

# Sığır Omurga Modelinde Anterior ve Posterior Fiksasyon Tekniklerinin Stabiliteye Etkisinin Karşılaştırılması

## Comparison of Stability of Posterior and Anterior Fixation Techniques in the Calf Spine Model

MURAT HANCI, FATMA ÖZLEN, MUSTAFA UZAN, MEHMET YAŞAR KAYNARCA,  
ERGÜN BOZDAÇ, ZİYA AKAR, ALI ÇETİN SARIOĞLU

İstanbul Üniversitesi Nörolojik Bilimler Enstitüsü (MH, MU, FÖ, MYÖ)  
İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Nöroşirürji Anabilim Dalı (ZA, AÇS)  
İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Fakültesi Mukavemet Bilim Dalı, (EB), İstanbul

**Özet:** Bu çalışma, sığır omurgasındaki deneysel bir modelde anterior ve posterior fiksasyonun stabiliteye katkısını değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Sakrifiye edilmiş 15 adet, yaklaşık 100 kg. ağırlığında 6 aylık danalardan elde edilen C<sub>7</sub>-C<sub>8</sub> fonksiyonel spinal ünitesi örnek olarak kullanıldı. Örneklere uygulanan kuvvet ve bu sırada ölçme noktalarında ortaya çıkan yer değiştirmeleri ölçebilmek için Strain-gage tekniğinden yararlanıldı. Supraspinöz ligament, interspinöz ligament, ligamentum flavum, kapsüller ligaman, anulus fibrosus, posterior longitudinal ligaman ve anterior longitudinal ligaman kesilerek lezyon oluşturuldu. Anterior fiksasyon amacıyla metakarp plağı, C<sub>7</sub> ve C<sub>8</sub> korpuslarına birer adet kortikal vida ile bikortikal olarak tespit edildi. Posterior fiksasyon grubunda ise interspinöz tellene yapıldı instabil hareket segmentine anterior ve posterior fiksasyonun kazandırdığı stabilite, intact grub ile karşılaştırıldığında anterior plak-vida fiksasyonunda kontrol grubu stabilite değerlerine yaklaşmasına karşın, posterior fiksasyonun özellikle fiksasyon stabilitesinde hem intact hem de anterior fiksasyon grubundan daha yüksek güvence sağladığı belirlendi.

**Anahtar Kelimeler:** Diskoligamentöz yaralanma, omurganın stabilitesi

**Summary:** The aim of the experimental study was to compare stabilization of the spinal column provided by anterior and posterior fixation in total discoligamentous injury of the cervical vertebrae. To achieve this, functional C<sub>7</sub>-C<sub>8</sub> spinal units taken from 6 month old sacrificed calves weighing 100 kgs were used. The amount of force which caused a unit displacement under flexion, extension and axial loads was separately calculated in the control group of intact subjects, in the lesion group of unstable subjects and in the treatment groups of subjects whose fixation were carried out post creation of instability. The in-vitro stability provided by posterior or anterior fixation was compared. When all values were considered, the results of subjects to which posterior fixation was applied produced better results than the results of the control and anterior stabilization groups in flexion. Equivalent values to the control group were attained in the other loadings. The study which determined that posterior fixation is a way of internal stabilization and provides necessary stabilization in adequate levels.

**Key Words:** Discoligamentous injury, stability

## GİRİŞ

Servikal travma hakkındaki ilk bilgilerimiz, yaklaşık 5000 yıl öncesinin papirüslerinde başlar. Hedef aldığı genç yaş grubunun yaşamı ve yaşam kalitesine yönelik tehlikeleriyle günümüzün de belki en önemli travma grubunu oluşturur (2).

Stabilite kavramının ve servikal omurgadaki öneminin bilindiği bugün, travmayla yitirilen

stabilitenin yeniden sağlanmasına yönelik cerrahi girişimler gelişirken, bu yöntemlerin biyomekanik testlerle değerlendirilmesi kaçınılmaz olmuştur (1). Servikal omurganın total diskoligamentöz yaralanmasında oluşan instabil hareket segmentinin onarımında, internal stabilizasyonu amacıyla anterior ve/veya posterior fiksasyon teknikleri uygulanmakta olup bu yöntemlerin tek ya da kombine olarak kullanılmaları tartışılmalı bir konudur. Bu deneysel

çalışmada, sıgır omurgasında oluşturulan servikal diskoligamentöz yaralanma modelinde, anterior ve posterior fiksasyonun, instabil hareket segmentine kazandırdığı primer stabilitenin biyomekanik değerlendirmesi ve bu yöntemlerin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

## GEREÇLER ve YÖNTEM

100 kg ağırlığında, 6 aylık sığırlardan sakrifikasyon sonrası 20 adet servikal omurga ( $C_1-C_7$ ) elde edilmiştir. Adaleler ligamanlara zarar verilmeksizin çıkartıldıktan sonra, bu materyal  $-20^{\circ}\text{C}$  de korundu. Deney sırasında çözdürülen omurgalar  $C_1$ 'ün 2/3 alt ve  $C_7$ 'nin 1/3 üst bölümünden kesilerek ve ardından ikiye adet vida ile  $C_3-C_4$  korpusu ve  $C_5-C_6$  korpusu fikse edilmek yoluyla  $C_4-C_5$  seviyesinin hareketli tek fonksiyonel spinal ünitesi elde edildi. Servikal omurganın çeşitli kuvvet yüklemeleri altındaki davranışını incelemek üzere kullanılan düzeneğin iki bölümden oluşmakta idi:

1 - Uygulanan kuvveti ve bu sırada ölçme noktalarında ortaya çıkan yer değiştirmeyi ölçen strain-gage düzeneği.

2 - Örneklerin boyutlarına göre ayarlanabilir bir kelepçe sistemi ile zeminine tespit edildiği, istenilen açılarda kuvvet uygulamasına olanak verecek şekilde açı ölçer yay üzerinde hareket edebilen kuvvet uygulama mekanizması bulunan ölçme çerçevesidir (Şekil 1).

Deney sırasında ölçme çerçevesine yerleştirilen örneklerde  $C_4$  vertebra transvers prosesi ile spinöz prosesi altına yer değiştirme ölçme kırışleri yerleştirilmiş, HBM-MK ® statik köprüsüne (strain

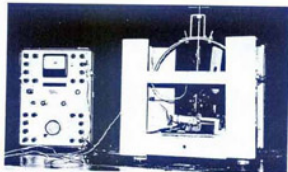
gaje) bağlanarak kalibrasyon hesabı ve referans değerleri belirlenmiştir. Kontrol grubu aksiyel yüklemeye testinde kuvvet, vertebra'nın gövde merkezine 50 N/saniye şeklinde uygulandı, toplam 300 N olduğunda yük boşaltılarak 20 saniye sonra yer değiştirme miktarı epsilon cinsinden kaydedildi. Lateral bükülme testinde yine toplam 300 N olan kuvvet, bu kez ağırlık merkezinin 2 cm sağ lateralinden dikey olarak uygulandı.

Ekstansiyon testinde ağırlık merkezinin 2 cm arkasına aynı uygulama yapılarak posterior ölçme kırışinde 1 cm lik yer değiştirmeye neden olan kuvvet epsilon olarak saptandı.

Fleksiyon testinde posterior ölçüm kırışi  $C_4$  spinöz proses üzerine, kuvvet kalemi de ağırlık merkezinin 2 cm önüne yerleştirilerek yüklemeye yapıldı ve yine 1 cm yer değiştirmeye karşılık gelen epsilon değeri bulundu. Her biri beş örnekten oluşan gruplarda, her örnek beş kez test edilerek son veri kaydedilmiş testler sonrasında elde edilen epsilon değerlerinde yer değiştirmeler mm, kuvvet ise Newton cinsine çevrilmiştir. Lezyon grubu örneklerde nükleus pulposuz dışında kalan tüm diskoligamentöz yapıların kesisi ile instabil hareket segmenti oluşturularak aynı testler gerçekleştirildi. Fiksasyon grubunu oluşturan on deneğin tümünde sözü edilen lezyon meydana getirildikten sonra anterior fiksasyon uygulanan ilk beş deneğin disk mesafesine trikortikal kemik grefti yerleştirilerek metakarp plağı (ASTM F.138, F.139)®  $C_4$  ve  $C_5$  korpuslarına birer kortikal vida ile bikortikal oturtuldu (Şekil 2); posterior fiksasyon uygulanan diğer beş örnekte ise Bohlman'ın üçlü tel tekniği 1.2mm paslanmaz çelik tel kullanılarak  $C_4-C_5$  spinöz çıkıntılar arasında immobilizasyon sağlandı (Şekil 3). Fiksasyon grubunun tüm örneklerinde bu uygulamalar sonrası çekilen direkt grafiplerle yapılan işlem radyolojik olarak da kontrol edildi. Testler sırasında %0.9 NaCl ile ıslatılan örneklerde test süresi 6 saati aşmadı.

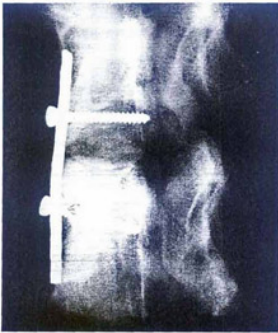
## BULGULAR

Deney sonuçlarının kontrol, lezyon ve fiksasyon-1 ve 2 (anterior ve posterior fiksasyon) gruplarında incelendiği her bir deneğin ölçüm sonucu SPSS PC+ istatistik programında, ANOVA yöntemiyle değerlendirildi ve anlamlılık sınırı  $p<0.05$  olarak kabul edildi. Lezyon grubu lateral yüklemeye testinde 100 Newtonda ölçüm sınırlarının dışına taşan deplasman gösterdiği için yük daha fazla artırılmamış ve bu sonuçlar değerlendirmeye alınmamıştır.

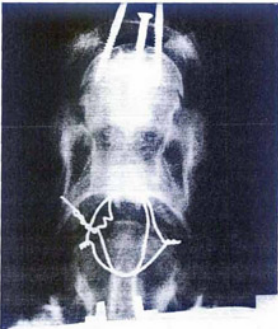


Şekil 1: Deneyde kullanılan kuvvet uygulama çerçevesi.

- 1-Kuvvet uygulama mekanizması
- 2-Kuvvet transüfieri
- 3-Açı ölçer yayı
- 4-Kaymaz destek çubuğu
- 5-Yer değiştirmeye ölçüm kırışı
- 6-Mesnet kırışı
- 7-Hareketli üst çerçeve



Şekil 2: Lateral planda alınan rentgenogramda anterior fiksasyon amacıyla uygulanan plâk-vite sistemi görülmektedir.



Şekil 3: AP planda alınan rentgenogramda 1.2 mm'lik tel kullılarak uygulanan spinöz proses serkeliği görülmektedir.

Tablo I'de test verileri ve istatistiksel karşılaştırılması olan sonuçlar değerlendirildiğinde ortaya çıkarlar; aksiyel yüklenme testinde kontrol grubun 2.01 mm yer değişikliğinin anterior fiksasyon sonrası 1.27 mm, posterior fiksasyon sonrası 1.51mm ye düştüğü (Şekil 4), lateral yüklenme testlerinde transvers ve spinöz proseslerden alınan 5.71 ve 2.44 mm yer değişikliğinin anterior grupta 7.27mm ve 3.83mm - posterior grupta 9.77mm ve 1.09mm bulunduğu ekstansiyon testinde 1 cm deplasman için kontrol grubunun gerektirdiği 470 Newton'un anterior grupta 372.8 N'a düşerken posterior grupta 562 N'a çıktığı (Şekil 5), fleksiyon testinde aynı şekilde 607 Newton'un anterior grupta 425 N'a inişinin posterior grupta 1883 N'a yükselme ile beraber olduğudur (Şekil 6).

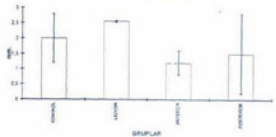
TABLO I:

Testlerde elde edilen verilerin (ort ± std) gruplara göre dağılımı.

"E" oluşan yerdeğiştirme ölçüm sınırları dışına taşıdığı için test uygulanamamıştır. "0" Anlamsız "\*" Anlamlı "\*\*\*" İleri derecede anlamlı (p<0.05 anlamlılık sınırı olarak kabul edilmiştir) Uygulanan stabilizasyon yöntemlerinin birbirleriyle karşılaştırıldığında posterior fiksasyonun özellikle fleksiyonun kısıtlanmasında anlamlı olarak üstün olduğu gözlenmektedir.

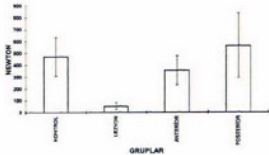
	AKSİYEL	LATERAL	LATERAL	FLEKS		EKST	
	mm	mm	mm	NEWTON	NEWTON	NEWTON	NEWTON
KONTROL	2.01	5.71	2.44	607	470	372.8	562
LEZYON	2.56	E	E	76.56	81.56		
ANTERİYÖR	1.27	7.27	3.83	425	372.8		
POSTERİYÖR	1.51	9.77	1.09	1883	562		

AKSİYEL YÜKLENME



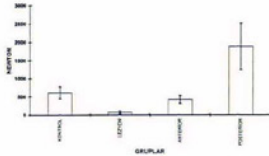
Şekil 4: Aksiyel yüklenme altında örneklerden elde edilen yerdeğiştirme değerlerinin gruplara göre dağılımı.

## EKSTANSİYON YÜKLENMESİ



Şekil 5: Ekstansiyon yüklenmeleri altında elde alınan değerlerin gerek birbirlerinden gerekse de kontrol grubundan fazla farklılaşmalar göstermedikleri izlenebilmektedir.

## FLEKSİYON YÜKLENMESİ



Şekil 6: Fleksiyon yüklenmeleri altında posterior fiksasyonu gerek anterior fiksasyona gerekse de insitit omurgaya nazaran belirgin olarak rijit hale geldiği gözlemlenmektedir.

## TARTIŞMA

Tanımlandığı çağlardan beri, kötü prognozu çağrıştıran servikal travmalarda, primer medüller hasar karşısındaki çaresizliğin sürdüğü günümüzde, arta kalan nörolojik işlevin korunması ve ek hasarların önlenmesine yönelik omurga stabilizasyonu tedavinin önemli bir basamağını oluşturmaktadır (5).

Servikal spinal instabilite tedavi edilmediğinde, kifozla birlikte progresif nörolojik defisit ortaya çıkacaktır (13,29). Bu komplikasyonların engellenmesi amacıyla instabil servikal vertebra yaralanmalarının fiksasyonunda anterior ve / veya posterior osteosentez yöntemlerinin kullanılması geniş kitlelerce kabul görmüştür (1). Biyomekanik testlerde örnek olarak taze insan kadavrası (1,3,15,16,20,21,22,25,27), sığır (7), köpek (30), koyun (28) gibi farklı canlılardan elde edilen servikal

vertebralar kullanılmıştır. Sığır vertebraları torakolomber bölgenin biyomekanikliğinin araştırılması amacıyla yoğun bir şekilde kullanılırken (11,30), servikal vertebraların biyomekanikliğinin araştırılması amacıyla ilk olarak 1988 yılında Sutterlin ve ark. (26) tarafından kullanılmıştır. İnsan ve sığır vertebraları arasında bazı anatomik farklılıklar (4,10,23,26) nedeniyle bu testlerde taze insan kadavrası kullanılması önerilmiş ise de dejenerasyonu ve osteoporozu olmayan, metabolik hastalığı bulunmayan, genç yaş grubundan çok sayıda kadavra bulmak olanaksız gibidir (15,17,31). Genç sığırlardan elde edilen servikal vertebraların yapısal özellikleri ve spinal osteolegamentöz yapıları biyomekanik testler için uygundur (24). Coe ve ark. (3) yaptıkları bir çalışmada servikal vertebra implantlarının biyomekanik testleri için sığır modelinin kullanılabilir olduğunu saptamışlardır.

En yaygın olarak görülen servikal yaralanma tipi Allen (2) ve ark.'na göre 3. derece distraktif fleksiyon veya bilateral faset dislokasyonudur. Bu yaralanma tipinde her üç kolonda da instabilite mevcuttur. Biz de çalışmamızda interspinoz, supraspinoz ligamanları, faset eklemlerini, ligamentum flavumu, posterior longitudinal ligamanı ve annulus fibrosusu kesip anterior longitudinal ligamanı da C<sub>6</sub> ve C<sub>7</sub> vertebralar önünden sıyrarak instabiliteyi sağladı.

Ligaman yaralanması ve vertebra korpus yaralanması ayrımını yapmak cerrahi stabilizasyon için yol göstericidir; ligaman yaralanması posterior fiksasyon ve füzyon gerektirirken korpus yaralanması ise vertebrektomi ve greft gerektirir. Ligaman ve korpus yaralanması kombinasyonunda anterior ve posterior fiksasyon birlikte yapılmalıdır (14).

Subaksial ligaman yaralanması bulunan servikal travmaların optimal tedavisi hasarlı ligamanların fonksiyonun yeniden sağlanması şeklinde olmalıdır. Posterior fiksasyon ve füzyon, subaksial ligaman yaralanmalı servikal travma için hasarlı vertebralar arasında gerginlik bandını yeniden oluşturarak en iyi stabilizasyonu sağlar.

Servikal fraktür ve dislokasyon olgularının stabilizasyonunda bir seçenek olarak kullanılan anterior plak-vida uygulaması ilk olarak 1970 yılında Orosco ve Llovet (18) tarafından ortaya atılmıştır. Jeanneret ve Magerl'in (12) ise daha sonraki yıllarda yaptıkları çalışmalarında; posterior fiksasyonun tüm fleksiyon testlerinde anterior plak fiksasyondan daha etkin olduğunu ortaya koymuşlardır.

Ulrich (27) ve Coe (3) kadavra kullanarak yarattıkları diskoligamentöz yaralanma modelinde posterior fiksasyon tekniklerinin etkinliğini ortaya

koymuşlardır. Total diskoligamentöz yaralanmalı olgularda anterior fiksasyonun, fleksiyon sırasında hareketin IAR'ının (instantaneous axis of rotation - anlık dönme eksen-i- mesnet) çok uzağında olması sebebiyle etkisiz kalacağı görüşü yaygındır. Smith (25), yaptığı çalışmada örneklerde anterior fiksasyonun fleksiyonda stabiliteyi sağladığını ancak sağlanan bu stabilitenin kontrol grubundan daha az olduğunu ortaya koymuştur. Caspar ve Goel (9)'de bu görüşe katılmışlardır. White 'in deneysel olarak gösterdiği ve Stauffer'in doğruladığı gibi instabilite posterior ise stabilizasyonun lokalizasyonu da posterior olmalıdır şeklindeki görüşleri yaygın olarak kabul görmüştür (6,29). Glasser (8) ve ark. da; bu olgularda uygulanacak interspinöz telleme ve kemik füzyonun yeterli stabilizasyonu sağladığını belirtmişlerdir.

Çalışmamızda, sıgır omurgasında oluşturulan servikal diskoligamentöz yaralanma modelinde anterior ve posterior fiksasyonun, instabil hareket segmentine kazandırdığı primer stabilitenin biyomekanik değerlendirmesi ve bu yöntemlerin karşılaştırılması amaçlandı. Önce, kontrol grubu örneklerinde elastik deformasyon sınırları içinde kalacak şekilde bir birim yer değişikliğine yol açan kuvvet miktarı saptandı. Bu şekilde, intakt deneyin çeşitli yönlere etkilenen kuvvetlere gösterdiği direnç stabilitenin rakamsal verilerini oluşturdu.

Lezyon grubu örneklerinin aynı kuvvet yüklemeleri altında gösterdiği direncin kontrol grubu ile karşılaştırılması ile de lezyonun instabilite yarattığı ortaya konuldu.

Fiksasyon gruplarını, daha önce değinildiği şekilde lezyon oluşturularak instabil hale getirilen ve ardından bir bölümüne anterior diğer bölümüne posterior fiksasyon yapılarak yeni bir stabilite kazandırılan örnekler oluşturmaktadır. Anterior fiksator olarak seçilen plak geçtiğimiz yıllarda kliniğimizde de kullanılmış olan metakarp plağıdır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan yanyana iki vidanın uygulandığı sistemler torسیون kuvvetlerini daha etkin olarak engeleyebildiği bilinmektedir. Fakat klinik gözlemlerimiz orta hatta uygulanan tek vidanın yeterli olabildiğini göstermiştir (19). Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde posterior fiksasyonun fleksiyonda sağladığı stabilitenin anterior fiksasyondan daha etkin olduğu ( $p=0.002$ ) gözlemlendi. Ekstansiyonun kısıtlanması söz konusu olduğunda ise anterior veya posterior fiksasyonun birbirlerine bir üstünlük sağlamadığı ( $p=0.07$ ) saptandı. Her iki fiksasyon grubunun test verileri karşılaştırıldığında aksiyel yüklenmede düşey planda etkiyen kuvvetin bir kısmının plak ve vida tarafından absorbe edilmesi nedeniyle anterior

fiksasyon grubunda posteriora nazaran daha az deplasman saptanmıştır. Burada bulunan fark anterior stabilizasyonun lehinedir ( $p=0.02$ ). Lateral yüklenmelerde; ölçüm transvers çıkıntından alındığında anterior fiksasyon lehine ( $p=0.02$ ), spinöz çıkıntından alındığında ise posterior fiksasyon lehine ( $p=0.16$ ) düşük bulunması sağlanan stabilizasyonun mesnetten uzaklaştıkça etkinliğinin azalmasının ifadesi olarak yorumlanmıştır.

## SONUÇ

Tüm değerler gözönüne alındığında posterior fiksasyon ile fleksiyonda, intakt örnekten daha yüksek stabilite elde edilirken diğer yüklemelerde ise kontrol grubuna eşdeğer kabul edilebilecek sonuçlar elde edilmiştir. Anterior plak ve vida fiksasyonu ile de stabilite sağlanabilmekte ancak sağlanan stabilitenin intakt örnekten daha düşük düzeyde kalmaktadır. Bu bulguların kliniğe uygulanması osseöz ankiloz oluşuncaya değin eksternal ortotik ile desteklenmenin gerekliliğini gündeme getirmektedir. Bu sonuçlara dayanarak denilebilir ki servikal bölgenin diskoligamentöz yaralanmalarında posterior fiksasyon uygun tedavi seçeneğidir.

© HBM-MK Strain gage ölçümlerinin yapıldığı Wheastone köprü devresi

© ASTM F138, F139 plak çeliginin patent kod numarası

Yazışma Adresi: Murat Hancı

PK. 792 80220 Şişli İstanbul

## KAYNAKLAR

1. Adams MA, Hutton WC: The effect of fatigue on the lumbar intervertebral disc. *J Bone Joint Surg*. 65B: 199, 1983
2. Allen BL, Ferguson RL, Lehmann TR, O'Brien RP: A mechanistic classification of closed, indirect fractures and dislocations of lower cervical spine. *Spine* 7:1-27, 1982
3. Coe JD, Warden KE, Sutterlin CE, McAfee PC: Biomechanical evaluation of cervical spinal stabilization methods in a human cadaver model. *Spine* 14:1122-1131, 1989
4. Cotterill PC, Kostuik JP, D'Angelo G, Fernie GR, Maki BE: An anatomical comparison of the human and bovine spine. *Journal of Orthopaedic Research* 4:298-303, 1986
5. Errico TJ, Waugh T, Bauer D: Spinal trauma. *JB Lippincott Co. In Philadelphia* pp:1-9, 1991
6. Fielding JW: Cervical spine surgery. *Clinical Orthopaedic and Related Sciences* 200:284-290, 1985
7. Gaines RW, Munson G, Satterlee C, Listing A, Betten R: Harrington rods supplemented with sublaminae wires for thoracolumbar fracture dislocation: Experimental and clinical investigation. *Orthopaedic Transactions* 7:15, 1983

8. Glasser R.S, Fessler R.G: Posterior cervical spine fixation. *Contemporary Neurosurgery* 15:12, 1993
9. Goel VK, Clark CR, Harris KG, Schulte KR: Kinematics of the cervical spine: Effects of multiple total laminectomy and facet wiring. *J Orthop Res* 6:611-619, 1988
10. Gurr KR, McAfee PC, Shih CM: Biomechanical analysis of anterior and posterior instrumentation systems following corpectomy: a calf spine model. *J Bone Joint Surg* 70 A:1182-1192, 1988
11. Gurr KR, McAfee PC, Shih CM: Biomechanical analysis of posterior instrumentation systems following decompressive laminectomy. An unstable calf spine model. *J. Bone Joint Surg.* 70 A:680-691, 1988
12. Jeanneret B, Magerl F, Ward E.H, Ward J.C h: Posterior stabilization of the cervical spine with hook plates. *Spine* 16 S: 56-63, 1991
13. Kaufman HH, Jones E: The principles of bony fusion. *Neurosurgery* 24:264-270, 1989
14. Lemos V.B.R, Wagner F.C: Stabilization of subaxial cervical spinal injuries. *Surg. Neurol.* 39:511-18, 1993
15. Maiman DJ, Sances Jr A, Myklebust JB: Compression injuries of the cervical spine: A biomechanical analysis. *Neurosurgery* 13:254-260, 1983
16. McLain RF, Aretakis A, Moseley TA, Ser P, Benson DR: Subaxial cervical dissociation. Anatomic and biomechanical principles of stabilization. *Spine* 19:653-659, 1994
17. Nusholtz GS, Melvin JW, Huelke DF, Aken NM, Blank JG: Response of the cervical spine to superior-inferior head impact. *Proceedings of the 25<sup>th</sup> Stapp Car Crash Conference of the Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA*, pp197-297, 1981
18. Orozco Delcios R, Llovet Tapies J: Osteosynthesis en las fracturas de raquis cervical. *Rev Orthop Traumatol* 14:285-288, 1970
19. Özyurt E, Canbaz B, Akar Z, Hancı M, Kuday C: Servikal vertebra yaralanmalarında plak-vida ile rijit internal fiksasyon. *Türk Nöroşirürji Dergisi* 2:41-45, 1991
20. Panjabi MM, Summers DJ, Pelker RR, Videman T, Friedlaender GE, Southwick WO: Three-dimensional load displacement curves of the cervical spine. *J. Orthop. Res.* 4:152, 1986
21. Pelker RR, Duranceau JS, Panjabi MM: Cervical spine stabilization. A three-dimensional, biomechanical evaluation of rotational stability, strength, and failure mechanisms. *Spine* 16:117-122, 1991
22. Schulte K, Clark CR, Goel VK: Kinematics of the cervical spine following discectomy and stabilization. *Spine* 14:1116-1121, 1989
23. Shirado O, Zdeblick TA, McAfee PC, Warden KE: Biomechanical evaluation of methods of posterior stabilization of the spine and posterior lumbar interbody arthrodesis for lumbosacral isthmic spondylolisthesis: a calf-spine model. *J Bone Joint Surg.* 73A:518-526, 1991
24. Shono Y, McAfee PC, Cunningham BW: The pathomechanics of compression injuries in the cervical spine: nondestructive and destructive investigative methods *Spine* 18:2009-2019, 1993
25. Smith SA, Lindsey RW, Doherty BJ, Alexander JW, Dickson JH: Cervical spine locking plate: in vitro biomechanical testing. *Eur Spine J* 1:222-225, 1993
26. Sutterlin CE, McAfee PC, Warden KE, Rey MR, Farey ID: A biomechanical evaluation of cervical spinal stabilization methods in a bovine model. Static and cyclical loading. *Spine* 13: 795-802, 1988
27. Ulrich C, Woersdoerfer O, Claes L, Magerl F: Comparative study of stability of anterior and posterior cervical spine fixation procedures. *Arch Orthop Trauma Surg* 106:226-231, 1987
28. Vazquez-Seoane F, Yoo J, Zou D, Fay LA, Fredrickson BE, Handal JC, Yuan HA, Edwards WT: Interference screw fixation of cervical graft. A combined in vitro biomechanical and in vivo animal study. *Spine* 18:946-954, 1993
29. Weinder A, Chioe St, Schumacher HW: Indications and complications of cervical spine stabilization. *Advances in Neurosurgery*, Vol: 18, Bushe Ka, Brock M, Klingner M (eds), pp 19-23, Springer - Verlag Berlin Heidelberg, 1990
30. Whitehill R, Moran DJ, Fechner RE, Ruch WW, Drucker S, Hooper WE, McCoig JA: Cervical ligamentous instability in a canine in vivo model. *Spine* 12:959-963, 1987
31. Yoganandan N, Sances Jr A, Pintar F: Injury biomechanics of the human cervical column. *Spine* 15:1031-1039, 1990