



# Atlantoaksiyel eklem instabilitesinde sublaminar sarmal ipekle yapılan redüksiyon ve artrodez

Kadir KOTİL<sup>1</sup>, Mustafa Gökhan BİLGİLİ<sup>2</sup>, Selim KAYACI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*İstanbul Arel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Yüksekokulu, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, İstanbul;*

<sup>2</sup>*Bakırköy Dr. Sadi Konuk Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, İstanbul;*

<sup>3</sup>*Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nöroşirürji Anabilim Dalı, Rize*

**Amaç:** Bu yazıda atlantoaksiyel eklem instabilitesinde sublaminar telleme yerine kalın sarmal ipek kullanılarak yapılan C1-C2 artrodez tekniğinin klinik ve radyolojik sonuçlarının değerlendirilmesi amaçlandı.

**Çalışma planı:** Atlantoaksiyel instabilitesi bulunan ve redüksiyonları yapıldıktan sonra sublaminar sarmal ipekle C1-C2 füzyonu gerçekleştirilen 16 hasta (10 kadın, 6 erkek; ortalama yaş: 43.4, ortalama takip süresi: 34 ay) retrospektif olarak incelendi. Açık redüksiyondan sonra tel yerine sarmal ipekle iki taraflı laminaları bağlanan ve sonrasında otogreftle artrodezi yapılan bu olguların, redüksiyon oranları, vidaların pozisyonları ve füzyon değerleri bilgisayarlı tomografiyle değerlendirildi.

**Bulgular:** Cerrahi öncesi ortalama atlantodental açıklık (ADA) değeri 8 (dağılım: 6-11) mm, cerrahi sonrasında ise ortalama 2.1 (dağılım: 0.5-2.5) mm olarak ölçüldü. Dural veya spinal kord yaralanmasına bağlı bir komplikasyon gözlenmedi. Tüm olgularda redüksiyonun tam olduğu görüldü. Sadece bir olguda füzyon oluşmadı (%6.25). Olguların cerrahi sonrası fleksiyonda ortalama 10 mm olan ADA değeri, ekstansiyonda 1 mm olarak ölçüldü. Tomografik ince kesitlerde C1-C2 arasında bir olgu hariç greft ayrışmasına ait bulguya rastlanmadı. İki adet vidada (%4) malpozisyon belirlendi.

**Çıkarımlar:** Sublaminar sarmal ipek tekniği güvenli anatomik redüksiyon sağlaması, ucuz ve basit bir yöntem olması, ekstra implant gerektirmemesi, gevşememesi, nörolojik hasar yaratmaması ve radyolojik kirlilik oluşturmaması nedeniyle sublaminar tellemeye alternatif bir cerrahi uygulamadır.

**Anahtar sözcükler:** Atlantoaksiyel stabilizasyon; servikal omurga; interlaminar füzyon.

Atlantoaksiyel eklem (AAE) instabilitesi dejeneratif eklem hastalığı, romatolojik hastalıklar, enfeksiyöz sebepler, os odontoideum, tümörler ve travma gibi nedenlerle meydana gelebilir.<sup>[1]</sup> Etiyoloji ne olursa olsun, sadece atlasla aksisin bütünlüğünün bozulduğu durumlarda çok değişik tekniklerle atlas-aksis ilişkisi yeniden sağlanabilmektedir. Redükte edilemeyen ve sirkumferansiyel dekompresyon gerektiren olgular hariç çoğu olgu posterior

açık cerrahi ile redükte edilirler. Eğer posterior dekompresyon ve redüksiyonla başarılı olunamıyorsa, anterior transoral cerrahi uygulanmalıdır.<sup>[1]</sup> Anterior odontoid vidasıyla tedavi edilemeyen AAE instabilitesi olgularında stabilizasyon C1-C2 transartiküler vidalama ile yapılmaktadır.<sup>[2,3]</sup> Transartiküler vidalama (Magerl) tekniğinde vidanın uygulanmasından önce C1-C2 arasındaki dislokasyon mutlaka redükte edilmeli ve anatomik dizi-

**Yazışma adresi:** Dr. Kadir Kotil, İstanbul Arel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Yüksekokulu, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Tepekent 34537 Büyükkçekmece, İstanbul.

Tel: +90 212 – 867 25 00 e-posta: kadirkotil@arel.edu.tr

**Başvuru tarihi:** 06.01.2013 **Kabul tarihi:** 28.02.2014

©2014 Türk Ortopedi ve Travmatoloji Derneği

Bu yazının çevrimiçi İngilizce versiyonu  
www.aott.org.tr adresinde  
doi: 10.3944/AOTT.2014.3156  
Karekod (Quick Response Code)



lim normal hale getirilmelidir. Aksi takdirde nörovasküler komplikasyonlar gelişebilir.<sup>[4-6]</sup>

Redüksiyon ve füzyon için değişik teknikler var olmakla birlikte tekniklere dair bir standart yoktur. Redüksiyon sonrası otogreft eşliğinde sublaminar tellemenin avantajlarına inananlar füzyonu arttırmak için Sonntag tekniğine başvurmaktadır.<sup>[6-8]</sup> Sublaminar telleme ile füzyon tekniği ilk defa Gallie tarafından 1939 yılında tanımlanmıştır.<sup>[9]</sup> Sublaminar telleme ile füzyon tekniği ilk defa Gallie tarafından 1939 yılında tanımlanmıştır.<sup>[9]</sup> Sublaminar telleme tekniğinde hem redüksiyon sağlanmakta, hem de füzyon materyali oturtulmaktadır. Bununla birlikte, bu teknikte tellerin zamanla gevşediğini ve nöral hasara neden olduğunu bildiren çok sayıda yayın bulunmaktadır.<sup>[5,10-13]</sup> Daha sonraları Brooks, Sonntag, Magerl ve Harms tarafından bu tekniğin değişik modifikasyonları tanımlanmıştır.<sup>[3]</sup> Özellikle çocuklarda tellerin laminayı zamanla aşındırdığı bilinmektedir.<sup>[14]</sup> Yumuşak ve radyolüsen titanyum teller bu sorunu çözmüş gibi görünse de, uygulama tekniği biraz daha zor ve maliyetleri fazladır. Bazı cerrahlar nörolojik hasardan kaçınmak için greftleri dekortikasyon işlemi uyguladıktan sonra serbest olarak yerleştirmekte veya C1-C2 laminaları arasına sıkıştırılmaktadır.<sup>[4]</sup> Bununla birlikte, bu tekniğin uygulanmasıyla da psödoartrozla karşılaşılabilir.<sup>[2]</sup>

Bu çalışmadaki hedefimiz telle ilgili komplikasyonları bertaraf etmek amacıyla uyguladığımız sublaminar spiral ipek tekniği uygulamasının sonuçlarını sunmaktır.

## Hastalar ve yöntem

2006-2012 yılları arasında aynı cerrah (KK) tarafından AAE instabilitesi nedeniyle C1-C2 tespiti uygulanan 16 olgu (10 kadın, 6 erkek; ortalama yaş: 43.4, dağılım: 10-61) retrospektif olarak incelendi ve nörolojik durumları, radyolojik incelemeleri, ameliyat notları ve takip süreleri kayda alındı. Ortalama takip süresi 34 (dağılım: 27-45) ay olarak ölçüldü. Cerrahi dönem önce-

sinde gerek vertebral arter dominant taraf tayini gerekse de yüksek oluklu vertebral arter olgularının belirlenmesi için ince kesit 3. planda tomografik ölçümler yapıldı. Üç adet 2 numara ipek birbirine dolanarak sicim halinde kullanıldı. Materyal olarak ipeğin seçilme nedeni gerilmeye karşı olan dayanıklılığı ve düğüm gücünün diğer sütür materyallerine göre daha iyi olmasıydı. Olguların nörolojik durumu Nurick skalasına göre değerlendirildi. Ameliyat sonrasında 6 hafta süresince Philadelphia boyunluğu kullanıldı. Hastalar 1. hafta ve 3., 6., 12., 24. ve 60. aylarında klinik ve radyolojik olarak değerlendirildi.

Tüm olguların cerrahi öncesi ve sonrasında düz grafileri, ağız açık dens grafileri, dinamik grafileri, bilgisayarlı tomografileri (BT) ve manyetik rezonans görüntüleme (MRG) incelemeleri yapıldı. Atlantodontal açıklık (ADA) değerleri 5 mm veya daha fazla olan olgular instabil olarak kabul edildi. Ameliyat öncesi ADA değerleri, çalışmaya ilgisi olmayan bir radyolog tarafından ölçüldü ve cerrahi sonrası değerleri ile karşılaştırıldı. İki olguda Retro-odontoid tümör benzeri görünümde pannus oluşumu vardı. Bu olgularda pannusun kontrast tutulumu yoktu. Kemik kalitesi son derece kötü olduğundan orta servikal bölgeye kadar uzanan pedikül vidalarıyla güçlendirilme yapıldı. Hastaların cerrahi sonrası erken dönem ve 6. aydaki takiplerinde BT incelemesi yapıldı. Cerrahi sonrasında baziler invajinasyondaki odontoid migrasyonlarının redüksiyon değerleri değerlendirildi ve tamamının fizyolojik sınırlara çekildiği görüldü. Olguların hepsinde iliak kanattan alınan greftle osteosentez yapıldı. Biri hariç olguların tamamında füzyon gelişimi izlendi (%93.8). İki vidanın (%4) uygunsuz pozisyonda olduğu görüldüyse de revizyon ihtiyacı duyulmadı.

Hastalar dorsal yaklaşımla, yüzüstü pozisyonda askeri postür halindeyken opere edildi. C1-C2 kompleksi ortaya konuldu. Spinöz prosesler longitudinal çizgide aynı orta hatta kalacak şekilde, baş Mayfield başlığına



**Sekil 1. (a)** Spinal kordun dislokasyon sahasında makaslama etkisiyle sıkışması. **(b)** Direkt grafide C1-C2 interspinöz aralığın ileri düzeyde açıldığını gösteren AAD. [Bu şekil, derginin [www.aott.org.tr](http://www.aott.org.tr) adresindeki çevrimiçi versiyonunda renkli görülebilir.]

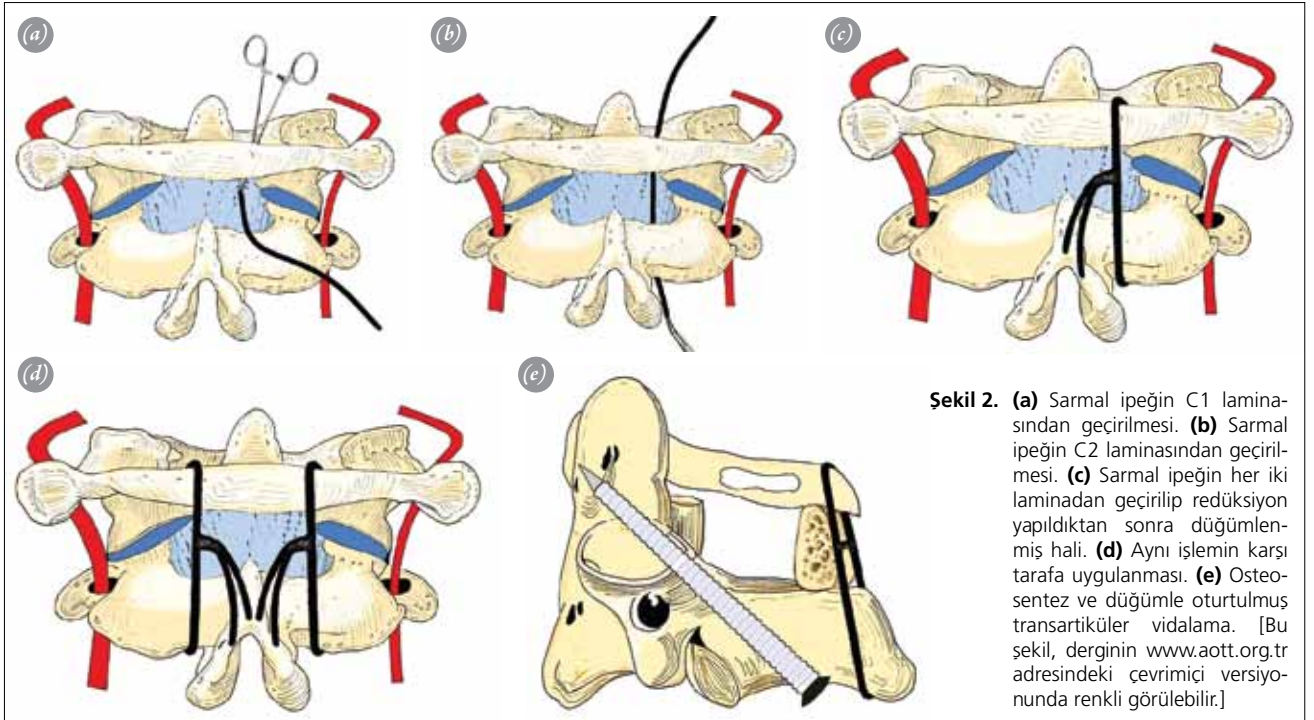
oturtuldu. C2'nin çok derinde kalması durumunda vida yönlendirici için açılardırma sorunu ve yetersiz anterior tüberkül tespiti yaşanabileceğinden, hastaların torasik kifozları düzeltilerek nötral pozisyona getirildi. İnion ile C3 arası cilt insizyonu yapıldı ve kaslar subperiostal olarak sıyrıldı. Atlasın transvers foramene ve C3'ün inferioruna kadar C2-C3 faset eklem kapsülü bozulmadan diseksiyona devam edildi. Bu bölgede yüksek ısı kemik ve yumuşak dokulara zarar verebileceğinden monopolar koter tercih edildi. İstmus ve arkusun derinliğini hissedecek kadar C2 diseke edilerek, bu sayede vidanın yönelimi daha sağlıklı bir şekilde değerlendirildi. Alt servikal omurganın ekstansiyonu ve inionun fleksiyonuyla C1 ile C2 arasındaki dislokasyon redükte edildi. C1 laminasının derinde ve omuriliği boğmuş gibi, C2'nin ise daha yukarı bir pozisyonda yer alması cerrahi açıdan zorluk teşkil etmekteydi. Omurilik dislokasyon sahasında makaslama etkisiyle sıkışmış görünümdeydi (Şekil 1). Elle C2 lamineye bastırılarak eklem redükte edildi. C1 ile C2 lamine çevresindeki yumuşak dokular 360 derece açılı dissektörle diseke edildi. Sicim haline getirilen ipek sublaminar yoldan uygulanmaya hazır hale getirildi (Şekil 2a) ve bilateral olarak hem C1 hem de C2 lamine üzerinden geçirilip anatomik redüksiyon sağlanacak şekilde her iki lamina üzerinden düğümlendi (Şekil 2b ve c). Bu işlem yapılmadan önce füzyon için her iki lamina posterior yüzüne dekortikasyon işlemi uygulandı. Redüksiyon skopi ile teyit edildi (Şekil 3a). Transartiküler vidalama işlemine geçilerek skopi altında vida giriş nok-

tası seçildi; iliak kanattan alınan greft hazırlanan sahaya iyice oturtularak ikinci düğüm greft üzerinde atıldı (Şekil 3b). Füzyonu arttırmak için otogreft kemik talaşları kullanıldı.

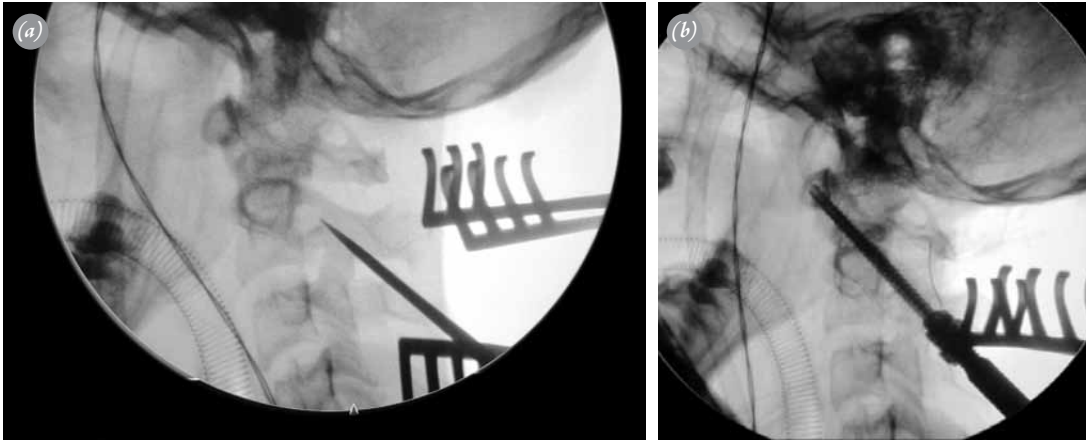
## Bulgular

Serimizde en sık görülen semptom 15 olgu (%93.8) ile boyun ağrısı idi. Spastik kuadriparezi 4 (%25) olguda mevcuttu. Bu dört olgu yardımıyla yürüyebilecek düzeyde idi. Hastaların klinik bulguları ve cerrahi sonrası değerlendirme sonuçları Tablo 1'de özetlenmiştir. Hastaların tamamında değişik derecelerde boyun ağrısı ve boyun hareketlerinde kısıtlılık mevcuttu. Yaygın servikal kas spazmı bulunan hastaların tamamı romatoid artrit hastaları idi. Takipleri boyunca nörolojik kötüleşmeye giden olgumuz olmadı. Altı olguda (%37.5) os odontoideum, 5 olguda (%31.3) Tip 2 dens kırığı, 4 olguda (%25) romatoid artrit ve 1 (%6.3) olguda eski Tip 2 dens kırığı vardı.

Komplikasyonlar erken ve geç olarak iki gruba ayrıldı. Sadece bir olguda vertebral arterin (dominant olmayan taraf) minör yaralanması erken komplikasyon olarak değerlendirildi. Hemostatik ajanlarla kanama kolayca tamponize edilerek durduruldu. Romatoid artritli iki olgudaki füzyon gecikmesi (15. ayda) ve C1-C2 arasında kemik köprü gelişimine ait yetersizlikler ile bir diğer romatoid artrit olgusunda gelişen psödoartroz geç komplikasyonlar olarak değerlendirildiler. Bu hastaların hiçbiri sigara içicisi değildi.



**Şekil 2.** (a) Sarmal ipeğin C1 lamine üzerinden geçirilmesi. (b) Sarmal ipeğin C2 lamine üzerinden geçirilmesi. (c) Sarmal ipeğin her iki lamine üzerinden geçirilip redüksiyon yapıldıktan sonra düğümlenmiş hali. (d) Aynı işlemin karşı tarafa uygulanması. (e) Osteosentez ve düğümlenmiş transartiküler vidalama. [Bu şekil, derginin [www.aott.org.tr](http://www.aott.org.tr) adresindeki çevrimiçi versiyonunda renkli görülebilir.]



**Şekil 3.** (a) Ameliyat sırasındaki skopi görüntüsü; laminalar ipekle bağlandıktan sonra dislokasyonun düzeldiği ve vidalama işleminin güvenle yapıldığı görülmekte. (b) Redüksiyon işlemi ve osteosentez sonrası skopi görüntüsü.

Tüm olgularda tam redüksiyon elde edildi. Cerrahi öncesi ADA değeri ortalama 8 (dağılım: 6-11) mm iken, cerrahi sonrasında ortalama 2.1 (dağılım: 0.5-2.5) mm olarak ölçüldü. Dural veya spinal kord yaralanmasına bağlı bir komplikasyon gözlenmedi. Olguların fleksiyonda ortalama 10 mm olan ADA değeri, ekstansiyonda 1 mm olarak ölçüldü. İki videda (%4) malpozisyon saptandı.

İki travma olgusunda transartiküler vidalama yerine posterior transodontoid vidalama tekniği ile C1-C2 tespiti uygulandı.<sup>[2]</sup> Hastaların cerrahi sonrasındaki Nurick skalaları ve boyun ağrısı Görsel Analog Skala (GAS) değerleri Tablo 1'de belirtilmiştir. Boyun ağrısı 2 olguda

devam etti. Bir hastanın boyun ağrısı cerrahi sonrasında aynı GAS değerinde, diğerinde ise bir puan artmış bulundu.

Uzun dönem takiplerinde hastaların boyun hareketlerinde kısıtlılık yoktu. Boyun konforu açısından hastaların rahatsızlık derecesinde herhangi bir şikayeti olmadı.

### Tartışma

Atlantoaksiyel eklem dislokasyonu, aksiyel, koronal veya sagittal planda oluşabilir. Bazı olgularda anterior odontoid vidalama ile osteosentez sağlanırken, bazılarında ise posterior C1-C2 artrodezle tedavisi mümkündür.

**Tablo 1.** Hastaların demografik dağılımı ve değerlendirme sonuçları.

No	Yaş	Cinsiyet	Tanı	GAS	Cerrahi öncesi ADA	Cerrahi sonrası ADA	Cerrahi öncesi Nurick skoru	Cerrahi sonrası Nurick skoru	12. ayda füzyon	Boyun GAS skoru
1	10	Kadın	RA	7	6	1	2	1	Tam	2
2	56	Kadın	OsO	7	7	1	2	1	Tam	2
3	45	Erkek	OsO	6	7	1	1	1	Tam	1
4	34	Kadın	RA	9	6	2	3	1	15. ayda tam	3
5	61	Erkek	RA	5	8	1	3	1	Psödoartroz	5
6	60	Kadın	DK	8	9	1	2	1	Tam	2
7	30	Erkek	DK	8	11	1	1	2	Tam	1
8	38	Kadın	DK	7	12	2	1	2	Tam	2
9	55	Kadın	DK	9	9	1	1	1	Tam	1
10	48	Kadın	RA	7	7	1	1	1	Tam	2
11	43	Erkek	OsO	5	8	1	1	1	Tam	1
12	58	Kadın	EK	6	9	1	1	1	Tam	3
13	51	Erkek	OsO	5	11	2	1	1	Tam	3
14	50	Kadın	OsO	6	12	2	1	1	Tam	7
15	23	Kadın	DK	7	7	1	1	1	Tam	1
16	33	Erkek	RA	7	8	1	2	1	15. ayda tam	3

ADA: Atlantodental açıklık; DF: Dens kırığı; EK: Eski kırık; GAS: Görsel Analog Skala; OsO: Os odontoideum; RA: Romatoid artrit.

Anatomik dislokasyonun söz konusu olduğu olgularda redüksiyon sonrası füzyon mutlaka sağlanmalıdır. Ameliyat sırasında redüksiyonun mümkün olduğu olgularda açık redüksiyon sonrası uygun bir teknikle C1-C2 kompleksinin tespiti sağlanır.<sup>[3]</sup>

C1-C2 tespit teknikleri arasında posterior izole C1 yan kitle ile birlikte C2'nin pars vidalaması, pediküler vidalama, transartiküler vidalama,<sup>[7]</sup> laminar vidalama veya kanca kullanma teknikleri bulunmaktadır.<sup>[8]</sup> Literatürde tanımlanmış C1-C2 tespit tekniklerinin her birinin kendine has avantajları ve dezavantajları mevcuttur.<sup>[3,5,15-18]</sup> Bununla birlikte, bu tekniklerden hangisi uygulanırsa uygulansın redüksiyon manevrası ile birlikte otogreftle füzyon mutlaka gereklidir. Füzyonun sağlanmadığı C1-C2 luksasyonlu olgularda sadece vidalarla tespit yetersizliğe uğramaktadır. En çok kullanılan teknik olan Sonntag'ın sublaminar telle rekonstrüksiyon tekniğinde iliak kanattan alınan greft cerrahi alana bağlanmaktadır ve bu teknikle füzyon oranı %82.6-100 arasında değişmektedir.<sup>[19]</sup> Kemik-tel konstrüksiyonunda bükülebilir veya yumuşak titanyum teller uygulanabilir. Bununla birlikte, titanyum teller pahalıdır ve gevşeme nedeniyle nöral veya dural hasarlar yaratabilirler.<sup>[10,14,20,21]</sup> Titanyum kablo veya tellerin bir diğer dezavantajı da operasyon sonrası yapılan takiplerde görüntü kirliliği yaratması nedeniyle füzyonun radyolojik değerlendirmesinde sorun çıkarma olasılığıdır. Oysa ipek kullanımında böyle bir dezavantaj söz konusu değildir.

Sublaminar tellerin otogreft tespitinde kullanılmasının stabilite ve füzyona nasıl katkıda bulunduğu konusunda tartışmalar devam etmektedir. Matsumoto ve ark.'nın bildirisinde tüm olgularda füzyonda başarı elde edilmiş ama 52 olgunun 18'inde tellerde gevşeme olması omurilik sorunlarına yol açmıştır.<sup>[19]</sup> Ito ve ark.'nın serisinde de tellerde gevşeme olmasına rağmen füzyonun tüm hastalarda gerçekleştiği bildirilmiştir.<sup>[22,23]</sup> Ne var ki, telleme tekniği zor ve zaman alıcıdır, kanalın dar olması durumunda çok ciddi komplikasyonlara neden olabilir.<sup>[24]</sup> Bu tartışmalardan yola çıkarak sadece dekortikasyon işleminden sonra kemik lamelleri yerleştirme tekniğini öneren yazarlar da bulunmaktadır.<sup>[19]</sup> Laminaya bağlanmadan serbest bırakılarak yerleştirilen greftlerin rezorpsiyon veya yerinden oynama riski vardır. İnterlaminar mesafe genişse, serbest greft spinal korda bası yapacak düzeye gelebilir. Allogreft kemik talaşlarının cerrahi alan çevresinde serpiştirilerek bırakılması durumunda da kaynamama durumu oluşabilir.

Bizim tekniğimizin temel hedefleri redüksiyon ve artrodezdır. Redüksiyon, öncelikle makaslama etkisi altında sıkışıp kalan spinal kordun üstündeki instabileyi kaldırmak amacını güder, daha sonra da güvenli tespiti

temin eder. Artrodez, trikortikal iliak kanatla interlaminar bağlantı veya köprü oluşturmaya yarar. Sublaminar sarmal ipek kullanımının birçok avantajı vardır. Öncelikle, sicim haline getirilmiş ipekle interspinöz mesafe kapanacak şekilde düğüm atılmaktadır. Bu işlemin iki taraflı uygulanması işlemi daha güvenilir hale getirmektedir. Transartiküler vidalama redüksiyon sonrası anatomik pozisyon sağlanarak güvenle uygulanabilmektedir. İlâveten, ipek düğümlerinin üzerine iliak kanat grefti yerleştirilerek greft sıkıca laminar temasa maruz bırakılmakta, üstüne ikinci kez greft düğümü atılmaktadır. Buradan anlaşılacağı üzere, bu teknik emniyetli vidalama ve C1-C2 arasında standart bir füzyon oluşturabilmek için birçok avantaja sahiptir.

Her zaman bulunamaması ve maliyetinin fazla olması, titanyum sublaminar tellerin başlıca dezavantajlarıdır. Oysa ipek ameliyathanede her zaman bulunabilen ve son derece ucuz bir malzemedir ve radyolojik kirlilik yaratmamaktadır.

Psödoartroz oranı yüksek olduğundan özellikle romatoid artrit olgularında füzyonun sağlanması önemlidir. Ayrıca, revizyonlarında da füzyon gücünü artırmak için kemik dekortikasyon yüzü ile otogreft kansellöz talaşların temasının sağlanması esastır. Greft lamina dekortikasyon yüzü ile kuvvetli bir şekilde temas etmelidir. Olgularımızdan birinde psödoartroz olmasına rağmen, 4. yıl itibarıyla bile implant yetmezliği gelişmemiştir. Transartiküler vidalama 3-boyutlu tespit sağlamakta ve implant yetersizliğini önlemektedir.

Sonuç olarak, güvenli anatomik redüksiyon, maliyetindeki ucuzluk, basit uygulanır olması, ekstra implant gerektirmemesi, gevşememesi, nörolojik hasar yaratmaması ve radyolojik kirlilik oluşturmaması gibi nedenlerle C1-C2 artrodezi için sublaminar sarmal ipek kullanımının sublaminar tellemeye alternatif bir teknik olduğunu düşünüyoruz. Yine de, daha kesin sonuçlar için kanıt değeri daha yüksek karşılaştırmalı çalışmalara ihtiyaç vardır.

**Çıkar örtüşmesi:** Çıkar örtüşmesi bulunmadığı belirtilmiştir.

## Kaynaklar

1. Kotil K, Kalayci M, Bilge T. Management of cervicomedullary compression in patients with congenital and acquired osseous-ligamentous pathologies. *J Clin Neurosci* 2007;14:540-9.
2. Kotil K, Köksal NS, Kayacı S. Posterior transodontoid fixation: A new fixation (Kotil) technique. *J Craniovertebr Junction Spine* 2011;2:41-5.
3. Dickman CA, Sonntag VK. Posterior C1-C2 transarticular screw fixation for atlantoaxial arthrodesis. *Neurosurgery* 1998;43:275-81.

4. Gluf WM, Brockmeyer DL. Atlantoaxial transarticular screw fixation: a review of surgical indications, fusion rate, complications, and lessons learned in 67 pediatric patients. *J Neurosurg Spine* 2005;2:164-9.
5. Gluf WM, Schmidt MH, Apfelbaum RI. Atlantoaxial transarticular screw fixation: a review of surgical indications, fusion rate, complications, and lessons learned in 191 adult patients. *J Neurosurg Spine* 2005;2:155-63.
6. Paramore CG, Dickman CA, Sonntag VK. The anatomical suitability of the C1-2 complex for transarticular screw fixation. *J Neurosurg* 1996;85:221-4.
7. Madawi AA, Casey AT, Solanki GA, Tuite G, Veres R, Crookard HA. Radiological and anatomical evaluation of the atlantoaxial transarticular screw fixation technique. *J Neurosurg* 1997;86:961-8.
8. Melcher RP, Puttlitz CM, Kleinstueck FS, Lotz JC, Harms J, Bradford DS. Biomechanical testing of posterior atlantoaxial fixation techniques. *Spine* 2002;27:2435-40.
9. Gallie WE. Fracture and dislocations of the cervical spine. *Am J Surg* 1939;46:495-9.
10. Fraser AB, Sen C, Casden AM, Catalano PJ, Post KD. Cervical transdural intramedullary migration of a sublaminar wire. A complication of cervical fixation. *Spine* 1994;19:456-9.
11. Geremia GK, Kim KS, Cerullo L, Calenoff L. Complications of sublaminar wiring. *Surg Neurol* 1985;23:629-35.
12. Lundy DW, Murray HH. Neurological deterioration after posterior wiring of the cervical spine. *J Bone Joint Surg Br* 1997;79:948-51.
13. Schrader WC, Bethem D, Scerbin V. The chronic local effects of sublaminar wires. An animal model. *Spine* 1988;13:499-502.
14. Kakarla UK, Valdivia JV, Sonntag VK, Bambakidis NC. Intracranial hemorrhage and spinal cord injury from a fractured C1-C2 sublaminar cable: case report. *Neurosurgery* 2010;66:E1203-4.
15. Grob D, Crisco JJ 3rd, Panjabi MM, Wang P, Dvorak J. Biomechanical evaluation of four different posterior atlantoaxial fixation techniques. *Spine* 1992;17:480-90.
16. Harms J, Melcher RP. Posterior C1-C2 fusion with polyaxial screw and rod fixation. *Spine* 2001;26:2467-71.
17. Henriques T, Cunningham BW, Olerud C, Shimamoto N, Lee GA, Larsson S, et al. Biomechanical comparison of five different atlantoaxial posterior fixation techniques. *Spine* 2000;25:2877-83.
18. Lapsiwala SB, Anderson PA, Oza A, Resnick DK. Biomechanical comparison of four C1 to C2 rigid fixative techniques: anterior transarticular, posterior transarticular, C1 to C2 pedicle, and C1 to C2 intralaminar screws. *Neurosurgery* 2006;58:516-21.
19. Matsumoto M, Chiba K, Nakamura M, Ogawa Y, Toyama Y, Ogawa J. Impact of interlaminar graft materials on the fusion status in atlantoaxial transarticular screw fixation. *J Neurosurg Spine* 2005;2:23-6.
20. Garcia R Jr, Gorin S. Failure of posterior titanium atlantoaxial cable fixation. *Spine J* 2003;3:166-70.
21. Bahadur R, Goyal T, Dhatt SS, Tripathy SK. Transarticular screw fixation for atlantoaxial instability - modified Magerl's technique in 38 patients. *J Orthop Surg Res* 2010;5:87.
22. Ito T, Hayashi M, Takei H. Loosening of supplemental cable in transarticular screw fixation and bone grafting. *J Orthop Surg* 1998;6:71-4.
23. Ito H, Neo M, Fujibayashi S, Miyata M, Yoshitomi H, Nakamura T. Atlantoaxial transarticular screw fixation with posterior wiring using polyethylene cable: facet fusion despite posterior graft resorption in rheumatoid patients. *Spine* 2008;33:1655-61.
24. Stillerman CB, Wilson JA. Atlanto-axial stabilization with posterior transarticular screw fixation: technical description and report of 22 cases. *Neurosurgery* 1993;32:948-55.