla uygunluğu tartışmalıdır ve bu modellerin insanla ayrıntılı bir anatomik karşılaştırılması yapılmamıştır. Erişkin koyun, keçi, domuz ve buzağı omurgaları, insan omurgası ile benzer anatomik, büyüklük ve yapı özelliklerine sahiptir(127). Koyun ve keçi köpeğe göre anatomik ve biyomekanik açıdan insan omurgasına daha yakındır(126). Koyun ve keçi boyunlarını dik tutarlar, bu nedenle servikal omurgalarının yüklenmesi insana benzerdir. Koyun ve keçi, insan omurgasına daha yakın anatomik ve biyomekanik özelliklere sahiptir. Koyunda 7 boyun omuru bulunur ve her omurun yapı ve işlevleri insana benzerdir. Koyun omurgasının görünüşünde farklılıklar olmasına rağmen, yapıları ve işlevleri aynıdır. Biyomekanik açıdan yapılan çalışmalar, koyun omurgasının insan için sadece anatomik değil, aynı zamanda biyomekanik olarak da uygun bir model olduğunu göstermiştir(128).

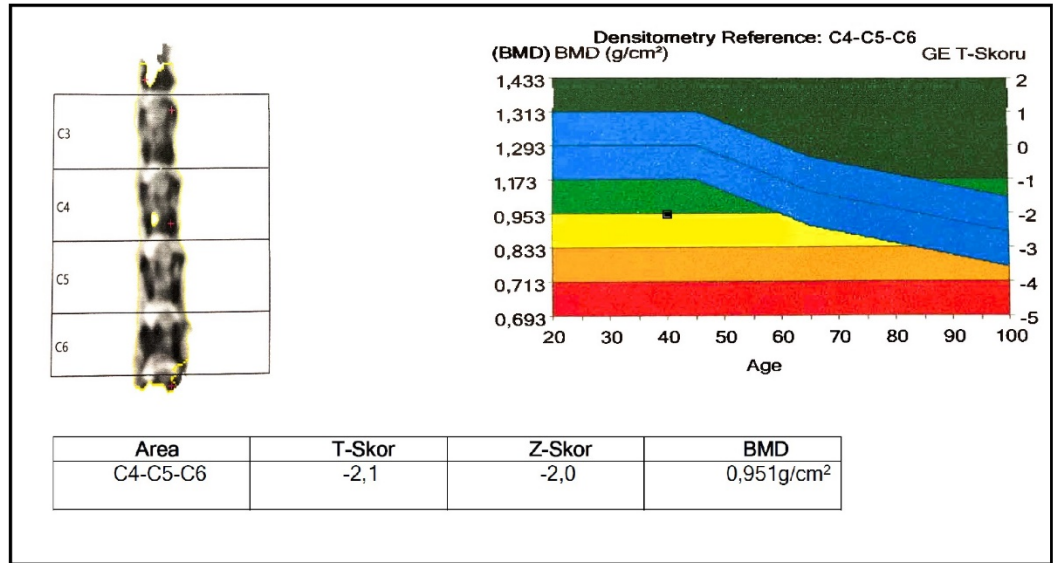
- **Ön Hazırlık**

Çalışmamızda, 35-40 kg ağırlıkta, 3-4 yaşında, erkek merinos cinsi koyunlardan alınmış 28 adet C2-T1 omurga parçası kullanıldı. Omurga canlı hayvan kesimi yapılan özel bir mezbahada kesim işleminin hemen ardından tedarik edildi. Servikal omurgaların spinal ligamanlar ve faset kapsülleri, çevre yumuşak dokudan temizlenerek zarar görmeden korundu. Temizleme işlemi sırasında tüm osteoligamentöz yapılar korundu. Diseksiyon sırasında numune, serum fizyolojik ile yıkanarak kuruması engellendi. Omurga parçaları 4-6 saat içinde cerrahi işlem

gerçekleştirilmek üzere streç film tabakasına sarılarak +4 °C'da buzdolabında saklandı.

- **Gruplara Ayırma**

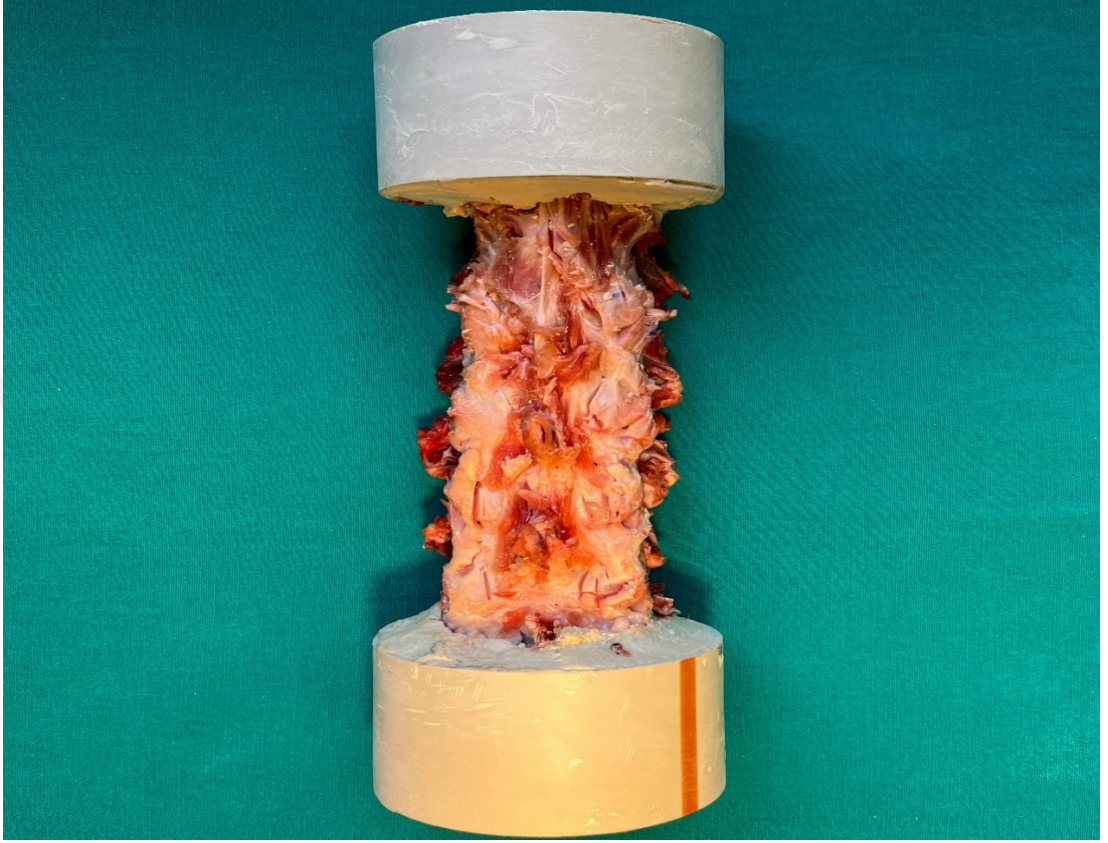
28 adet C2-T1 omurga parçasının 7 tanesi fleksiyon, ekstansiyon, sağa ve sola yanal eğilme ve aksiyal rotasyon hareketleri için maksimal yüklenme düzeyinin ve elastik bölgenin saptanması için kullanıldı. Geri kalan 21 adet omurga parçasında Kemik Mineral Yoğunluğu (BMD), C4–C6 seviyelerindeki omur gövdelerinin anteroposterior görünümü kullanılarak çift enerjili radyograf absorptiyometrisi ile (GE-Healthcare/Lunar DPX Pro) nicel olarak ölçüldü. Numuneler benzer kemik mineral yoğunluklarına sahip olan 7'şerli 3 gruba ayrıldı. Kemik mineral yoğunluğu kontrol grubunda (Grup 1)  $0.951 \pm 0.245$  g/cm<sup>2</sup>, laminoplasti grubunda (Grup 2)  $0.951 \pm 0.107$  g/cm<sup>2</sup>, atlayarak laminektomi grubunda (Grup 3) ise  $0.951 \pm 0.132$  g/cm<sup>2</sup> olarak saptandı.



**Şekil-22:** Kemik mineral yoğunluğunun (BMD) çift enerjili radyografi absorpsiyometrisi (DEXA) ile ölçümü

### 3.1. Cerrahi İşlemler

Grup 1'e (n:7) herhangi bir cerrahi işlem uygulanmadı.



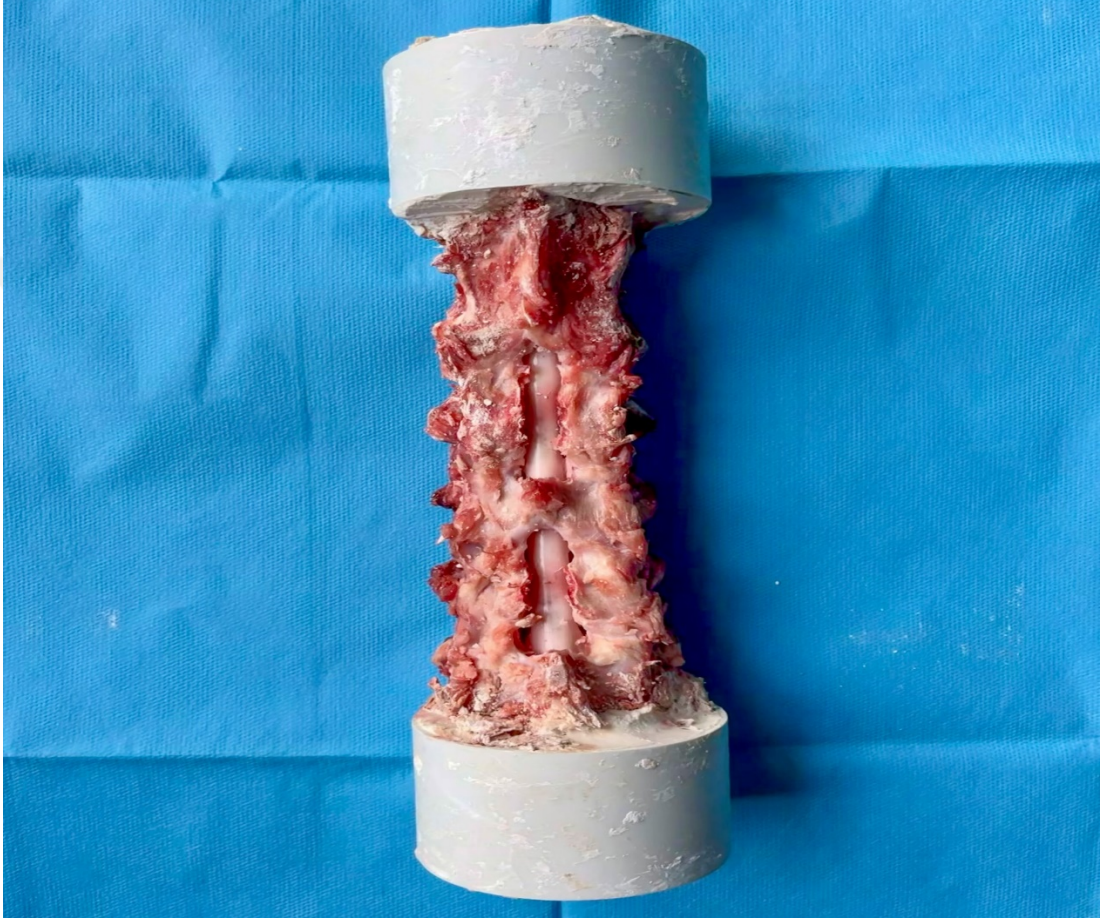
**Resim-1:** Operasyon uygulanmamış kontrol grubundan bir piyes örneği

Grup 2'ye(n:7) yüksek devirli motor yardımıyla C4-C5-C6 laminalarının bir tarafı yüksek devirli tur ile kesildi, diğer tarafta ise laminaların iç korteksi korunarak sadece dış kortekste kesim yapıldı. Daha sonra laminalar küçük bir dissektör aracılığı ile kaldırıldı. Daha sonra kaldırılan laminalar, laminoplasti plakları ile sabitlendi. Cerrahi işlemler sırasında piyesler serum fizyolojik kullanılarak nemlendirildi ve kurumaları önlendi.



**Resim-2:** Laminoplasti operasyonu uygulanmış piyes örneği

Grup 3'e(n:7) yüksek devirli motor ve 2 numaralı kerrison ronguer yardımıyla, faset eklemler korunacak şekilde; C4 total laminektomi, C5 bilateral üst hemilaminektomi, C6 total laminektomi ve C7 bilateral üst hemilaminektomi işlemleri uygulandı. Cerrahi işlemler sırasında piyesler serum fizyolojik kullanılarak nemlendirildi ve kurumaları önledi.



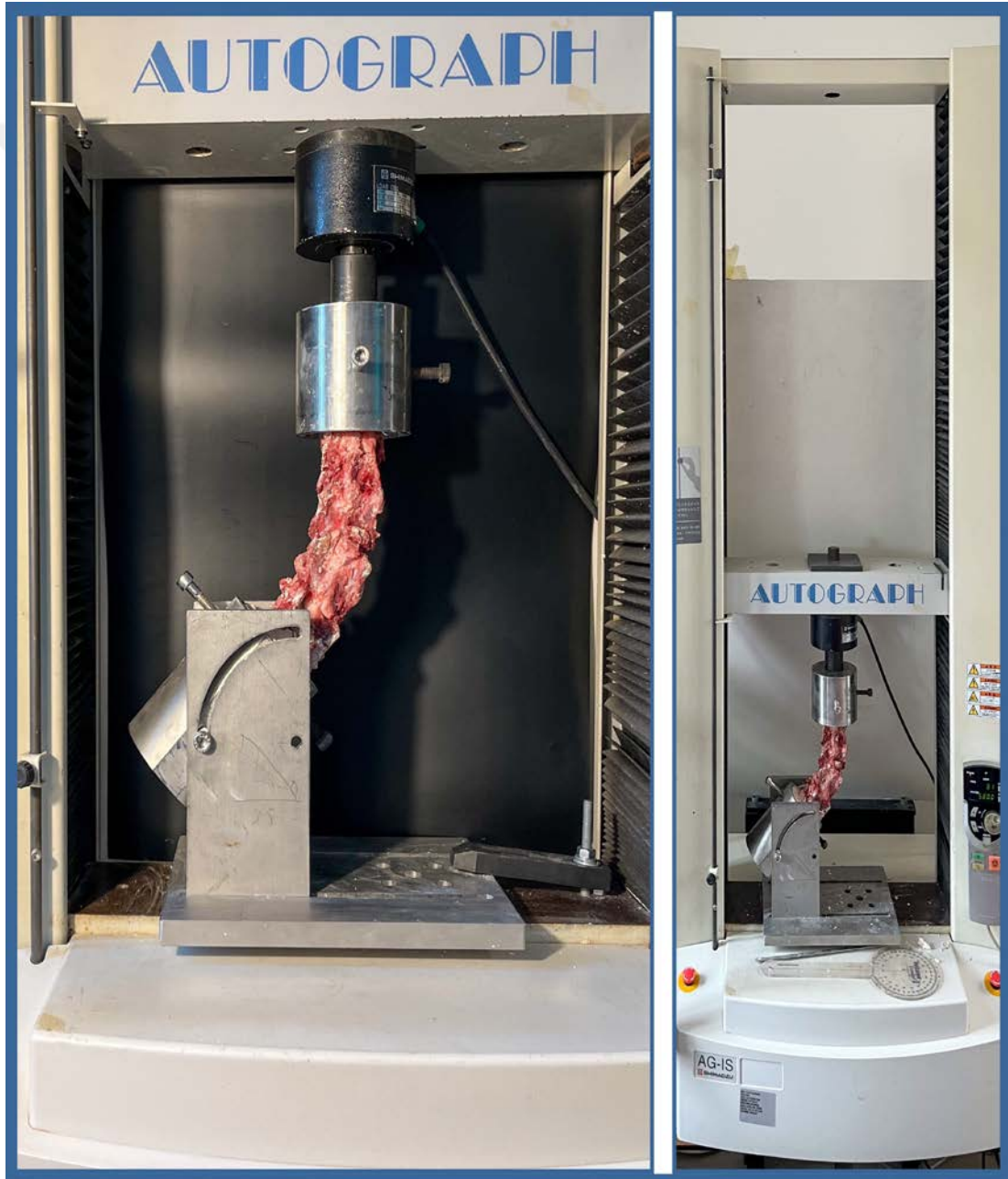
**Resim-3:** Atlarak laminektomi operasyonu uygulanmış piyes örneği

Cerrahi işlemden sonra omurga parçaları biyomekanik testler yapılana kadar streç filme sarılarak  $-20^{\circ}\text{C}$ 'de derin dondurucuda muhafaza edildi.

### **3.2. Biyomekanik Testler**

Tüm numunelere biyomekanik testler Dokuz Eylül Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Biyomekanik Anabilim Dalı, Biyomekanik Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneylelerden 1 gün önce piyesler, 12 saat  $+4^{\circ}\text{C}$  de ve ardından 12 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir. Cerrahi işlem sonrası dondurulan piyesler

biyomekanik test uygulanması için oda ısısına getirildi ve 6 saat içinde testler uygulandı. Piyelerin proksimal ucu C2-3 diski, distal ucu C7-T1 diskine kadar, 7,5 cm çapında, 5 cm yüksekliğinde PVC borusu kalıp olarak kullanılarak, polioli-izosiyanat karışımı içine gömüldü. Fleksiyon, ekstansiyon, sağa ve sola yana eğilme ve aksiyal rotasyon hareketlerinin her birinin yük-deformasyon eğrisinin çizilmesi ve maksimum yüklenme değerinin saptanması için, birer normal C2-T1 piyesi kırılma testine sokuldu. Tüm testler Elektromekanik Aktüatör (10 kN AG-X; Shimadzu, Kyoto, Japan) ile gerçekleştirildi.



**Resim-4:** Piyelerin elektromekanik aktüatör üzerindeki görünümü

Ön testlerde hasarsız elastik bölge yüklenmesi için uygun değerler seçildi. Fleksiyon, ekstansiyon ve yana eğilme için 100 Newton(N), torsiyon için ise 10 Newton-metre(Nm) değerleri, tüm piyeslerde elastik bölgede ölçüm yapmayı sağlayan güvenli (hasar yapmayacak) yüklenme değeri olarak kabul edildi. Sonrasında yapılan asıl testlerde elde edilen yük (N) ve yer değiştirme (mm) değerleri eş zamanlı olarak test cihazının kendi yazılımı üzerinden kaydedildi. Çalışmamızda C2-T1 piyesinin C2-3 disk mesafesi ve C7-T1 disk mesafesi pot içerisinde kalacak şekilde dahil edilmesi planlandı. Testler literatürde tanımlanan değerlere uygun olacak şekilde belirlenmiştir.

- **Fleksiyon Testi**

Fleksiyon testi Grup 1, Grup 2, Grup 3'e sırasıyla uygulandı. Gruplara 60 mm/dk hızda 100 N kuvvet uygulanmıştır. Her grup için 100 N yük altına maksimum yer değiştirme değeri milimetre (mm) cinsinden veri olarak alınmıştır.



**Resim-5:** Kontrol grubu piyesin fleksiyon testi

- **Ekstansiyon Testi**

Ekstansiyon testi Grup 1, Grup 2, Grup 3'e sırasıyla uygulandı. Gruplara 60 mm/dk hızda 100 N kuvvet uygulanmıştır. Her grup için 100 N yük altına maksimum yer değiştirme değeri milimetre (mm) cinsinden veri olarak alınmıştır.



**Resim-6:** Atlayarak laminektomi grubu piyesin ekstansiyon testi

- **Yana Eğilme**

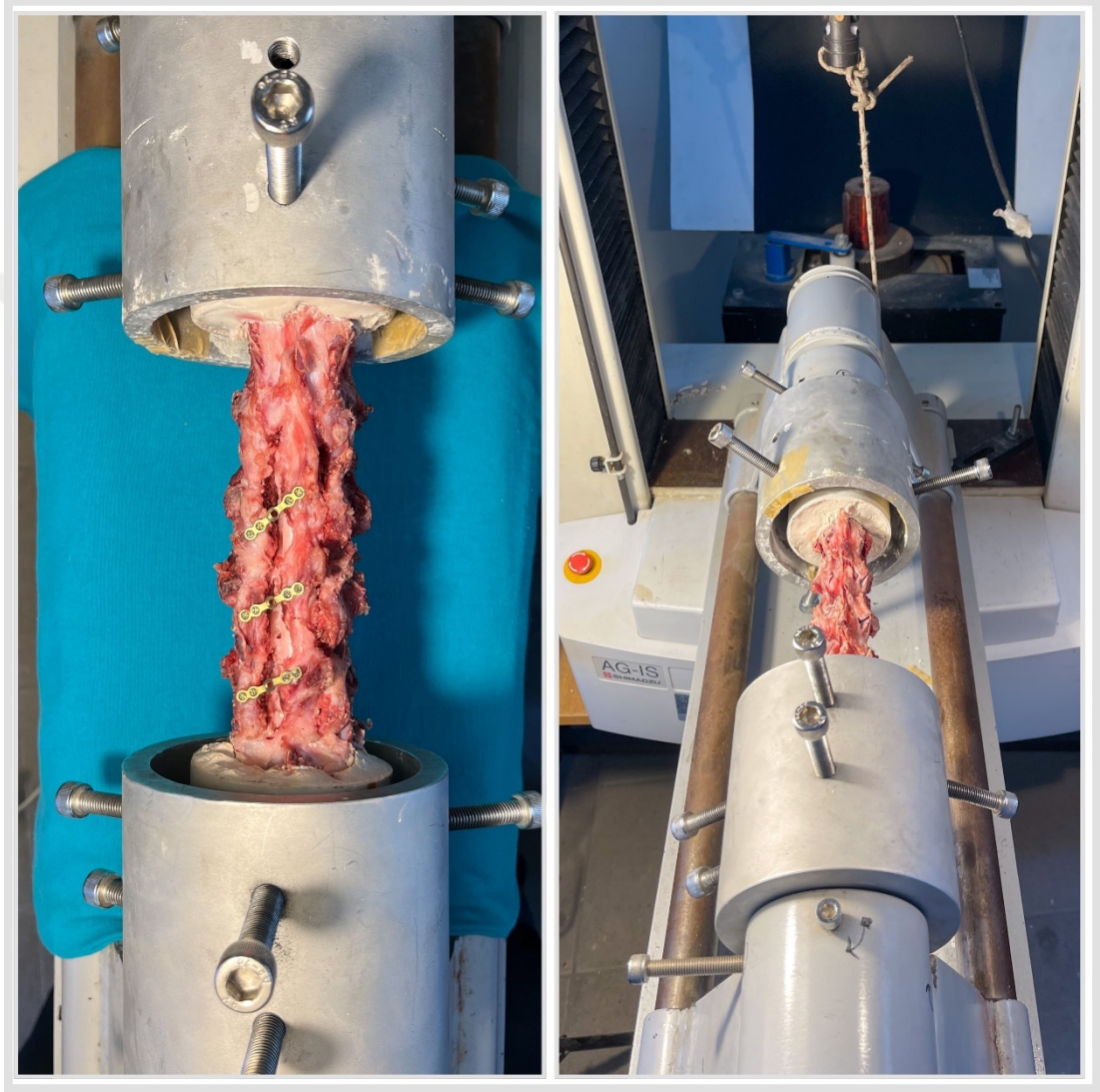
Sağ ve sol yana eğilme testi Grup 1, Grup 2, Grup 3'e sırasıyla uygulandı. Gruplara 60 mm/dk hızda 100 N kuvvet uygulanmıştır. Her grup için 100 N yük altına maksimum yer değıştirme değeri milimetre (mm) cinsinden veri olarak alınmıştır.



**Resim-7:** Atlayarak laminektomi grubu piyesin sol yana eğilme testi

- **Aksiyel Rotasyon**

Aksiyel rotasyon testi Grup 1, Grup 2, Grup 3'e sırasıyla uygulandı. 10 Nm'lik tork ile rotasyonda ortaya çıkan maksimum yer değiştirme değeri milimetre (mm) cinsinden veri olarak alınmıştır.



**Resim-8:** Laminoplasti grubu piyesin aksiyel rotasyon testi ve kontrol grubu piyesin aksiyel rotasyon testi sırasındaki gorunümü

### 3.3. İstatistiksel Analiz

Analizler R Programı – versiyon 4.2.2 kullanılarak yapılmış, tanımlayıcı istatistiklerde, sayı, ortalama, standart sapma, ortanca değer(medyan), IQR (Çeyrekler Arası Aralık) kullanılmıştır. Ölçüm verilerinde normal dağılım Kolmogorov-Smirnov testi ile değerlendirilmiştir.

Normal dağılım gösteren ölçüm verileri için parametrik testlerden üç grubun karşılaştırılması amacıyla Tek Yönlü ANOVA (Analiz of Variance- Varyans Analizi) testi kullanılmıştır.

Normal dağılım göstermeyen ölçüm verileri için non-parametrik testlerden üç grubun karşılaştırılması amacıyla Kruskal Wallis testi kullanılmıştır.

Gruplar arasında anlamlı farklılık olup olmadığını belirlemek üzere Mann-Whitney U testi kullanılmıştır.

Tüm analizlerde  $p < 0.05$  değeri istatistiksel olarak anlamlı değer kabul edilmiştir.

## 4. BULGULAR

Çalışmamızda Grup 1, kontrol grubu olarak belirlenmiş ve herhangi bir cerrahi işlem yapılmadan ilgili testler uygulanmıştır. Grup 2'ye laminoplasti operasyonu sonrasında ilgili testler uygulanmıştır. Grup 3'e ise atlayarak laminektomi (skip laminectomy) operasyonu sonrası ilgili testler uygulanmıştır. Testler sırasında bu üç grupta servikal omurganın fizyolojik hareketlerinde, belirlenen kuvvetlerle meydana gelen yer değiştirmenin(kaymanın) miktarı mm cinsinden ölçülmüş ve bu sonuçlar istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Fleksiyon, sağ yana eğilme, sol yana eğilme ve rotasyon hareketlerinde gruptaki yer değiştirme ölçümleri Kolmogorov-Smirnov testine göre normal dağılım göstermektedir. Bu testlerde grupların karşılaştırılması amacıyla Tek Yönlü ANOVA (Analiz of Variance- Varyans Analizi) testi kullanılmıştır.

Ekstansiyon hareketinde gruptaki yer değiştirme ölçümleri Kolmogorov-Smirnov testine göre normal dağılım göstermemektedir. Bu üç grubun karşılaştırılması amacıyla Kruskal Wallis testi kullanılmıştır.

Gruplardaki yer değiştirme miktarının(mm) ortalama ve standart sapma değerleri Tablo-4'te verilmiştir.

**Tablo-4:** *Gruplara ait yer değiştirme miktarının(mm) ortalama ve standart sapma değerlerine göre zet tanımlayıcı tablo*

	<b>Grup 1</b>	<b>Grup 2</b>	<b>Grup 3</b>
	<i>n=7</i>	<i>n=7</i>	<i>n=7</i>
<b>Sağ yana eğilme</b>	1.32±0.6	1.63±0.74	1.90±0.82
<b>Sol yana eğilme</b>	1.46±0.77	1.83±0.99	2.03±0.59
<b>Fleksiyon</b>	0.99±0.67	1.17±0.18	1.10±0.36
<b>Ekstansiyon</b>	1.51±0.74	1.84±0.65	1.80±1.18
<b>Rotasyon</b>	26.6±6.60	29.1±4.32	28.6±5.86

Gruplara ait ortalama ve standart sapma değerleri karşılaştırıldığında;

- Sağ yana eğilme testi sırasında laminoplasti grubu atlayarak laminektomi grubundan daha stabil olarak saptanmıştır.
- Sol yana eğilme testi sırasında laminoplasti grubu atlayarak laminektomi grubundan daha stabil olarak saptanmıştır.
- Fleksiyon testi sırasında atlayarak laminektomi grubu laminoplasti grubundan daha stabil olarak saptanmıştır.
- Ekstansiyon testi sırasında atlayarak laminektomi grubu laminoplasti grubundan daha stabil olarak saptanmıştır.
- Aksiyel rotasyon testi sırasında atlayarak laminektomi grubu laminoplasti grubundan daha stabil olarak saptanmıştır.

Gruplardaki yer değiştirme miktarının(mm) medyan ve çeyrekler arası aralık değerleri Tablo-5'te verilmiştir.

**Tablo-5:** Gruplara ait yer değiştirme miktarının(mm) medyan ve çeyrekler arası aralık değerlerine

göre zet tanımlayıcı tablo

	<b>Grup 1</b>	<b>Grup 2</b>	<b>Grup 3</b>
	<i>n=7</i>	<i>n=7</i>	<i>n=7</i>
<b>Sağ yana eğilme</b>	1.45 [0.82-1.76]	1.30 [1.25-1.95]	1.65 [1.30-2.32]
<b>Sol yana eğilme</b>	1.34 [0.90-1.92]	1.54 [1.20-2.38]	2.30 [1.68-2.30]
<b>Fleksiyon</b>	0.89 [0.56-1.17]	1.25 [1.02-1.27]	1.00 [0.80-1.35]
<b>Ekstansiyon</b>	1.40 [0.95-2.12]	1.65 [1.38-2.40]	1.45 [1.25-1.65]
<b>Rotasyon</b>	26.1 [21.6-32.2]	28.8 [26.9-31.0]	26.7 [26.0-30.5]

Gruplara ait p değerleri Tablo-6'da verilmiştir.

**Tablo-6:** Gruplara ait yer değiştirme miktarının(mm) p değerlerine göre zet tanımlayıcı tablo

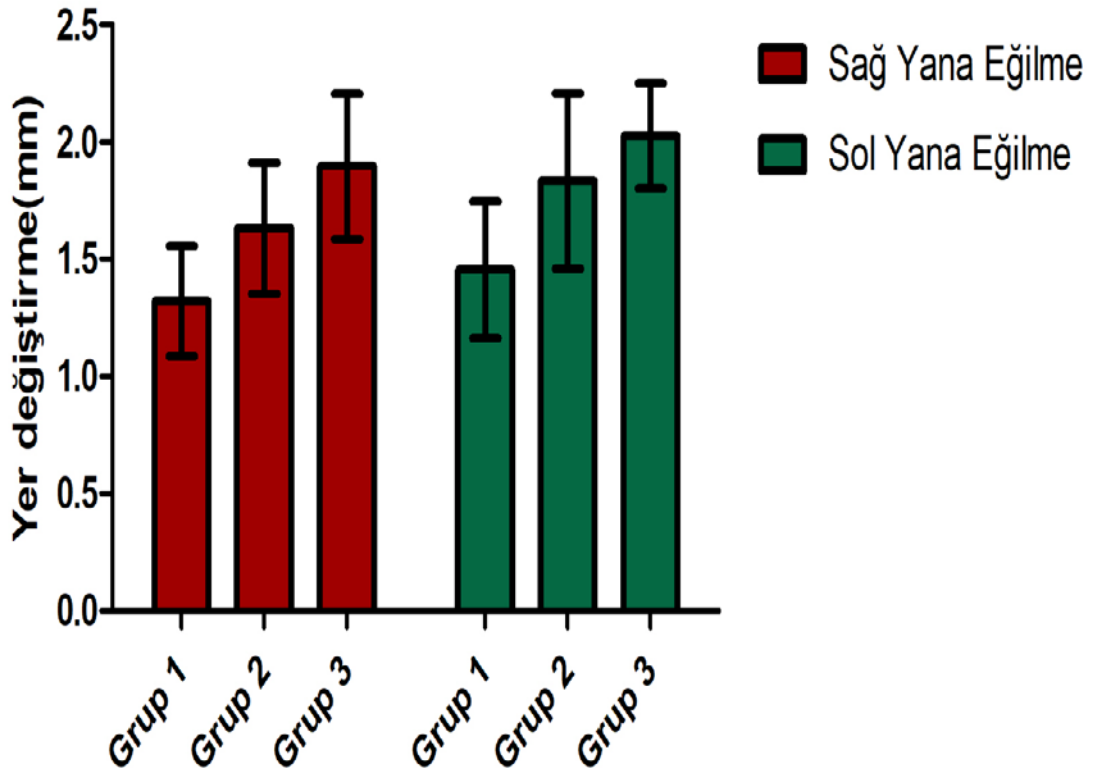
	<b>Grup 1</b>	<b>Grup 2</b>	<b>Grup 3</b>	<b>p.overall</b>
	<i>n=7</i>	<i>n=7</i>	<i>n=7</i>	
<b>Sağ yana eğilme</b>	1.32 (0.62)	1.63 (0.74)	1.90 (0.82)	<b>0.359</b>
<b>Sol yana eğilme</b>	1.46 (0.77)	1.83 (0.99)	2.03 (0.59)	<b>0.415</b>
<b>Fleksiyon</b>	0.99 (0.67)	1.17 (0.18)	1.10 (0.36)	<b>0.755</b>
<b>Ekstansiyon</b>	1.40 [0.95-2.12]	1.65 [1.38-2.40]	1.45 [1.25-1.65]	<b>0.546</b>
<b>Rotasyon</b>	26.6 (6.60)	29.1 (4.32)	28.6 (5.86)	<b>0.690</b>

Sağ yana eğilme testi sırasında 3 grubun yer değiştirme(kayma) miktarları açısından karşılaştırılmasına ilişkin analiz sonuçlarına bakıldığında kontrol grubunda ortalama ve standart sapma  $1.32 \pm 0.62$ 'ydi. Laminoplasti grubunda ortalama ve standart sapma  $1.63 \pm 0.74$ 'tü. Atlayarak laminektomi grubunda ortalama ve standart sapma  $1.90 \pm 0.62$ 'ydi. Bu üç grup birbiriyle karşılaştırıldığında sağ yana eğilme sırasında gruplar arasında anlamlı fark saptanmamıştır. ( $p=0.359$ )

Sol yana eğilme testi sırasında 3 grubun yer değiştirme(kayma) miktarları açısından karşılaştırılmasına ilişkin analiz sonuçlarına bakıldığında kontrol grubunda ortalama ve standart sapma  $1.46 \pm 0.77$ 'ydi. Laminoplasti grubunda ortalama ve standart sapma  $1.83 \pm 0.99$ 'du. Atlayarak laminektomi grubunda ortalama ve standart sapma  $2.03 \pm 0.59$ 'du. Bu üç grup birbiriyle karşılaştırıldığında sağ yana eğilme sırasında gruplar arasında anlamlı fark saptanmamıştır. ( $p=0.415$ )

Sağ ve sol yana eğilme testi sırasındaki yer değiştirme miktarlarının ortalama ve standart sapma değerleri Grafik-1'de gösterilmiştir.

**Grafik 1**

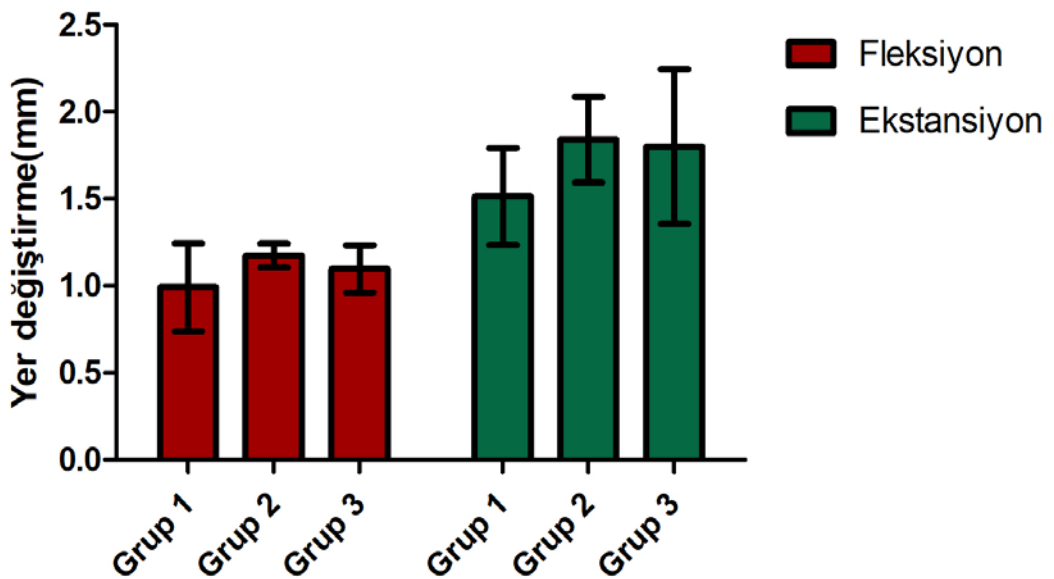


Fleksiyon testi sırasında 3 grubun yer değiştirme(kayma) miktarları açısından karşılaştırılmasına ilişkin analiz sonuçlarına bakıldığında kontrol grubunda ortalama ve standart sapma  $0.99\pm0.67$ 'ydi. Laminoplasti grubunda ortalama ve standart sapma  $1.17\pm0.18$ 'di. Atlayarak laminektomi grubunda ortalama ve standart sapma  $1.10\pm0.36$ 'ydi. Bu u grup birbiriyle karşılaştırıldığında fleksiyon sırasında gruplar arasında anlamlı fark saptanmamıştır. ( $p=0.755$ )

Ekstansiyon testi sırasında 3 grubun yer değiştirme(kayma) miktarları açısından karşılaştırılmasına ilişkin analiz sonuçlarına bakıldığında kontrol grubunda ortalama ve standart sapma  $1.51\pm0.74$ 't. Laminoplasti grubunda ortalama ve standart sapma  $1.84\pm0.65$ 'ti. Atlayarak laminektomi grubunda ortalama ve standart sapma  $1.80\pm1.68$ 'di. Kontrol grubunda medyan ve çeyrekler arası değerler 1.40 [0.95-2.12] olarak saptandı. Laminoplasti grubunda medyan ve çeyrekler arası değerler 1.65 [1.38-2.40] olarak saptandı. Atlayarak laminektomi grubunda medyan ve çeyrekler arası değerler 1.45 [1.25-1.65] olarak saptandı. Bu u grup birbiriyle karşılaştırıldığında ekstansiyon sırasında gruplar arasında anlamlı fark saptanmamıştır. ( $p=0.546$ )

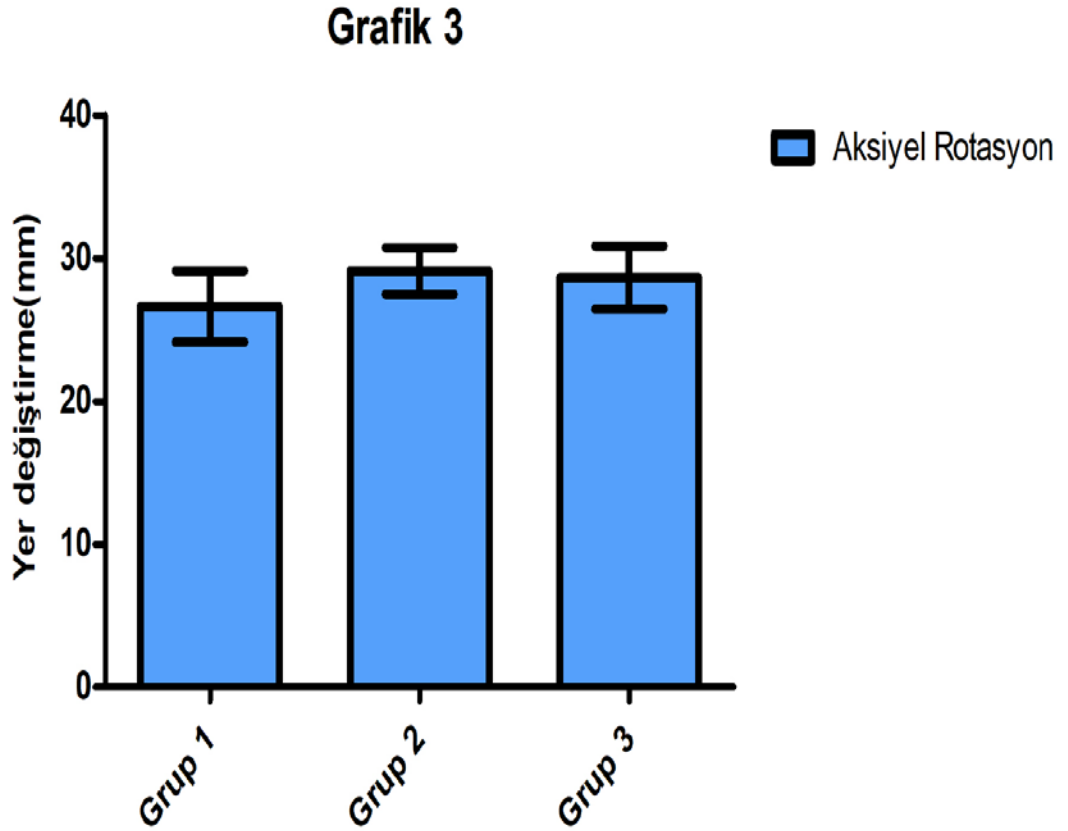
Fleksiyon ve ekstansiyon testi sırasındaki yer değiştirme miktarlarının ortalama ve standart sapma değerleri Grafik-2'de gösterilmiştir.

**Grafik 2**



Aksiyel rotasyon testi sırasında 3 grubun yer değiştirme(kayma) miktarları açısından karşılaştırılmasına ilişkin analiz sonuçlarına bakıldığında kontrol grubunda ortalama ve standart sapma  $26.6\pm 6.60$ 'tdi. Laminoplasti grubunda ortalama ve standart sapma  $29.1\pm 4.32$ 'ydi. Atlayarak laminektomi grubunda ortalama ve standart sapma  $28.6\pm 5.86$ 'ydi. Bu u grup birbiriyle karşılaştırıldığında rotasyon sırasında gruplar arasında anlamlı fark saptanmamıştır. ( $p=0.690$ )

Aksiyel rotasyon testi sırasındaki yer değiştirme miktarlarının ortalama ve standart sapma değerleri Grafik-3'de gösterilmiştir.



- Gruplar arasında anlamlı farklılık olup olmadığını belirlemek üzere Mann-Whitney U testi kullanılmıştır.

**Tablo-7:** Grup 1 ve 2'nin Mann-Whitney U testi ile hesaplanan p değerlerini gösteren tanımlayıcı tablo

	<b>p-value</b>
<b>Sağ yana eğilme</b>	0,655
<b>Sol yana eğilme</b>	0.406
<b>Fleksiyon</b>	0,224
<b>Ekstansiyon</b>	0,306
<b>Rotasyon</b>	0,406

Grup 1 ve 2 kendi içerisinde Mann-Whitney U testi ile karşılaştırıldı. İlgili hareketler karşılaştırılarak elde edilen p değerleri Tablo-7 de verilmiştir. Bu iki grup birbiriyle karşılaştırıldığında gruplar arasında anlamlı fark saptanmamıştır.

**Tablo-8:** Grup 1 ve 3'ün Mann-Whitney U testi ile hesaplanan p değerlerini gösteren tanımlayıcı tablo

	<b>p-value</b>
<b>Sağ yana eğilme</b>	0,225
<b>Sol yana eğilme</b>	0,110
<b>Fleksiyon</b>	0,482
<b>Ekstansiyon</b>	0,848
<b>Rotasyon</b>	0,565

Grup 1 ve 3 kendi içerisinde Mann-Whitney U testi ile karşılaştırıldı. İlgili hareketler karşılaştırılarak elde edilen p değerleri Tablo-8 de verilmiştir. Bu iki grup birbiriyle karşılaştırıldığında gruplar arasında anlamlı fark saptanmamıştır.

**Tablo-9:** Grup 2 ve 3'ün Mann-Whitney U testi ile hesaplanan p değerlerini gösteren tanımlayıcı tablo

	<b>p-value</b>
<b>Sağ yana eğilme</b>	0,655
<b>Sol yana eğilme</b>	0,565
<b>Fleksiyon</b>	0,608
<b>Ekstansiyon</b>	0,406
<b>Rotasyon</b>	0,565

Grup 2 ve 3 kendi içerisinde Mann-Whitney U testi ile karşılaştırıldı. İlgili hareketler karşılaştırılarak elde edilen p değerleri Tablo-9 da verilmiştir. Bu iki grup birbiriyle karşılaştırıldığında gruplar arasında anlamlı fark saptanmamıştır.

## 5. TARTIŞMA

Günümüzde genellikle servikal spondiloz, posterior servikal yapıların ossifikasyonu, ligamentum flavum kalsifikasyonu, çok seviyeli spondilotik miyelopati gibi servikal spinal kanalı daraltan patolojik durumların cerrahi tedavisinde laminoplasti ve atlayarak laminektomi (skip laminectomy) teknikleri kullanılan cerrahi yöntemler arasındadır. Literatüre bakıldığında bu iki tekniğin klinik etkinliğinin karşılaştırıldığı çok sayıda makale bulunmaktadır (Aşağıda ayrıntılı olarak bahsedilecektir.). Biz çalışmamızda bu iki tekniğin biyomekanik olarak üstünlüklerinin karşılaştırması ve yeterliliğinin değerlendirilmesini amaçladık.

İn vitro insan kadavra modellerinin elde edilmesi zor ve maliyetlidir, ayrıca değişkenlik gösterirler. Bu nedenle, biyomekanik çalışmalarda çeşitli hayvanlar kullanılmaktadır. Köpek, koyun ve keçi, en sık kullanılan hayvanlar arasındadır. Ancak, köpek modeli başını öne eğik tuttuğu için ideal bir seçenek değildir(129). Koyun, başını dik tutması nedeniyle biyomekanik açıdan insan omurgasına daha yakın bir modeldir(127). Deneysel çalışmalar, koyunun boyun omurgasının hem anatomik hem de biyomekanik açıdan insan için uygun olduğunu göstermiştir(126). Belirli yaş ve ırktaki koyun omurgası, genç insan omurgası ile benzerlik gösterir. Ayrıca, koyun omurgasının farklı kuvvet yüklenmelerine verdiği tepkilerin insan omurgasına benzer olduğu ve çeşitli cerrahi girişimlerin yapıldığı biyomekanik çalışmalarda koyun servikal omurgasının kullanılabilceği belirtilmiştir(128).

Çalışmamızda koyun servikal omurgasında gerçekleştirilmiş olup 3 grup kullanılmıştır. Grup 1 kontrol grubu (operasyon uygulanmamış), Grup 2 laminoplasti grubu, Grup 3 atlayarak laminektomi grubudur. Sonrasında omurgalara fleksiyon, ekstansiyon, sağ yana eğilme, sol yana eğilme ve aksiyal rotasyon hareketleri sırasında belirlenen kuvvetler uygulanmış ve omurgalarda oluşan yer değiştirme miktarları istatistiki olarak karşılaştırılmıştır.

Yapılan biyomekanik testler neticesinde kontrol grubu (operasyon uygulanmamış) ile laminoplasti ve atlayarak laminektomi gruplarının fleksiyon, ekstansiyon, sağ yana eğilme, sol yana eğilme ve aksiyal rotasyon hareketlerindeki yer değiştirme miktarları arasında anlamlı fark saptanmamıştır. Bu da bize normal omurgada biyomekanik testler sırasında oluşan kaymanın miktarı ile diğer 2 grubun

benzerlik gösterdiğini, laminoplasti ve atlayarak laminektominin omurga biyomekaniğinde normal omurgaya göre anlamlı derecede instabilite yaratmadığını göstermektedir.

Laminoplasti ve atlayarak laminektomi grupları kendi içlerinde istatistiki olarak karşılaştırıldığında yapılan hareketten bağımsız olarak iki grup arasında biyomekanik açıdan birbirine üstünlük sağlayacak anlamlı fark saptanmamıştır. Bu da iki tekniğin birbirine alternatif olarak kullanılabileceğini düşündürmektedir. Laminoplasti ve atlayarak laminektominin ortalama ve standart sapmaları karşılaştırıldığında ise sağ ve sol yana eğilmede laminoplasti grubu daha rijit saptanmış, fleksiyon, ekstansiyon ve aksiyal rotasyonda ise atlayarak laminektomi grubu biyomekanik olarak daha rijit saptanmıştır.

Laminoplasti ilk kez Hattori ve arkadaşları tarafından 1982 yılında segmental instabilite ve kifoz sorununu çözmek için tanıtıldı ve daha sonra birçok farklı modifikasyon yapılmıştır. Bu işlemin laminektomiye göre çok sayıda avantajı vardır; servikal omurganın arka yapısını daha iyi korur ve postlaminektomi membran oluşumunu engeller. Bu teknik uzun yıllar boyunca uygulandı ve klinik sonuçları cerrahlar tarafından tartışıldı. Daha sonra aksiyal semptomları ve servikal spinal kanalın dekompresyonu sonrası morbiditeyi azaltmak amacıyla Shirashi tarafından atlayarak laminektomi (skip laminectomy) geliştirildi.

Tateru Shiraishi 2002 yılında servikal spondilotik miyelopatinin (SSM) tedavisinde yeni bir cerrahi teknik olarak "atlayarak laminektomi" (skip laminectomy) tanımlamıştır(4). Servikal omurgada SSM'nin tedavisinde geniş kapsamlı laminoplasti operasyonları, ekstansör mekanizmalara zarar vererek boyun hareketinde kısıtlamaya, lordoz kaybına ve kalıcı aksiyal ağrılara neden olmaktadır. Cerrahın amacı bu tarz komplikasyonların önüne geçerek spinal korda yeterli dekompresyonu sağlamaktır. Servikal spondilotik miyelopatide skip laminektomi ve açık kapı laminoplastinin en az 2 yıllık sonuçlarının karşılaştırıldığı Shirashi(5) ve arkadaşlarının yaptığı çalışmanın sonucunda servikal spinal kanal dekompresyonu için geleneksel laminektomi ve laminoplastiye göre daha az invaziv bir teknik olan atlayarak laminektomi, aksiyel ağrı, boyun hareketlerinin kısıtlanması ve servikal lordozun kaybı gibi postoperatif sorunların önlenmesinde etkili olarak saptanmıştır. Shirashi ve arkadaşları olgularını gözden geçirdiğinde, endikasyon sınırlarının lateral

röntgenogramlarda; 20°'den az lokal kifoz, 3,5 mm'den az anterior kayma ve 15°'den az posterior vertebral eğim olduğunu ortaya koymuştur. OPLL için sınır, lezyon tarafından kanal işgal oranının %60'tan az olması olarak belirlenmiştir.

Wenqi Luo(130) ve arkadaşlarının yaptığı servikal miyelopatide atlayarak laminektomi ile laminoplastiyi karşılaştıran sistematik inceleme ve meta-analizde, iki prosedür karşılaştırılmıştır. Cochrane kütüphanesi, PubMed, MEDLINE, EMBASE ve Web of Science veri tabanlarında 18 Mart 2018'e kadar yayınlanan ilgili makaleler kapsamlı bir şekilde araştırılmış. 241 hastayı kapsayan dört çalışma dahil edilmiş. Atlayarak laminektomi, arka ekstansör mekanizmaya daha az hasar vererek laminoplastiye kıyasla daha düşük vizüel analog skala (VAS) skorları ve aksiyal ağrı ile sonuçlanmış. Laminoplasti, laminektomiyi atlamayla karşılaştırıldığında daha yüksek oranda aksiyal ağrı ve derin ekstansör kas atrofisi ile ilişkili olduğu bulunmuş. Meta-analizde, laminoplasti ve atlama laminektomi grupları arasında servikal lordotik eğrilik veya postoperatif servikal hareket açıklığı açısından anlamlı bir fark saptanmamış. Bu bulgular, servikal kompresif miyelopatide postoperatif komplikasyonlar ve ağrı yönetimi açısından skip laminektominin laminoplastiye göre avantajlar sunabileceğini düşündürmektedir.

Sivaraman Alagappan(9) ve arkadaşlarının yaptığı atlayarak laminektomi ile laminoplastinin klinik ve radyolojik sonuçlarını karşılaştırdığı çalışma, 50 ardışık hastanın 2 yıl boyunca takip edildiği bir prospektif çalışmadır. İki grup arasında operasyon süresi, kan kaybı, spinal kordun dekompresyon derecesi gibi klinik ve radyolojik sonuçlar karşılaştırılmıştır. Atlayarak laminektomi grubunda, laminoplasti grubuna kıyasla daha az kan kaybı ve kısa operasyon süresi gözlemlenmiştir. Ayrıca, atlayarak laminektomi grubunda postoperatif boyun ağrısı ve eklem hareket açıklığında (EHA) daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmanın sonucunda, atlayarak laminektominin laminoplastiye kıyasla postoperatif morbiditeleri azalttığı ve spinal kordun yeterli bir şekilde dekompresyonunu sağladığı bulunmuştur.

Yu(131) ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, çok seviyeli servikal spondilotik miyelopati (SSM) tedavisinde kullanılan ekspansif açık kapı laminoplasti gibi cerrahi tekniklerden biri olan atlayarak laminektominin klinik ve radyolojik sonuçlarını karşılaştırmıştır. Bu prospektif çalışma, atlayarak laminektominin intraoperatif kan kaybını, hastane kalış süresini, postoperatif VAS skorunu ve aksiyal

semptomları azaltma, aynı zamanda postoperatif servikal hareket açıklığı (ROM) koruma gibi avantajlarını göstermiştir. Yazarlar, atlayarak laminektominin etkili, güvenli ve minimal invaziv bir yöntem olduğunu ve posterior servikal yapıları koruduğu için cerrahlara bir alternatif sunduğunu belirtmişlerdir.

Wei Yuan(6) ve arkadaşlarının yaptığı sistematik derlemede çok düzeyli servikal spondilitik miyelopatinin tedavisi için laminoplasti ve atlayarak laminektomiye karşılaştırmıştır. Atlayarak laminektomi, laminoplastiye kıyasla servikal hareket açıklığı, komplikasyon oranı ve cerrahi travma gibi çeşitli yönlerden daha iyi sonuçlar göstermiştir. Çok düzeyli servikal spondilolitik miyelopati tedavisi için laminoplasti ve atlayarak laminektomi arasında postoperatif nöral fonksiyonlar benzer olarak bulunmuştur. Minimal invaziv bir prosedür olan atlayarak laminektomi ile omuriliğin dört seviyede dekompresyona edebileceğinden, cerrahi eksizyonun arka yapılarla sınırlandırabileceğinden ve laminoplasti sonrası görülen postoperatif sorunların potansiyel olarak azaltılabileceğini belirtmişlerdir.

Yukawa Yasutsugu(8) ve arkadaşlarının yaptığı 41 hastadan oluşan prospektif çalışmada servikal miyelopatide laminoplasti ve atlayarak laminektominin hareket açıklığı, ameliyat sonrası boyun ağrısı ve cerrahi sonuçları değerlendirilmiştir. Hastalar en az 1 yıl boyunca ayda bir değerlendirilmiştir. Gruplar arasında ameliyat süresi, kan kaybı, C2-C7 lordozu, servikal hareket açıklığı (ROM), aksiyal ağrının görsel analog skala (VAS) skoru veya Japon Ortopedi Derneği (JOA) skoru açısından anlamlı fark saptanmamıştır. Atlayarak laminektomi grubunda, laminoplasti grubuna göre biraz daha iyi bir ROM iyileşme oranı saptanmıştır. Atlayarak laminektominin, SSM hastaları için dekompresyonun disk seviyesiyle sınırlı olması nedeniyle daha dar endikasyonlara sahip olduğu belirtilmiştir.

Yapılan deneyler neticesinde her iki teknik arasında biyomekanik açıdan anlamlı fark olmasa da hastaların postoperatif takiplerinde postlaminektomi sendromu gibi fibrozis oluşturan sebepler ile biyomekanik değerlendirme değişebilir. Bu bağlamda ilk başta fark olmamasına rağmen ileride fibrozis geliştiğinde hangi yönetim üstün olacağını ileride yapılacak çalışmalarla gösterilebilir. Böylece cerrahi tekniklerin birbirilerine üstünlükleri değişebilir.

## 6. SONUÇ

- Literatüre bakıldığında atlayarak laminektomi (skip laminectomy) ve laminoplasti cerrahi teknikleri, klinik etkinlikleri açısından servikal bölgede birbirlerine alternatif tedavi yöntemi olarak kullanılabilirler.

- Çalışmamızda, normal omurga (operasyon uygulanmamış) ile atlayarak laminektomi (skip laminectomy) ve laminoplasti teknikleri uygulanmış omurgalar biyomekanik olarak karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı instabilite gelişmemiştir. Bu da cerrahın klinik tecrübesi ve uygun endikasyonlar ışığında her iki tekniğin de servikal spinal kanalı daraltan patolojik durumların tedavisinde kullanılmasının biyomekanik açıdan uygun olabileceğini göstermektedir.

- Atlayarak laminektomi (skip laminectomy) ve laminoplasti kendi aralarında değerlendirildiğinde biyomekanik olarak anlamlı fark saptanmamıştır ve stabilite açısından birbirlerine üstünlükleri gösterilememiştir.

- Atlayarak yapılan posterior servikal laminektomi tekniği diğer tekniklere göre daha az invaziv ve metal implant kullanılmadığından dolayı daha ucuz bir yöntemdir. Yapılan işlem itibarıyla aynı amaca hizmet edip klinik çalışmalarda da etkinliği gösterilmiştir. Bizim çalışmamız da göstermektedir ki atlayarak laminektomi (skip laminectomy) biyomekanik açıdan laminoplastiye alternatif bir tedavi yöntemi olarak kullanılabilir.

- Bununla birlikte atlayarak laminektominin (skip laminectomy) daha yaygın kullanılabilmesi için daha geniş kapsamlı biyomekanik ve klinik çalışmalara ihtiyaç vardır.

## 7. EKLER

### 7.1. Ek-1: Etik Kurul Onayı

KARAR BİLGİLERİ	Karar No:2023/29-16	Tarih:20.09.2023				
	Doç.Dr. Murat Yılmaz'ın sorumlusu olduğu "Atlayarak Laminektomi ile Laminoplastinin Alt Servikal Vertebrada Biyomekanik Olarak Karşılaştırılması" isimli klinik araştırmaya ait başvuru dosyası ve ilgili belgeler araştırmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş, araştırmanın mevcut haliyle etik yönden uygun olduğuna oy birliği ile karar verilmiştir.					
ETİK KURUL BİLGİLERİ						
ÇALIŞMA ESASI	Dokuz Eylül Üniversitesi Girişimsel Olmayan Araştırmalar Etik Kurulu İşleyiş Yönergesi İyi Klinik Uygulamaları Kılavuzu					
ETİK KURUL ÜYELERİ						
Unvanı/Adı/Soyadı	Uzmanlık Alanı	Kurumu	Cinsiyet	Araştırma ile İlişkili mi?		İmza
Prof.Dr.Mehmet Birhan Yılmaz (Başkan)	Kardiyoloji	DEÜ Tıp Fakültesi Dahili Tıp Bilimleri Bölümü	Erkek	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	
Prof.Dr. Şükran Köse (Başkan Yardımcısı)	Enfeksiyon Hastalıkları ve Klinik Mikrobiyoloji Anabilim Dalı	DEÜ Tıp Fakültesi Dahili Tıp Bilimleri Bölümü	Kadın	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	
Prof.Dr. Ahmet Okay Çağlayan	Moleküler Tıp	Sağlık Bilimleri Enstitüsü	Erkek	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	
Prof.Dr. Suna Asilsoy	Çocuk Sağlığı Ve Hastalıkları	DEÜ Tıp Fakültesi Dahili Tıp Bilimleri Bölümü	Kadın	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	
Prof.Dr. Aylin Özgen Alpaydın	Göğüs Hastalıkları	DEÜ Tıp Fakültesi Göğüs Hastalıkları Anabilim Dalı	Kadın	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	
Prof.Dr. Özgür Er	Endodonti A.D.	Diş Hekimliği Fakültesi	Erkek	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	
Prof.Dr. Hatice Şimşek Keskin	Halk Sağlığı	DEÜ Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı	Kadın	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	
Doç.Dr.Seher Özyürek	Muskuloskeletal Fizyoterapi	DEÜ Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Fakültesi	Kadın	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	
Doç.Dr.Nil Hocaoğlu Aksay	Tıbbi Farmakoloji	DEÜ Tıp Fakültesi Tıbbi Farmakoloji Anabilim Dalı	Kadın	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	
Doç.Dr. Meryem Öztürk Hany	Halk Sağlığı Hemşireliği	Hemşirelik Fakültesi Halk Sağlığı Hemşireliği	Kadın	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	
Doç.Dr. Şule Özbilgin	Anesteziyoloji ve Reanimasyon	DEÜ Tıp Fakültesi Cerrahi Tıp Bilimleri Bölümü	Kadın	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	
Doç.Dr.Tolga Şahin	Spor Yönetim Bilimleri	Necat Hepkon Spor Bilimleri Fakültesi	Erkek	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	
Dr.Öğr.Üyesi Gamze Tuna	Tıbbi Biyokimya	Sağlık Bilimleri Enstitüsü	Kadın	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	

## 8. KAYNAKÇA

1. Hirabayashi K, Miyakawa J, Satomi K: Maruyama T, Wakano K. Operative Results and postoperative progression of ossification among patients with ossification of cervical posterior longitudinal ligament. *Spine* 6: 354-364, 1981.
2. Kurokawa T, Tsuyama N, Tanaka H et al: Enlargement of spinal canal by sagittal splitting of spinous process. *Bessatsu Seikeigeka(Jpn)* 1982; 2: 234-240.
3. Ratliff JK, Cooper PR. Cervical laminoplasty: a critical review. *J Neurosurg* 2003;98(3, Suppl):230–238.
4. Shiraishi T. Skip laminectomy--a new treatment for cervical spondylotic myelopathy, preserving bilateral muscular attachments to the spinous processes: a preliminary report. *Spine J.* 2002 Mar-Apr;2(2):108-15.
5. Shiraishi T, Fukuda K, Yato Y, Nakamura M, Ikegami T. Results of skip laminectomy--minimum 2-year follow-up study compared with open-door laminoplasty. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2003 Dec 15;28(24):2667-72.
6. Yuan W, Zhu Y, Liu X, Zhou X, Cui C. Laminoplasty versus skip laminectomy for the treatment of multilevel cervical spondylotic myelopathy: a systematic review. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2014 Jan;134(1):1-7.
7. Lao L, Zhong G, Li X, Qian L, Liu Z. Laminoplasty versus laminectomy for multi-level cervical spondylotic myelopathy: a systematic review of the literature. *J Orthop Surg Res.* 2013 Dec 1;8:45. doi: 10.1186/1749-799X-8-45. PMID: 24289653; PMCID: PMC4222049.
8. Yukawa Y, Kato F, Ito K, Horie Y, Hida T, Ito Z, Matsuyama Y. Laminoplasty and skip laminectomy for cervical compressive myelopathy: range of motion, postoperative neck pain, and surgical outcomes in a randomized prospective study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007 Aug 15;32(18):1980-5. doi: 10.1097/BRS.0b013e318133fbce. PMID: 17700444.
9. Sivaraman A, Bhadra AK, Altaf F, Singh A, Rai A, Casey AT, Crawford RJ. Skip laminectomy and laminoplasty for cervical spondylotic myelopathy: a prospective study of clinical and radiologic outcomes. *J Spinal Disord Tech.* 2010 Apr;23(2):96-100. doi: 10.1097/BSD.0b013e318198c92a. PMID: 20084024.
10. Sirasi N. Medieval and early renaissance medicine. *An Introduction to*

- knowledge and practice. University of Chicago Press: Chicago, IL, USA, 1990.
11. Breasted JH. The Edwin Smith Papyrus Published in facsimile and hieroglyphic transliteration with translation and commentary in two volumes University of Chicago Press: Chicago, IL, USA, 1930.
  12. Elsberg CA. Edwin Smith Papyrus and diagnosis and treatment of injuries to skull and spine. *Ann Med Hist* 1931; 3: 271–279.
  13. Dweik, A., Van den Brande, E., Kossmann, T. et al. History of cervical spine surgery: from nihilism to advanced reconstructive surgery. *Spinal Cord* 51, 809–814 (2013).
  14. Galen C. Experimental section and hemisection of the spinal cord (taken from *De Locis affectibus*). *Ann Med Hist* 1917; 1: 367–371.
  15. Goodrich JT. History of spine surgery in the ancient and medieval worlds. *Neurosurg focus* 2004; 16: E2.
  16. Paulus of Aegineta. *Seven Books of Paulus Aegineta* Adams F, trans Sydenham Society: London, UK, 1844–1847.
  17. Castro I, Santos DP, Christoph D de H, Landeiro JA. The history of spinal surgery for disc disease: an illustrated timeline. *Arq Neuropsiquiatr* 2005; 63: 701–706.
  18. Key CA. On paraplegia depending on the ligaments of the spine. *Guy's Hosp. Rep.* 1838; 3: 17–34.
  19. Benzel EC, Stewart TJ, Schlenk RP, Lu J. Cervical Laminectomy Technique. *Neurosurgery*, 2007; 60: 149-153.
  20. Stookey B. Cervical disk protrusion causing myelopathy, radiculopathy and radiculomyelopathy. *JAMA*. 1944;124(12):1017-1021.
  21. Bailey RW, Badgley CE. Stabilization of the cervical spine by anterior fusion. *J Bone Joint Surg Am.* 1960;42-A:565-594.
  22. Moftakhar R, Trost GR. Anterior cervical plates: a historical perspective. *Neurosurg Focus* 2004; 16: E8.
  23. Keele KD, Pedretti C: *Leonardo da Vinci: Corpus of the Anatomical Studies in the Collection of Her Majesty the Queen at Windsor Castle*. London, Harcourt Brace Jovanovich, 1979.
  24. Hirsch C. Cervical disc rupture, diagnosis and therapy. *Acta Orthop Scand*

1960; 30: 172-186.

25. Bohler J. Sofort und fruhbehandlung traumatischer querschnittlahmungen. *Z. Orthhop*, 1967; 103: 512-528.

26. Dohler JR, Kahn MR, Hughes SP. Instability of the cervical spine after anterior interbody fusion. A study on its incidence and clinical significance in 21 patients. *Arch Orthop Trauma Surg* 1985; 104: 247–250.

27. Eck JC, Humphreys SC, Lim TH, Jeong ST, Kim JG, Hodges SD et al. Biomechanical study on the effect of cervical spine fusion on adjacent-level intradiscal pressure and segmental motion. *Spine (Phila Pa 1976)* 2002; 27: 2431–2434.

28. Herkowitz H: Acomparison of anterior cervical fusion, cervical laminectomy, and cervical laminoplasty for the surgical management of multiple level spondylotic radiculopathy. *Spine* 13: 774-780, 1988.

29. Steinmetz MP, Resnick DK: Cervical laminoplasty. *Spine* 6: 274281,2006.

30. The Genuine Works of Hippocrates[translated from the Greek by Adams F]. Baltimore, Williams & Wilkins, 1939, pp 231-241.

31. Sanan A, Rengachary SS. The history of spinal biomechanics. *Neurosurgery*. 1996 Oct;39(4):657-68; discussion 668-9. doi: 10.1097/00006123-199610000-00001. PMID: 8880756.

32. Hildanus WF: Opera quae Extant Omnia. Francofurti ad Moenum, J. Beyerli, 1646.

33. Crisco JJ, Panjabi MM: The intersegmental and multisegmental muscles of the lumbar spine: A biomechanical model comparing lateral stabilizing potential. *Spine* 16:793-799, 1991.

34. Euler L: Leonhardi Euleri Opera Omnia. Lipsiae, B.G. Teubneri, 1911.

35. Wolff J: Concerning the interrelationship between form and function of the individual parts of the organism [translated by Scheck M].*Clin*.

36. Wood-Jones F: The examination of the bodies of 100 men executed in Nubia in Roman times. *Br Med J* 1:736-737, 1908.

37. Wood-Jones F: The ideal lesion produced by judicial hanging. *Lancet* 1:53, 1913.

38. Holdsworth F: Fractures, dislocations, and fracture-dislocations of the spine. *J*

Bone Joint Surg Am 52:1534-1550, 1970.

39. Denis F: The three column injury and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries. Spine 8:817-831, 1983.
40. Çobanoğlu S, Hamamcıoğlu MK, Kılınçer C, Hiçdönmez T, Şimşek O, Özsüer H. Nöroşirürji. Beyin – Omurilik – Sinir Cerrahisi Dersleri. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri, 2002:321-7.
41. Yıldırım M. İnsan Anatomisi. İstanbul: Beta Basım Yayım, 1994:43-6.
42. Sobotta Atlas of Anatomy: Head, Neck and Neuroanatomy [3, 15th ed.].Friedrich Paulsen, Jens Waschke.
43. Güvençer Mustafa, Karatosun Vasfi, Korman Esin (2001). Omurganın Anatomisi Kemik Yapı. The Journal of Turkish Spinal Surgery, 2(1-2), 41-46. (Kontrol No: 1315455).
44. Feng H, Danfelter M, Stromqvist B, Heinegard D: Extracellular matrix in disc degeneration. J Bone Joint Surg Am 2006;88(suppl 2):25-29.
45. Buckwalter JA, Mow VC, Boden SD, Eyre DR, Weidenbaum M: Intervertebral disc structure, composition and mechanical function, in Buckwalter JA, Einhorn TA, Simon SR (eds): Orthopaedic Basic Science: Biology and Biomechanics of the musculoskeletal System, ed2. Rosemont, IL, American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2000, pp 548-555.
46. Boos N, Weissbach S, Rohrbach H, Weiler C, Spratt KF, Nerlich AG: Classification of age- related changes in lumbar intervertebral discs. Spine 2002;27:2631-2644.
47. Grunhagen T, Wilde G, Soukane DM, Shirazi-Adl SA, Urban JP: Nutrient supply and intervertebral disc metabolism. J Bone Joint Surg Am 2006;88(suppl 2):30-35.
48. Zileli M, Özer F. Omurilik ve Omurga Cerrahisi. Meta Basım ,zmir: 2002 (2.baskı), 1: 15-42.
49. Arıncı K, Elhan A: Anatomi, Cilt 1-2, Güneş Kitabevi, Ankara, 2001.
50. Moore K, Dalley A: Clinical Oriented Anatomy, Lippincott Williams & Wilkins, 1999.
51. Zileli M: Omurilik ve Omurga Cerrahisi 1.Baskı. Saray Medikal Yayıncılık. Cilt 1, 1997; 3-35.

52. Katz MM, Hargens AR, Garfin SR: Intervertebral disc nutrition. Diffusion versus convection. *Clin Orthoprelat Res* 210: 243-245, 1996.
53. Netter atlas of human anatomy, 6th edition, plate 155.
54. O'laoire SA, Thomas DGT: Spinal cord compression due to prolapse of cervical intervertebral disc (herniation of nucleus pulposus). Treatment in 26 cases by discectomy without bone graft. *J Neurosurg* 59: 847-853, 1983.
55. LIANG, C., LI, H., TAO, Y., SHEN, C., LI, F., SHI, Z., HAN, B. and CHEN, Q. (2013), New hypothesis of chronic back pain. *Acta Anaesthesiol Scand*, 57: 271-277. <https://doi.org/10.1111/j.1399-6576.2012.02670.x>.
56. Kisner C, Colby LA: The spine: Exercise interventions. In: Kisner C, Colby, LA, ed. *Therapeutic Exercise: Foundations and Techniques*. 5th ed. Philadelphia: Fa Davis, 2012.
57. Ramazanoğlu AF, Naderi S. Dejeneratif Servikal Omurgada Biyomekanik. Arslantaş A, editör. *Servikal Dejeneratif Hastalıklar*. Ankara: Türkiye Klinikleri; 2018, 6-10.
58. Osborn AG. *Diagnostic Neuroradiology*. St. Louis, CV Mosby; 1994, p. 785-872.
59. Grubb MR, Currier BL, Shih JS, Bonin V, Grabowski JJ, Chao EYS: Biomechanical evaluation of anterior cervical spine stabilization. *Spine* 23: 886-92, 1998.
60. Benzel EC, ed. *Biomechanics of Spine Stabilization*. New York: Thieme; 2001:20. İçinde.
61. Naderi S. Omurga biyomekaniği-klinik kavramlar: Zileli M, Özer F (ed). *Omurilik ve Omurga Cerrahisi*, İzmir: Meta 2002, 125-37. İçinde.
62. Aydın AL. ve ark: Servikal Spinal Biyomekanik, *Türk Nöroşir Derg* 32(3):314-319, 2022.
63. Gertzbein SD, Seligman J, Holtby R, Chan KH, Kapasouri A, Tile M, Cruickshank B: Centrode patterns and segmental instability in degenerative disc disease. *Spine (Phila Pa 1976)* 10(3):257-261, 1985.
64. Naderi S, Karakoç Y: *Biyomekaniğin Temelleri*. Sağlık Bilimleri Üniversitesi Yayınları, 2020.
65. White AA, Johnson RM, Panjabi MM: *Biomechanical analysis of clinical*

stability in the cervical spine. *Clin Orthop* 1975; 109:85-96.

66. White AA, Panjabi MM: *Clinical Biomechanics of the Spine*. Philadelphia, PA, Lippincott, 1990.
67. Özer AF. Servikal spondilotik miyelopati. In: Mehmet Zileli, Ali Fahir Ozer (Eds.). *Omurilik ve Omurga Cerrahisi*. Nobel Kitapevi, İstanbul, pp: 561-574.
68. Heller JG. The syndromes of degenerative cervical disease. *Orthop Clin North Am* 1992; 23(3): 381 – 394.
69. Connell MD, Wiesel SW. Natural history and pathogenesis of cervical disk disease. *Orthop Clin North Am* 1992; 23(3): 369-380.
70. Brebach GT, Fischgrund JS, Herkowitz HN. Cervical spondylosis and stenosis. In: Bono G (Ed.). *Orthopaedic Surgery Essentials - Spine*. Lippincott, Philadelphia 2006; pp: 106-113.
71. Baron EM, Young WF. Cervical spondylotic myelopathy: a brief review of its pathophysiology, clinical course, and diagnosis. *Neurosurgery J* 2007; 60(1- suppl.): 35-41.
72. Garfin SR. Cervical degenerative disorders etiology, presentation, and imaging studies. *Instr Course Lect.*, 2000; 49: 335-338.
73. Komori H, Shinomiya K, Nakai O. The natural history of herniated nucleus pulposus with radiculopathy. *Spine*, 1996; 21: 225.
74. Shedid D, Benzel EC. Cervical spondylosis; anatomy, pathophysiology and biomechanics. *Neurosurgery*, 2007; 60 (1. Supplement): 166-169.
75. Kubo Y, Waga S, Kojima T, et al. Microsurgical anatomy of the lower cervical spine and cord. *Neurosurgery*, 1994; 34(5): 895-90.
76. Edwards CC, Riew KD, Anderson PA, Hilibrand AS, Vaccaro AR. Cervical myelopathy: Current diagnostic and treatment strategies. *Spine J* 2003; 3: 68-81.
77. Geck MJ, Eismont FJ. Surgical options of treatment of cervical spondylotic myelopathy. *Orthop Clin North Am* 2002; 33: 329-348.
78. Bohlman HH, Emery SE. The pathophysiology of cervical spondylosis and myelopathy. *Spine*, 1988; 13: 843-846.
79. Murone I. The importance of the sagittal diameters of the cervical spinal canal in relation to spondylosis and myelopathy. *J Bone Joint Surg* 1973; 56-B: 30-36.

80. Yue WM, Tan SB, Tan MH, Koh CT, Tan YT. The torg-pavlov ratio in cervical spondylotic myelopathy: a comparative study between patients with cervical spondylotic myelopathy and a nonspondylotic, nonmyelopathic population. *Spine* 2001; 26: 1760-1764.
81. Fehlings MG, Skaf G. A review of the pathophysiology of cervical spondylotic myelopathy with insights for potential novel mechanisms drawn from traumatic spinal cord injury. *Spine*, 1998; 23(24): 2730-37.
82. Harrop JS, Silva MT, Sharan A. Neurological manifestations of cervical spondylosis, an overview of signs, symptoms, and pathophysiology. *Neurosurgery*, 2007; 60 (Suppl 1): 14-20.
83. Inamasu J, Guiot BH, Sachs DC. Ossification of the posterior longitudinal ligament: An update on its biology, epidemiology and natural history. *Neurosurgery* 2006; 58: 1027-1039.
84. Yu L, Zhang Z, Ding Q, Li Y, Liu Y, Yin G: Relationship between signal changes on T2-weighted magnetic resonance images and cervical dynamics in cervical spondylotic myelopathy *J Spinal Disord Tech* 28(6):365-367, 2015.
85. Machino M, Yukawa Y, İto K: Dynamic changes in dural sac and spinal cord cross-sectional area in patients with cervical spondylotic myelopathy. *Spine* 36(5): 399-403, 2011.
86. Jetan H. Badhiwala, Muhammad A. Akbar, and Michael G. Fehlings: Evaluation and Treatment of Degenerative Cervical Myelopathy. In: Winn HR (ed), Youmans Neurological Surgery, 8th ed, Vol: 3. Philadelphia:ElsevierSaunders, 2023:2517-2525. İçinde.
87. Badhiwala JH, Ahuja CS, Akbar MA, et al. Degenerative cervical myelopathy—update and future directions. *Nat Rev Neurol*. 2020;16:108–124.
88. Montgomery DM, Bower RS. Cervical spondylotic myelopathy. In: Garfin SR (ed), *The Orthopedic Clinics of North America; The degenerative Neck*, 1992:487-493.
89. Cooper PR: Cervical spondylotic myelopathy. *Contemporary Neurosurgery* 1997;19:1-7.
90. Tetreault L, Goldstein CL, Arnold P, et al. Degenerative cervical myelopathy: a spectrum of related disorders affecting the aging spine. *Neurosurgery*.

2015;77(suppl 4):S51–S67.

91. Tracy JA, Bartleson JD. Cervical spondylotic myelopathy. *Neurol.* 2010;16(3):176–187.
92. Chiles BW, Leonard MA, Choudhri HF, Cooper PR. Cervical spondylotic myelopathy, patterns of neurological deficit and recovery after anterior cervical decompression. *Neurosurgery*, 1999; 44: 762-769.
93. Young WK. Cervical spondylotic myelopathy: A common cause of spinal cord dysfunction in older persons. *Am Fam Physician*, 2000; 62: 1064-73.
94. Cull R, Whittle I. The nervous system. In: Munro J, Edwards C (editors). *Macleod's Clinical Examination*. Edinburgh: Churchill Livingstone. 1995; 201- 256.
95. Benzel EC, Lancon J, Kesterson L, Hadden T. Cervical laminectomy and dentate ligament section for cervical spondylotic myelopathy. *J Spinal Disord.* 1991;4:286–295.
96. Nurick S. The pathogenesis of the spinal cord disorder associated with cervical spondylosis. *Brain.* 1972;95:87–100.
97. Sun Q, Hu H, Zhang Y, et al. Do intramedullary spinal cord changes in signal intensity on MRI affect surgical opportunity and approach for cervical myelopathy due to ossification of the posterior longitudinal ligament? *Eur Spine J.* 2011;20(9):1466–1473.
98. Nagata K, Kiyonaga K, Ohashi T, Sagara M, Miyazaki S, Inoue A. Clinical value of magnetic resonance imaging for cervical myelopathy. *Spine (Phila Pa 1976).* 1990;15(11):1088–1096.
99. Ames CP, Blondel B, Scheer JK, et al. Cervical radiographical alignment: comprehensive assessment techniques and potential importance in cervical myelopathy. *Spine (Phila Pa 1976).* 2013;38(22 suppl 1):S149–S160.
100. Palaoglu S. Servikal Laminoplasti. *Türk nörosirurji Dergisi*, 2009; Cilt 19 sayı 3, 126-134.
101. Hidai Y, Ebara S, Kamimura M, Tateiwa Y, Itoh H, Kinoshita T, Takaoka K, Ohtsuka K: Treatment of cervical compressive myelopathy with a new dorsolateral decompressive procedure. *J Neurosurg Spine* 90(2):178-185, 1999.
102. Mielke D, Rohde V: Bilateral spinal canal decompression via hemilaminectomy in cervical spondylotic myelopathy. *Acta Neurochir* 157(10):1813-

1817, 2015.

103. Minamide A, Yoshida M, Yamada H, et al. Clinical outcomes of microendoscopic decompression surgery for cervical myelopathy. *Euro Spine J*, 2010; 19: 487–493.
104. Öğden M, Akkaya S, Yüksel U, Dağlı AT, Bakar B, Özveren MF: Servikal miyelopatili hastalarda unilateral yaklaşım ile bilateral dekompresyonun klinik sonuçları. *KÜ Tıp Fak Derg* 20(3):313320, 2018.
105. Naderi S. Servikal spondilolitik miyelopatide cerrahi seçimi. *Türk Nöroşirürji Dergisi*, 2000; 10: 137 – 143.
106. Fields MJ, Hoshijima K, Feng AH, Richardson WJ, Myers BS: A biomechanical, radiological, and clinical comparison of outcome after multilevel cervical laminectomy or laminoplasty in the rabbit. *Spine* 25(22): 2925-31, 2000.
107. Benzel EC: Cervical spondylitic myelopathy: posterior surgical approaches. in Menezes AH and Sonntag VKH(eds): *Principles of spinal surgery*, McGraw-Hill, New York, 1996, Vol 1, pp 571-80.
108. Collias JC, Roberts MP. Posterior surgical approaches for cervical disc herniation and spondylotic myelopathy. Schmidek A and Sweet WH editors. *Operative Neurosurgical Techniques*. Philadelphia WB Saunders, 2000; pp 2016-2028.
109. Witzmann A, Hejazi N, Krasznai L. Posterior cervical foraminotomy, a follow up study of 67 surgically treated patients with compressive radiculopathy. *Neurosurg Rev* 2000; 23: 213-7.
110. Epstein JA. The surgical management of cervical spinal stenosis, spondylosis and myeloradiculopathy by means of the posterior approach. *Spine* 1988;13:864-869.
111. Nowinski GP, Visarius H, Nolte LP, Herkowitz HN: A biomechanical comparison of cervical laminoplasty and cervical laminectomy with progressive facetectomy. *Spine* 18(14):1995-2004, 1993.
112. *Atlas of Neurosurgical Techniques: Spine and Peripheral Nerves*, Richard G. Fessler, Laligam N. Sekhar (eds.), Copyright © 2016 by Thieme Medical Publishers, Inc., Pages 213-216. İçinde.
113. Bartels RHMA, Van Tulder MW, Moojen WA, Arts MP, Peul WC: Laminoplasty and laminectomy for cervical spondylotic myelopathy: A systematic

review. *Eur Spine J* 24(2):160-167, 2015.

114. Cabraja M, Abbushi A, Koeppen D, et al. Comparison between anterior and posterior decompression with instrumentation for cervical spondylotic myelopathy: sagittal alignment and clinical outcome. *Neurosurg Focus* 2010;28:15.

115. Mayer M, Meier O, Auffarth A, Koller H: Cervical laminectomy and instrumented lateral mass fusion: Techniques, pearls and pitfalls. *Eur Spine J* 24(2):168-185, 2015.

116. Oyama M, Hattori S. A new method of cervical laminectomy. *The Central Japan Journal of Orthopaedic and Traumatic Surgery*. 1973;16:792–794 [in Japanese].

117. Hirabayashi K, Watanabe K, Wakano K, Suzuki N, Satomi K, Ishii Y. Expansive open-door laminoplasty for cervical spinal stenotic myelopathy. *Spine* 1983;8:693–699.

118. Kurokawa T, Tsuyama N, Tanaka H, et al. Enlargement of spinal canal by the sagittal splitting of the spinous process. *Bessatsu Seikeigeka* 1982;2: 234–240 [in Japanese].

119. Matz PG, Anderson PA, Groff MW, Heary RF, Holly LT, Kaiser MG, Mummaneni PV, Ryken TC, Choudhri TF, Vresilovic EJ, Resnick DK: Cervical laminoplasty for the treatment of cervical degenerative myelopathy. *J Neurosurg Spine*. 2009 Aug;11(2):157-169.

120. Takemitsu M, Cheung KM, Wong YW, Cheung WY, Luk KD:C5 nerve root palsy after cervical laminoplasty and posterior fusion with instrumentation. *J Spinal Disord Tech*. 2008 Jun;21(4):267-272.

121. Hosono N, Yonenobu K, Ono K. Neck and shoulder pain after laminoplasty. A noticeable complication. *Spine* 1993;21:1969–73.

122. Kawaguchi Y, Matsui H, Ishihara H, et al. Axial symptoms after en bloc cervical laminoplasty. *Spinal Disord* 1999;12:392–5.

123. *Cervical Spine Surgery: Standard and Advanced Techniques*, H. Koller, Y. Robinson (eds.), Springer Nature Switzerland AG 2019, T. Shiraishi (\*) · R. Aoyama, page 437. İçinde.

124. Shiraishi T, Kato M, Yato Y, et al. New techniques for exposure of posterior cervical spine through intermuscular planes and their surgical application. *Spine*.

2012;37(5):E286–96.

125. Nori S, Aoyama R, Ninomiya K, et al. Cervical laminectomy of limited width prevents postoperative C5 palsy: a multivariate analysis of 263 muscle-preserving posterior decompression cases. *Eur Spine J.* 2017;26(9):2393–403.

126. Cain CCMJ, Fraser RD: Bony and vascular anatomy of the normal cervical spine in the sheep. *Spine* 20: 759-65, 1995.

127. Zdeblick TA, Cooke ME, Wilson D: Anterior cervical discectomy, fusion and plating. A comparative animal study. *Spine* 18:1974-83, 1993.

128. Wilke HJ, Kettler, Claes LE: Are sheep spines a valid biomechanical model for human spines? *Spine* 22: 2365-74, 1997.

129. Zdeblick TA, Cooke ME, Wilson D: Anterior cervical discectomy, fusion and plating. A comparative animal study. *Spine* 18:1974-83, 1993.

130. Luo W, Li Y, Zhao J, Zou Y, Gu R, Li H. Skip Laminectomy Compared with Laminoplasty for Cervical Compressive Myelopathy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *World Neurosurg.* 2018 Dec;120:296-301. doi: 10.1016/j.wneu.2018.08.231. Epub 2018 Sep 8. PMID: 30205220.

131. Yu Z, He D, Xiong J, Pan Z, Feng L, Xu J, Han Z, Gragnaniello C, Koga H, Phan K, Azimi P, Lee JJ, Ha Y, Cao K. Extensor muscle-preserving laminectomy in treating multilevel cervical spondylotic myelopathy compared with laminoplasty. *Ann Transl Med.* 2019 Sep;7(18):472. doi: 10.21037/atm.2019.08.17. PMID: 31700908; PMCID: PMC6803235.