

# Oksipital Kemik, Oksipital Kondil, C1 ve C2'nin Posterior Enstrümantasyonu

## Posterior Instrumentation of the Occipital Bone, Occipital Condyle, C1 and C2

Ferhat HARMAN<sup>1</sup>, Murat Hamit AYTAR<sup>2</sup>, Erkan KAPTANOĞLU<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Yakın Doğu Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Anabilim Dalı, Lefkoşa, KKTC

<sup>2</sup>Acıbadem Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, İlk ve Acil Yardım Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>3</sup>Marmara Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

**Yazışma Adresi:** Erkan KAPTANOĞLU / E-posta: erkankaptanoglu@gmail.com

### ÖZ

Oksipitoservikal bileşke spinal aksın kranial tarafındaki ilk eklem bölgesidir ve oksipital kemik ve kondilleri, atlas (C1) ve aksis (C2) omurgaları tarafından oluşturulmuş bir kompleksdir. Boyun fleksiyon-ekstansiyon ve rotasyonel hareketlerinin önemli kısmından sorumludur. Oksipitoservikal bileşkenin instabiliterinde basıya maruz kalan nörolojik dokuların dekompresyonu ve omurganın füzyonu sağlanmalıdır. Bu derlemede oksipitoservikal bileşkenin stabilizasyon ve füzyonunu sağlamak için, oksipital kemik, oksipital kondil, C1 ve C2 vertebralarının posterior vida ile enstrümantasyon teknikleri tartışılmıştır.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** Oksipital kemik, Kondil, Atlas, Aksis, Posterior enstrümantasyon

### ABSTRACT

The occipitocervical junction is the first articulation of the spinal axis on the cranial side and it is a complex that consists of the occipital bone, occipital condyle, atlas (C1) and axis (C2) vertebrae. This complex is responsible for the main part of flexion-extension and rotational movement of the neck. Decompression of compressing neurological tissues and fusion of unstable spine should be performed in case of occipitocervical junction instability. In this review, posterior screw instrumentation techniques of the occipital bone, occipital condyle, and C1 and C2 vertebrae in order to establish occipitocervical junction stabilization and fusion have been discussed.

**KEYWORDS:** Occipital bone, Condyle, Atlas, Axis, Posterior instrumentation

### GİRİŞ

Oksipitoservikal bileşke spinal aksın kranialden kaudale ilk eklem bölgesi olup oksipitobazalde kondilleri, C1 ve C2 omurgaları içerir. Bu bileşkede intervertebral disk yoktur. Bunun yerine kondillerle atlas arasında, atlas ile de aksis arasında kırıldak sinoviyal eklemler mevcuttur. Boyunda fleksiyon ekstansiyon hareketinin yaklaşık yarısını oksiput-C1 eklemi, aksiyal rotasyon hareketinin yarısını da C1-C2 eklemi sağlar. Bu yüzden bu bölgenin bağlarının stabilitesi altta yer alan önemli nörovasküler yapıları aşırı hareketten korumakta önem arz etmektedir. Bu sebeple oksipitoservikal bileşke instabilitesinde bası altındaki yapıların dekompresyonu ve füzyonu sağlanmalıdır. Bu bölgenin, kompleks anatomisi oksipitoservikal füzyonda ciddi zorluklarla karşılaşılmasına neden olabilir. Oksipital bölgede orta hat daha kalın olduğu için iyi bir vida yerleştirme bölgesidir.

#### OKSİPİTAL KONDİLLER ARACILI STABİLİZASYON

Oksipital kemiğin uygun olmadığı suboksipital kraniyektomi yapılan olgular, tümör varlığı veya önceki suboksipital vidalarla uygun füzyon sağlanamamış olması durumunda alternatif fiksasyon alanı gereği doğurmuştur. Ayrıca oksipital vida

yerleştirilmesinde intrakranial hasar oluşması riski, transvers sinüs hasarı, beyin omurilik sıvısı (BOS) kaçağı riskleri de bulunmaktadır. Oksipital kemik kalınlığının az olması, beraberinde osteoporoz varlığı da oksipital kemik plaklarda kaynamama, vida çıkma nedeni olabilmektedir. Bu olumsuzluklara alternatif olarak oksipital kondil vidaları, oksipitoservikal füzyonda oksipital plakların yerine kranial kısımda uygulanabilir fiksasyon alternatifleridir. Kondiller aracılı stabilizasyonda iki özgün teknik geliştirilmiştir. Bunlardan birisi oksipitoatlat (C0-C1) transartiküler vidalama tekniği, diğeri de doğrudan oksipital kondil vidalama tekniğidir (17, 27, 31, 52, 55, 57, 58).

Oksipital kemiğin tabanında yer alan iki adet bikonveks şekilli eklem yüzeyi olan kondiller atlas kemiğinin üst yüzüyle eklem yaparlar. Kondiller ortalama olarak 23,4 mm uzunluk, 10,6 mm genişlikte ve 9,2 mm yüksekliktedir. Kondiller arası mesafe arkadan öne doğru gittikçe azalır (önde:41,6 mm, arkada:21 mm). Simetrik veya asimetric olabilirler (39, 58). Sagittal kondiler (medial) açı 32,9 – 38,2 derece arasındadır (42). Bilgisayarlı tomografi (BT) bazlı bir diğer çalışmada ortalama kondil uzunluğu 22,38 mm, genişliği de 11,18 mm olarak ölçülmüştür (32).

Kondillerin kompleks topografik anatomisi ve hemen komşuluğunda vertebral arterler, hipoglossal sinir kanalı ve jügüler foramenin olması bu bölgenin ve cerrahi girişimlerinin önemini gözler önüne sermektedir. Vertebral arterlerin atlantookspital eklemi posterior sınırının hemen medialinden geçiyor olması ekspozurda ne denli önemli olduğunu gösterir.

Hipoglossal kanal; oksipital kondil içinde değil, suprakondiler bir yapı olarak alanda yer alır. Üstünde jügüler tüberkül, superolateralde jügüler foramen, lateralde sigmoid sinüs, altında ise oksipital kondil ile sınırlanmış bir yapıdır. Kanalı çevreleyen kortikal kemik sınır, içinden geçen hipoglossal sinir için koruyucu bir bariyer görevi de görür. Bu nedenle de yakın zamana kadar bu bölge oksipitoservikal stabilizasyonda uzak durulan bir nokta olmuştur.

Kondil vidası yerleştirilmesi oksipital kemik ile servikal fiksasyon noktaları arasında daha kısa mesafe sağlar. Bu durum kaldıraç kolunun kısa olmasını sağlar. Oksipital kemik fiksasyon vida boyları ile kıyaslandığında da daha uzun vida boyuna imkan verir. Bu da vidanın geri çıkma riskini azaltıcıdır (54, 55). Oksipital plak kullanımında rodlara ciddi eğim verilmesi gerektiğinden rodta stres kırığı riski daha yüksek iken kondiler vida yöntemlerinde daha kısa ve uygun eğimli rod kullanımı söz konusu olduğundan rodlara daha az stres binmekte ve vida çıkma riski azalmaktadır (17).

Yapılan bir çalışmada, oksipital kondiler vidalama yöntemiyle klasik oksipital plak kullanılan yöntem karşılaştırılmış, iki teknik arasında istatistiki olarak anlamlı biyomekanik farklılık saptanmamıştır. Ortalama değerler standart oksipital plak rod sistemine göre oksipital kondiler vida sisteminde hareket aralığının biraz daha az olduğunu göstermiş ancak istatistiki olarak anlamlı fark olmadığı tespit edilmiştir (26, 54, 55). İstatistiki anlamı olmasa da düşük oranla da olsa kondiler vida tekniğinde hareketin daha az olması daha iyi bir füzyon için iyi bir veridir. Bu durum aynı zamanda oksipital plak yerine kondil tercih edildiğinde ilave füzyon materyali ve/veya yöntemine gerek olmayacağı, kondiler vida tekniğinin tek başına yeterli olacağı anlamına da gelir.

### OKSİPİTAL KONDİL VIDA YERLEŞTİRME TEKNİĞİ

Oksipital kondil vidası uygulamakta karşılaşılabilecek en önemli sorun iyi bir ekspozur sağlama aşamasında karşılaşılan anatomik zorluktur. Bu alan kompleks bir anatomik yapıya sahiptir ve nörovasküler oluşumlara komşuluğu nedeniyle önemlidir. Bu yüzden oksipitoservikal bileşke mikroanatomisi çok iyi bilinmelidir. Anatomik varyasyonlar ve asimetri olabilir (39, 55, 58). Bu nedenle tekniği uygulamadan önce ayrıntılı ince kesit aksiyel ve sagittal vertebral BT tetkiki ve iki yönlü direkt röntgen teknikleri elde edilmesi ve bunlar üzerinde ön planlama yapılması uygun olacaktır.

Kondiler fossa; lateralinde kondiler emisser venin, inferiorunda vertebral arterin horizontal segmentinin yer aldığı, yoğun venöz pleksus ile dolu bir oluşumdur. Uygun diseksiyonla ortaya konulan posterior kondiler emisser ven, diseksiyonun lateral sınırını oluşturmaktadır. Bu ven posteriorda vertebral

venöz pleksusla ilişkilidir ve anteriorda sigmoid sinüse drene olur. Koagüle edilmesi çeşitli yayınlarda tariflendiği şekilde herhangi bir nörolojik sekele neden olmaz (2, 7, 58). Hipoglossal kanal ve vertebral arter seyri de bu bölge cerrahisinde zorluk oluşturur.

### Cerrahi Teknik

Hasta pron pozisyonda, baş çivili başlıkta fikse, nötral halde sabitlenir (Şekil 1). Floroskopi altında yan grafi ile servikal düzenin uygun olduğu, kraniyoservikal bileşkenin nötral pozisyonda olduğu kontrol edilir. Kollar gövde yanında aşağıya doğru birleştirilip flasterlerle sabitlenir. Her iki hipoglossal sinir için elektromyografi ile monitörizasyon hazırlığı da yapılabilir. Hatta 3D intraoperatif navigasyon sistemi de güvenli bir uygulama açısından planlanabilir ve ona göre preoperatif hazırlık yapılabilir (32). Standart posterior orta hat oksipital protuberensden C3 seviyesine kadar vertikal oksipitoservikal cilt insizyonu girilir (Şekil 2). Nukhal ligaman orta hattan açılarak bilateral paravertebral kaslar orta hatta kalmaya özen gösterilerek subperiosteal diseke edilerek oksiput bazali, C1 ve C2 posterior arklar ortaya konulur. Küret yardımıyla atlantookspital membran nazikçe kondiler medial kenarlarına kadar diseke edilir. Diseksiyon laterallerde posterior kondiler foramenler ve emisser venler ortaya konana kadar genişletilir. Kondiler foramen ve emisser ven diseksiyonun lateral sınırını oluştururlar (55). C1'e lateral kitle vidaları ve C2 vidası uygun şekilde yerleştirilir. Önce C1 ve C2 vidasının yerleştirilmesi oksipital kondillerin yaklaşık yerinin tespitinde bize yardımcı olur.

Kondil giriş noktası Uribe ve ark.nın tariflediği gibi foramen magnumun posteromedial kenarının 4-5 mm lateralinde, oksipital kondille kondiler fossanın kesişme noktasındadır (Şekil 3) (55).

Giriş noktasında ilk delici yardımıyla pilot delik açılır. Bu aşamada vertebral arterin horizontal segmentine hasarı önlemek için ilk deliciye hafif rostrale doğru açı verilir (Şekil 4). Pilot delik daha sonra uygun açıyla drillenir. Bu işlemde drillin tepesi basiona yönelmiş halde ve sagittal planda 15 derece mediale (12 – 22 derece arası), ve 5 derece kraniale olacak şekilde drillleme yapılır (54, 55). BT bazlı bir çalışmada, kranialde hipoglossal kanala, kaudalde de atlantookspital eklem zarar vermemek için kafa tabanına paralel bir açıyla ilerlenmesi önerilmiştir. Ayrıca mediale olan açının arttırılarak 20-30 derece arasında tutulması daha uzun vida boyu ve daha güçlü fiksasyon açısından uygun olabilir (32). Drillleme işlemi florskopiyle ve hipoglossal sinir elektromyografi (EMG) stimülasyonu takibi altında, nazik biçimde, kondilin anterior kortikal kenarına kadar devam edilir. Drillleme ve vida yerleştirme işlemleri boyunca vertebral arter nazikçe inferiora retrakte edilebilir. Daha sonra yiv açıcı ile yol hazırlanır ve kontrol probu ile kontrol edildikten sonra ortalama 3,5 x 32 mm'lik poliaksiyel vida oksipital kondile bikortikal olacak şekilde 20mm kadar ilerletilir. Takılacak rodların vertebral arterlere tehlike oluşturmaması için kondile gönderilen vidanın kondil korteksinden itibaren yaklaşık 12 mm'lik kısmı dışarıda bırakılır. Skopi ile vida konumu tekrar kontrol edilir.

Kemik yüzeylerin dekortike edilmesini takiben vidalar arası kemik yüzeylere kemik otogreft ya da allogreftler füzyon için yerleştirilerek işlem tamamlanmış olur (31, 55).

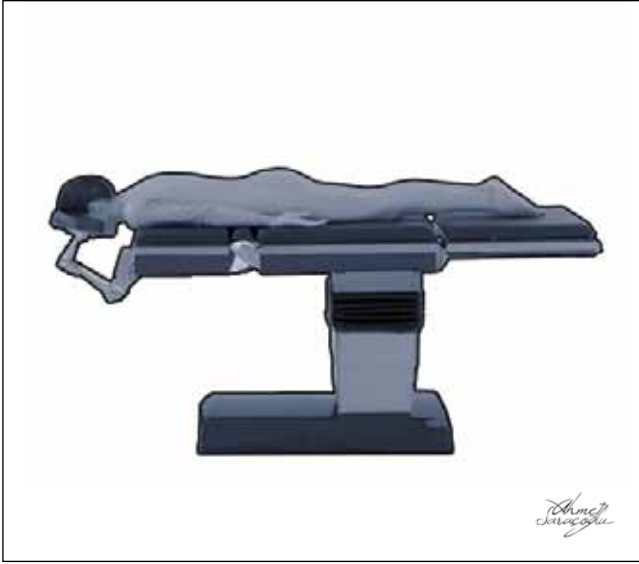
### CO-C1 TRANSARTİKÜLER VİDA YERLEŞTİRME TEKNİĞİ

Oksipitoservikal bölge dislokasyonlarında kondilleri kullanan bir diğer teknik de transartiküler vida tekniğidir. İlk defa 2001 yılında Grob tarafından bildirilmiş bir teknik olup atlantook-sipital dislokasyonu olan bir pediatrik olguda tel kullanılarak müdahalenin yetersiz kalması üzerine uygulanmıştır (23). Daha sonraları çok yaygın kullanımı olmasa da etkinliği ve başarısına dair yayınlar mevcuttur. Transartiküler vidalama

tekniki tek başına uygulandığı gibi oksipital plakla birlikte de uygulanabilir. (18, 22, 52).

### Cerrahi Teknik

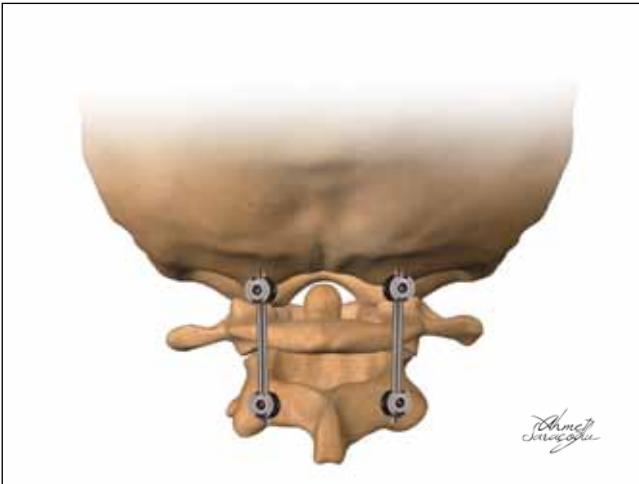
Hasta pozisyonu ve hazırlığı kondil vida tekniğinden farklı değildir. Transartiküler vida giriş noktası C1 lateral kitlesi inferioru ile C1 arkusunun kesişme noktasıdır. Giriş noktasında ilk delici ile açıldıktan sonra 2 mm uçlu drill ile drillenir. Oksipitoatlantal eklem boyunca kondile doğru ilerlenecek şekilde 3,5 x 28-34 mm'lik lateral kitle vidası gönderilir. Vida yönü 10- 20 derece mediale, 45 derece kraniale doğrudur (23, 52). Operasyonda ciddi dislokasyon varlığı ve düzeltici manevra yapılması



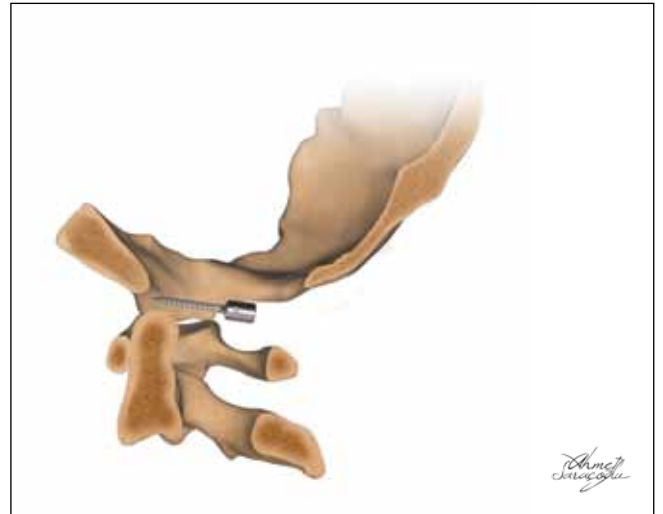
**Şekil 1:** Oksipital kondil vida yerleştirme tekniğinde hastanın pron pozisyonu görülmektedir. Baş genellikle çivili başlık ile nötr halde tesbit edilir.



**Şekil 2:** Standart posterior kraniovertebral yaklaşım için orta hat oksipital protuberansından C3 seviyesine kadar vertikal oksipitoservikal cilt insizyonu yapılır.



**Şekil 3:** Oksipital kondil vida yerleştirme tekniğinde kondil giriş noktası foramen magnumun posteromedial kenarının 4-5 mm lateralinde, oksipital kondille kondiler fossa'nın kesişme noktasındadır.



**Şekil 4:** Drilleme işleminde drilin tepesi basiona yönelmiş halde ve sagittal planda 15 derece mediale (12-22 derece arası), ve 5 derece kraniale olacak şekilde drilleme yapılır.

gereğinde nöromonitörizasyon altında cerrahi uygulamak güvenli olacaktır. Transartiküler vidalama için uygun redüksiyon sağlandıktan sonra vidalama işleminde Grob posterolateralde ayrı bir insizyon hattından vida gönderilmesini önermiş, böylece vertebral artere de zarar gelmesinin önlendiğini, atlas kemiğine eklem yüzeyinin posterior tarafından girildiğini, ekleme ve kondile vidanın yönleniminin takip edilebildiğini yazmıştır (23).

Tagigawa ve ark. yaptıkları çalışmada C0-C1 transartiküler vidalama ile direkt oksipital kondil vidalama tekniklerini diğer standart oksipital plak vida teknikleriyle karşılaştırmış her iki tekniğin yeterli füzyon sağladığını bildirmiştir (52).

### OKSİPİTAL PLAK – VIDA – ROD TEKNİĞİ

Bir diğer oksipitoservikal stabilizasyon tekniği olarak oksipital vida, rod ve plak ile enstrümantasyondur. Yüksek stabilite ve daha fazla füzyon oranı sayesinde birkaç on yıldır kullanılan nisbeten daha eski ve etkin bir fiksasyon yöntemidir. Oksipitoservikal bölge dekortike kemikleri üzerine sadece kemik greftlerin serilip hastaların uzun süre traksiyonla takip edildiği 1960'lı yıllardan tellerle fiksasyonun da eklendiği dönemlerden 1980'li yıllarda Ransford'un tanıttığı çelik rod ve sublaminar tellerle stabilizasyona uzun bir seyir sonrasında 1990'lı yılların başlarında oksipital plak tekniğinin kullanımı popülerite kazanmıştır (41, 46, 57). Oksipital plak kullanımı postoperatif halo ile fiksasyon ihtiyacını da azaltmıştır. Eğim verilmiş plakların vidalar yardımıyla unikortikal veya bikortikal olarak oksipital kemiğe sabitlendiği, plakların inferiorda da C1 ve C2 kemik vidalarıyla konnekte edilmesiyile oluşturulan stabilizasyon modelidir. C1 ve C2' ye vidalama yöntemleri daha önceki bahsi geçen tekniklerle aynıdır. Biyometrik olarak karşılaştırılmış birçok çalışmada, oksipital plak sistemiyle kondiler vida ve transartiküler vidalama sistemlerinin üçünde de birbirine yakın değerler elde etmiş, iyi birer füzyon tekniği olarak kullanılabileceklerine değinilmiştir (28, 52, 55, 56).

### Cerrahi Teknik

Pron pozisyonda baş çivili başlıkta hasta sabitlenir. Orta hat insizyon ile cilt ve ciltaltı geçilir. Suboksibital bölge ve servikal laminalar subperiosteal diseksiyonla ortaya konur. Oksipital plağa uygun eğim verildikten sonra vidalar yerleştirilerek plak sabitlenir. Eğim verilmiş rodlar plak üzerinde bulunan rod oluşuna yerleştirilir ve servikal vidalarla konnekte edilir.

Eksternal oksipital protuberans (inion) kafatasının arka kısmının en kalın yeridir. Buradan laterallere uzaklaşıldıkça kemik kalınlığı azalır. Orta hatta kalan unikortikal vidanın daha laterallerde yerleşimli bikortikal vida kadar dayanma gücüne sahip olduğu, orta hatta unikortikal vida kullanılabileceği belirtilmiştir (57). Bikortikal vidalar ile sinüs yaralanması, BOS kaçağı gibi risklerle karşılaşılacağından unikortikal vidalar da tercih edilebilir. Unikortikal vida yerleştirilecekse inion kullanılabilir. Bikortikal vida yerleştirilecekse inion'un hemen komşuluğundaki meninksler ile santral venöz pleksus varlığı nedeniyle superior nukhal hattın 2 cm altında kalınması önerilmiştir (40). Inion hattında en kalın lokalizasyonda 12 mm'lik unikortikal vida kullanılabilir. Bunun dışında inion

hattının lateralinde kalan bölgelerde daha ince kemiğe sahip olduklarından 8 mm'lik unikortikal vidalar tercih edilmelidir (Şekil 5) (14).

### ATLAS ve AKSİS'İN POSTERİOR ENSTRÜMANTASYONU

Atlantoaksiyal fiksasyon, oksipitoservikal füzyonun neden olduğu hareket kısıtlılığını engellemek ve anatomik varyasyonlardan dolayı C1-2 transartiküler fiksasyonun yapılamadığı olgularda alternatif olarak ortaya çıkmış bir tekniktir (21, 25, 27, 34). Atlantoaksiyal fiksasyonu sağlamak için atlas ve aksis üzerinde farklı bölgelere vida uygulamak mümkündür. Atlas üzerinde lateral kitle veya posterior arkus vidası yerleştirilebilir. Aksis üzerinde pedikül, pars veya lamina vidası yerleştirilebilir.

Atlas lateral kitle vidası ilk kez 1994 yılında Goel tarafından kullanılmıştır. Harms 2001 yılında C1 lateral kitle-C2 pedikül poliaksiyal vida ve rod ile fiksasyonu tanımlamıştır (21, 25). Wright ve ark. 2004 yılında translaminar vida tekniğini, Tan ve ark. 2003 yılında C1 posterior arkus vidasını tanımlamışlardır (53, 59). Biyomekanik çalışmalar karşılaştırıldığında, stabilizasyon ve füzyonu sağlamada C1 lateral kitle ve C2 pedikül vidasının, C1-2 transartiküler vida tekniği ile benzer etkinlikte olduğu gösterilmiştir (37). Özellikle vertebral arter yaralanma riskinin yüksek olduğu olgularda transartiküler vida yerine, C1 lateral kitle C2 pedikül vidası kullanmak daha akla yatkındır. Ayrıca C1-2 transartiküler vida yerleştirebilmek için eğer dislokasyon varsa C1'in C2 üzerinde redükte edilmiş olması gereklidir. Halbuki C1 lateral kitle-C2 pedikül vidası, eklem disloke olsa bile uygulanabilir ve hatta redüksiyon bu sayede sağlanır. C1 lateral kitle vidasında sağlam bir posterior arkusa gereksinim olmaması bir diğer avantajdır.

Travma, fraktür, transvers ligaman hasarı, dejeneratif hastalıklar, romatoid artrit veya konjenital malformasyonlara bağlı oluşan atlantoaksiyal instabilitelerde C1 lateral kitle veya



Şekil 5: Oksipitoservikal vida-rod tekniği görülmektedir.



pedikül, C2 pedikül, pars veya C2 lamina vidası ile stabilizasyon kullanılabilir. Özellikle instabil odontoid, C2 pars ve C1 kırıklarında veya mikst tip instabil C1 ve C2 kırıklarında C1-2 fiksasyon gerekir (24, 60).

Eğer C1 ve C2 doğrudan fikse edilemezse bu durumda enstrümantasyon alt servikal vertebralar ve oksipital kemiğe uzatılmalıdır. Posterior atlantoaksiyal enstrümantasyon yapılabilmesi için C1 lateral kitlenin ve C2 istmusunun sağlam olması gereklidir. Eğer C1 enstrümanate edilemezse bu durumda oksipitoservikal füzyon yapmak gerekebilir.

### **C1 LATERAL KİTLE, C1 POSTERİOR ARKUS, C2 PEDİKÜL, C2 PARS VE C2 TRANSLAMİNAR VİDA YERLEŞTİRME TEKNİĞİ**

Hastanın başı çivili başlıkta pron pozisyonda ve boyun nötral olarak sabitlenir. Kollar aşağıya doğru gövdeye birleştirilir ve flasterle sabitlenir. Standart posterior orta hat insizyon ile Subperiostal diseksiyon yapılarak C1 ve C2 laminaları ortaya konur.

#### **C1 LATERAL KİTLE VİDASI**

C1-2 eklemi C1 lateral kitle vidasında anahtar anatomik belirteçtir (25). C1-C2 eklemi dikkatli bir şekilde bipolar koagülasyon yardımıyla diseke edilerek ortaya konur. Diseksiyon sırasında tipik olarak epidural venöz pleksustan önemli derecede kanamayla karşılaşılabilir. Bu kanamalar Surgicel® ve Gelfoam® gibi hemostatik ajanlar yardımıyla kontrol edilebilir. Daha sonra 4 numaralı penfield disektör C1 posterior arkusunun altında lateral kitleye yerleştirilir ve aşağıya doğru dikkatlice diseksiyon yapılır. Diseksiyon sırasında C2 kökü ortaya konur ve kaudale doğru mobilize edilir. Böylece giriş noktası ortaya konmuş olur. Yukarıda C1 posterior arkusu, kaudalde C1-2 artikülasyonu, medial ve lateralde lateral kitlenin sınırları küçük bir disektör yardımı ile palpe edilir. Bazen C1 posterior arkusu lateral kitlenin üzerini kapatmış olabilir. Bu durumda C1 posterior arkusundan bir miktar kemik alınarak lateral kitle net olarak ortaya konulmalıdır.

Giriş noktası C1 lateral kitlesinin alt sınırının orta noktasını C1 posterior arkusu ile birleştiren hattın ortasıdır (Şekil 6). Giriş noktası 1-2 mm'lik ilk delici ile işaretlenir ve dril yardımıyla sagittal planda C1 posterior arkusuna paralel, transvers planda ise düz veya hafif konverjan olarak C1 anterior arkusu hedeflenerek vida yolu açılır. İlerleme sırasında preoperatif görüntülerden ve intraoperatif anatomik belirteçlerden ve lateral skopi görüntüsünden faydalanılmalıdır (25).

Blagg ve ark. C1 lateral kitle vidası için ideal giriş noktası olarak lamina ve lateral kitle birleşim yerinin medial kenarının hemen altını önermişler ve vertebral arter hasarı açısından daha güvenli olduğunu belirtmişlerdir (3). Vidanın laminanın alt sınırına paralel ve yaklaşık 20 derece medial açılanma ile gönderilmesi gerektiğini belirtmişlerdir (Şekil 7).

Lateral skopi görüntüsünde dril'in ucu C1 anterior tüberkül'ün orta kısmında, densin anterior korteksini geçince turlama sonlandırılır. Daha sonra açılan hol yuvarlak uçlu prob yardımı

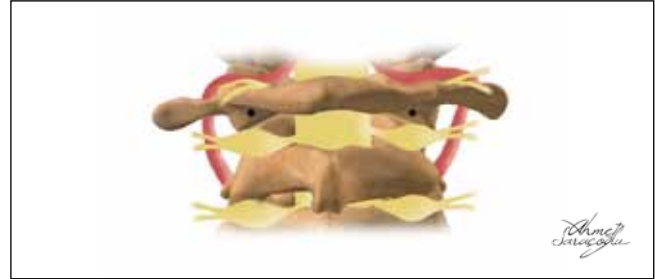
ile kontrol edilir ve genellikle 3,5 mm çapında ve 26-32 mm uzunluğunda vida yerleştirilir. Aynı işlem diğer taraf için de uygulanır. Doğru vida çapı ve uzunluğunun tespiti için ameliyat öncesi radyolojik ölçümler yapılmalıdır (25, 50).

Vidanın C1 anterior korteksi geçerek bikortikal yerleştirilmesi tartışma konusudur. Bikortikal yerleştirilen lateral kitle vidası ünikortikal vidaya göre daha yüksek tutuş gücüne sahiptir. Fakat bikortikal vidanın internal karotid arter ve hipoglossal siniri yaralama riski vardır. Bu sebeple yeterli kemik kalitesi olan ve doğru pozisyonda yerleştirilen vidalarda ünikortikal vida yerleştirilmesi uygun olabilir. Ayrıca preoperatif görüntüleme ile anatomik yapılar risk altında bulunursa ünikortikal vida yerleştirilmesi tercih edilebilir (16).

C2 kökü C1 lateral kitlesinin tam olarak görünmesine engel olabilir ve bu sebeple kaudale doğru ekarte edilmesi gerekmektedir. Yapılan ekartasyona veya vida yerleştirildikten sonra irritasyona bağlı olarak oksipital nevralsi izlenebilmektedir (21, 47, 49). C2 kökünün intraoperatif sakrifiye edilmesinin oksipital bölgede uyuşukluğa sebep olmakla birlikte postoperatif oksipital nevralsi görülme riskini azalttığı bildirilmiştir. Ayrıca bu sayede intraoperatif kanamanın daha az olacağı ve C1-2 eklemine daha kolay dekortikasyon yapılacağı savunulmuştur (10, 21).

#### **C1 PEDİKÜL VİDASI (C1 POSTERİOR ARKUS VİDASI)**

Atlas'ın gerçek bir pedikülü yoktur fakat posterior arkusu lateral kitleye bağlayan ince geçiş bölgesi "C1 pedikülü"



**Şekil 6:** C1 lateral kitle vidası yerleştirirken, giriş noktası C1 lateral kitlesinin alt sınırının orta noktasını C1 posterior arkusu ile birleştiren hattın ortasıdır.



**Şekil 7:** C1 lateral kitle vidası yerleştirirken, vidanın laminanın alt sınırına paralel ve yaklaşık 20 derece medial açılanma ile gönderilmesi gerekmektedir.

olarak adlandırılmaktadır. Burası yaklaşık olarak vertebral arter oluşunun en arka kısmının posterior arkusla birleşim yeridir (30). C1 posterior arkusundan lateral kitleye vida yerleştirilmesine "C1 posterior arkus vidası" veya "C1 pedikül vidası" denilmektedir (20, 30, 53). Preoperaif ölçümlerde posterior arkus yüksekliği ve genişliği vida yerleştirmek için uygun olan hastalarda uygulanabilir. Ayrıca preoperatif görüntüleme riskli anatomik yapılar değerlendirilmelidir.

Giriş yeri C1 posterior tüberkülün yaklaşık 18-20 mm laterali ve posterior arkusun alt sınırının 2 mm üzeridir (53). Vida yönü transvers planda yaklaşık dik veya 10 derece mediale, sagittal planda yaklaşık 3-5 derece kraniale açıdır. En doğru açığı preoperatif görüntüleme ve intraoperatif anatomik belirteçlere bakılarak karar verilmelidir. C1 pedikül vidasında klasik lateral kitle vidasına göre daha uzun vida kullanılmaktadır ve bu sebeple daha iyi bir tutuş gücü sağladığı savunulmaktadır (35). Ayrıca klasik lateral kitle vida yerleştirme sırasında, C1-2 eklemi ortaya koymak için yapılan diseksiyon sırasında görülen aşırı venöz kanamadan kaçınmak için C1 pedikül vidasının daha uygun olduğu düşünülmektedir (20). C2 kökünü ortaya koymak ve ekarte etmek gerekmediğinden oksipital nevralsi görülme riski daha düşüktür.

C1 pedikül vidasının posterior arkusu kırma riski vardır. Ayrıca vertebral arter hemen giriş noktasının üzerinde posterior arkusun süperior marjininden geçmektedir ve yaralanma riski teorik olarak daha fazladır.

## C2 PEDİKÜL VİDASI

C2 pedikül anatomik olarak inferior artiküler faseti C2 vertebraına bağlayan dens yapıda kemik kısımdır. Biyomekanik olarak C2 pars ve C2 lamina vidasına göre daha kuvvetli fiksasyon sağlamaktadır (33, 51).

Giriş noktası C2 istmus yüzeyi dört eşit çeyreğe bölünecek olursa üst iç çeyrektir. 4 numaralı penfield disektör veya kör uçlu bir prob yardımı ile medialde pedikülün hissedilmesi anatomik oryantasyonu sağlar. Giriş noktası belirlendikten sonra ilk delici veya 2 mm'lik dril yardımı ile korteks delinir ve ön yol hazırlanır. Daha sonra yaklaşık 20-30 derece medial ve kranial açılanmayla C2 istmusunun süperior ve medial tarafı hedeflenerek ve önemli anatomik yapılara dikkat edilerek ilerlenir (25). Daha sonra açılan vida yolu kör uçlu prob ile kontrol edilir. Ön yol açıcı ile tapping yapılarak vida yatağı hazırlanır ve uygun uzunlukta 3,5 mm'lik poliaksiyel vida yerleştirilir. Vida yerleştirme işleminde vidanın boyunu, çapını, medial ve sagittal açısını belirlemek için preoperatif görüntüleme yöntemlerinden ve intraoperatif skopi görüntüleri ile anatomik belirteçlerden faydalanılmalıdır. Penfield disektör yardımı ile C2 pars pedikül medial sınırının hissedilmesi vida yönünü ayarlamamızda oldukça yardımcıdır.

## C2 PARS VİDASI

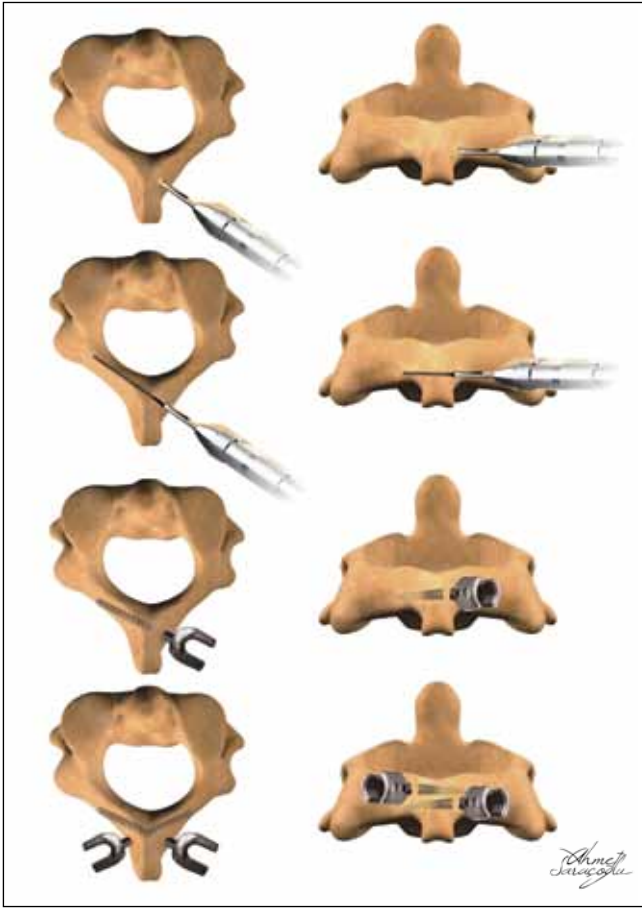
C2'nin pars anatomik olarak süperior ve inferior artiküler prosesleri birbirine bağlayan trabeküler kemik kısımdır. Özellikle yüksek çıkışlı vertebral arter anomalisi nedeni ile

C2 pedikül vidası yerleştirmenin riskli olduğu hastalarda, C2 pedikül anatomisi vida yerleştirmeye uygun olmayan hastalarda, stabilizasyonu sağlamak için alternatif yöntem olarak C2 pars vidası uygulanabilir (4). C2 pars'ın medial kısmı 4 numaralı penfield disektör ile palpe edilir. Giriş noktası C2 pars'ın medial kısmının 2-3 mm laterali ve C2-3 faset eklemının hemen rostralidir. Vida skopi eşliğinde sagittal planda C2 süperior fasetine doğru yönlendirilir. Transvers planda ise 0 derece ile 5 derece arasında mediale doğru gönderilir (24). C2 pedikül vidasına göre daha kısa vida kullanılır.

## C2 TRANSLAMİNAR VIDA

Translaminar (intralaminar, çapraz bilateral laminar) fiksasyon vidaların karşılıklı çapraz olarak C2 laminaına yerleştirildiği bir tekniktir. C1-2 transartiküler veya C2 pedikül vidasının yerleştirilemediği durumlarda alternatiftir. C2 pedikülün çok küçük olduğu veya C2 pedikülünde ileri derecede osteoskleroz olan ve medüller alanı olmayan, asimetric vertebral arteri olan, travmatik veya iatrojenik tek taraflı vertebral arter hasarı olan, tek taraflı vertebral arter oklüzyonu olan olgularda translaminar vida kullanılabilir. Vertebral arterin veya C2 pedikülün tek taraflı anomalik olduğu olgularda, tek tarafa C2 pedikül diğer tarafa C2 lamina vidasının yerleştirildiği hibrid sistem önerilmiştir (13, 38). Ayrıca C2 pedikül vidası kurtarma prosedüründe translaminar vida kullanılabilir (33, 44). Biyomekanik olarak stabilizasyon gücünün C2 pedikül ve pars vidasına benzer olduğunu belirtilen çalışmalar olsa da (13, 45, 59) özellikle lateral bending ve aksiyel rotasyonda C2 pedikül vidasına göre daha zayıf olduğu belirtilmektedir (8, 12). Özellikle C1-C2 fiksasyonda füzyon oranlarının iyi olmasına karşın C2-subaksiyal stabilizasyonda anlamlı oranda enstrümantasyon kaybı bildirilmiştir (45). Vidanın laminanın anteriorundan çıkarak spinal kord hasarı ve dural yaralanma riski yüksek olsa da vertebral arter yaralanma riski daha azdır (59). C2 laminaı servikal vertebralarda en geniş laminadır ve vida yerleştirilirken risk altındaki elemanların göz önünde olması daha güvenli enstrümantasyona olanak sağlar. Güvenli ve sağlam bir C2 lamina vidası yerleştirebilmek için, C2 laminaının kalınlığının 4 ile 5 mm arasında olması gereklidir (6).

Cerrahi teknikte öncelikle C2 laminaı diseksiyon ile ortaya konur. Giriş noktası spinöz çıkıntının hemen lateralinde lamina ile birleşim yeridir ve kontralateral laminaya doğru çapraz olarak ilerlenir. Gözle C2 laminaının arka duvarı, 4 numaralı kör uçlu penfield disektör yardımı ile laminanın ön duvarı eşzamanlı olarak kontrol edilirken kanselöz kemik içerisinde kalınarak lateral kitleye doğru drilleme yapılır (Goalpost tekniği). Vidanın yönü, çap ve uzunluğu preoperatif görüntüleme yöntemleri ile önceden ölçülmelidir. Ortalama 20-35 mm uzunluğunda vida kullanılır (Şekil 8). Vida yerleştirilirken kortikal hasar olmamasına dikkat edilmelidir. Vida yerleştirildikten sonra kanala taşma olup olmadığı laminanın anterioru disektör ile kontrol edilmelidir (4, 59). Karşılıklı gönderilen vidaların kafalarının, spinöz çıkıntının yanında laminaların birleşim yerinde birbirine yaslanmasından kaçınılmalıdır. Bunu önlemek için bir vida laminanın inferiorundan girip hafifçe yukarı doğ-



Şekil 8: C2 translaminar vida uygulanması görülmektedir.

ru yönlendirilirken, diğer vida karşı laminanın üst tarafından başlayıp hafif aşağıya doğru yönlendirilmelidir (4).

C1 ve C2 vidası yerleştirildikten sonra eğer C1'in redükte edilmesi gerekiyorsa gerek başa pozisyon verilerek gerekse rodlar yerleştirilip vidalar sıkılarak uygun dizilim sağlanabilir. Rodlar yerleştirilip vidalar sıkıldıktan sonra füzyon isteniyorsa, C1 ve C2 posterior dekortikasyon ve kanselöz otograft ile füzyon tamamlanır. Hastalar postoperatif birinci gün mobilize edilir ve yaklaşık 3 hafta yumuşak servikal kollar kullanmalıdır. (25).

#### Komplikasyonlar

C1 lateral kitle vidasına bağlı olarak lateralde vertebral arter hasarı oluşabilir. Hipoglossal sinir ve internal karotid arter C1 lateral kitlenin ön kısmında yerleşiktir ve bikortikal vida yerleştirmede hasar görme riski vardır. Hipoglossal sinir lateral kitle ön yüz orta noktasının 2-3 mm lateralinde yer alır (15). İnternal karotid arterde yeri değişkenlik göstermekle beraber lateral kitlenin önündedir (9). Lateral kitle vidasına bağlı olarak ayrıca posteriorda C2 kök hasarı ve medialde spinal kord hasarı oluşabilir. Ayrıca geçici oksipital nevralsi görülebilmektedir (50).

C2 pedikül vidasının laterale fazla yönlendirilmesi vertebral arteri tehdit eder. Fazla mediale yönlendirilmesi ise santral

kanala ve spinal korda zarar verebilir. Translaminar vidanın anterior korteksi delerek spinal korda penetrasyon riski vardır. Pars vidasında vertebral arter yaralanabilir.

#### MAGERL TEKNİĞİ (TRANSARTİKÜLER FİKSASYON)

Atlantoaksiyal eklem boyun rotasyonuna izin verir ve eklem yüzeyi düzdür. Bu bölgede gerek flavum gerekse anterior longitudinal ligaman (ALL) ve posterior longitudinal ligaman (PLL) azalmış ve yoktur. Transvers ligaman odontoid çıkıntısı C1'in ön kısmında tutarak ve rotasyona yardım eder. Transvers ligaman koparsa atlantoaksiyal instabilite oluşur.

Atlantoaksiyal instabilite oluşursa genellikle cerrahi stabilizasyon gereklidir. Cerrahi yöntemde önceleri posteriodan telleme ile C1-2 laminaları birbirine bağlanarak füzyon denenmiştir (5, 11, 19). Füzyon oluşması zordur ve mortalite ve morbiditesi yüksektir.

1987 yılında Magerl tarafından posterior transartiküler C1-2 fiksasyon tekniği bildirilmiştir (Atlantoaksiyal fiksasyon) (36). Bu teknik ile telleme tekniğine göre daha güçlü bir stabilizasyon ve yüksek füzyon sağlamaktadır (43). Magerl tekniğinde eksternal immobilizasyona gerek yoktur. Fakat boyun rotasyonunu %75'e kadar sınırlayan bir tekniktir.

#### Endikasyonlar

Odontoid kırıklarında özellikle transvers ligaman hasarı varsa ve anterior odontoid vidalama yapılamıyorsa transartiküler fiksasyon yapılabilir. Daha önce anterior vida denenmiş fakat enstrümantasyon kaybı olmuş veya füzyon oluşmamış hastalarda, longitudinal veya oblik karakterde instabil odontoid kırıklarında, laminektomi yapılmış ve telleme yapılamayan kırıklarda, patolojik odontoid kırıklarında, posteriora doğru ciddi subluksasyon gösteren odontoid kırıklarında, os odontoidumda, Larsen sendromunda ve instabil Jefferson kırıklarında (29, 48) uygulanabilir.

#### Cerrahi Teknik

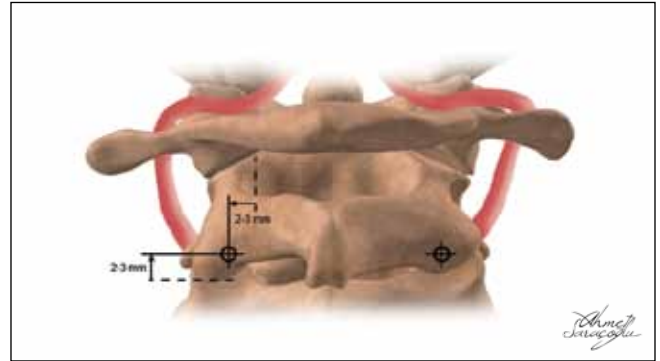
Operasyon çivili başlıkla ve hasta pron pozisyonda iken yapılır. Hastanın başına fleksiyon verilir ve çivili başlık fikse edilir. Böylece densin normal pozisyona gelmesi sağlanır. Oryantasyonun sağlanması için pozisyonun tam yan olması önemlidir. Hasta örtülürken sırtı açıkta olacak şekilde geniş olarak örtülmelidir. Çünkü bazen uygun açığı verebilmek için sırttan perkütan girmek gerekebilir. Gerekli saha temizliği yapıp hasta örtüldükten sonra posterior C0-C3 orta hat insizyon yapılır. Subperiosteal diseksiyon yapılır ve faset kapsülüne zarar vermeden C1, C2 laminaları ve faset eklemler ortaya konur. C2 istmusuna hakim olmak önemlidir. Bunun için atlantoaksiyal eklem posteriorunda C2 kökü ve onu çevreleyen venöz yapılar kraniale doğru disektör yardımıyla dikkatlice ekarte edilir. C2 kökü etrafında genellikle yoğun venöz kanama ile karşılaşılır. Surgicel® veya Spongostan® yardımı ile kanama durdurulur. Kanama kontrolü sırasında spinal korda dikkat edilmeli ve baskı yapılmamalıdır. Dikkatli diseksiyon ile C2 istmusu tam olarak görülür. C2 inferior faset alt sınırından 2-3 mm yukarısı ve C2-3 faset medial kısmının 2-3 mm laterali giriş noktasıdır (Şekil 9) (1). Giriş noktası drillenerek rehber telin girmesi için yuva oluşturulur.



C1-2 transartiküler vida giriş nontasından C1 anterior tüberküle doğru yönlendirilmelidir ve bunun için oldukça fazla sagittal açı gereklidir (Şekil 10). C0-3 arası yapılan insizyon ile bu açığı sağlamak ve vidayı göndermek mümkün olmayabilir. Bu durumda insizyon hattından daha kaudalde sırtta mini insizyon yapılarak rehber tel ve vidayı uygun açıda göndermek gerekebilir. Ciltte uygun insizyon noktasını bulmak için skopiden faydalanılır. Uzun bir tel yardımıyla skopi kullanılarak, C1-2 fasetinden geçen ve anterior tüberküle hedefleyen bir izdüşüm alınarak sırttaki insizyon noktası bilateral olarak işaretlenir. İşaretlenen bu noktalara küçük insizyon yapılır. Hemostatik klemp kullanılarak cilt altı genişletilir ve rehber tüpün geçebileceği kadar yer açılır. Daha sonra rehber tüp sırttaki insizyondan uygun açıda ilerletilerek vida giriş noktasına yerleştirilir. Rehber tüp içerisine ucuna rehber tel takılmış dril yerleştirilir. Dril C1 anterior tüberküle hedef alacak şekilde C2 istmusunun içinden yaklaşık 10 derece mediale açı verilerek skopi eşliğinde ilerletilir. Dril C1-2 eklemine geçecek şekilde ilerletilmelidir, pediküle doğru yönlendirilmemelidir. Rehber tel ile C1 arkusunun ortasına gelince durulur. Uygun vida boyu belirlendikten sonra oluklu vida ile rehber tel üzerinden vida skopi eşliğinde yerleştirilir. Aynı işlem diğer taraf için de uygulanır. Genellikle 3,5-4 mm çap ve 40 mm uzunlukta vidalar kullanılır. Genelde lag vida kullanmak gerekmez fakat eğer C1 anterior sublüksasyon varsa lag vida kullanılabilir. Kemik yapısı çok sert ise vida rehber tel üzerinden gönderilmeden önce dril ile bir miktar yuva yapılabilir ama kemik yumuşak yapıda ise vida tel üzerinden doğrudan yerleştirilebilir. Vida yerleştirme daima skopi eşliğinde yapılmalı ve uygun vida pozisyonu doğrulanmalıdır. Eklem aralığı geçirilirken atlas ve aksisin sıkıştığı hissedilebilir.

Ameliyat öncesi sagittal, koronal ve aksiyal 3-boyutlu ince kesitli tomografi görüntüleri değerlendirilmeli, cerrahi anatominin vida yerleştirmek için yeterli ve güvenli olduğu doğrulanmalıdır. Anormal yapıda veya varyasyonlu anatomik oluşumların belirlenmesi ve gerekirse transartiküler vida yerleştirmekten vazgeçilmesi olası bir komplikasyonu önlemek için önemlidir. Eğer anormal çıkışlı vertebral arter görülürse işlem sırasında vertebral arter yaralanma riski çok fazladır. Eğer anormal vertebral arter tek taraflı ise sadece normal taraftan transartiküler vida gönderilip eksternal immobilizasyon ile füzyon denenebilir.

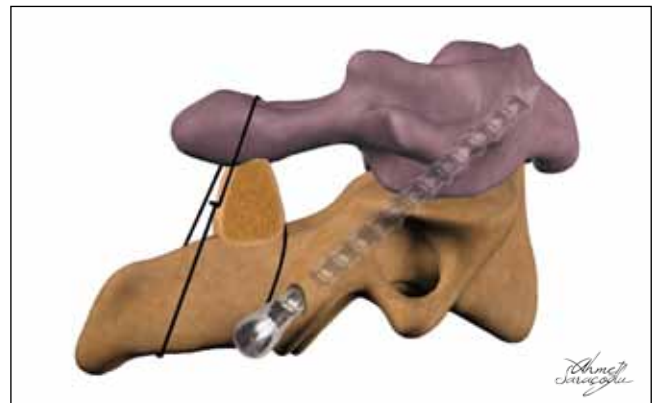
Vida yerleştirme tamamlandıktan sonra eğer laminalar intakt ise C1-2 sublaminar telleme yapılabilir. Bu sayede stabilizasyon daha güçlü olacaktır (19). C1 ve C2 laminaları üzeri dekortike edildikten ve telin yerleşebileceği çentikler Kerrison rongeur yardımıyla açıldıktan sonra yaklaşık 4x3 cm'lik allo veya otogreft C1-2 mesafesine uyacak şekilde hazırlanır ve tel ile bağlanır (Şekil 11) (1). Daha sonra posterior C1-2 arkının ve kemik greftin yüzeyi drillenerek dekortikasyon yapılır. Radyolojik olarak füzyon oluşuncaya kadar hasta Philadelphia kollar kullanılmalıdır. Laminaların olmadığı durumda C1-2 arasına lateralden kemik greft yerleştirilmeli ve en az 12 hafta servikal kollar takılmalıdır (29).



Şekil 9: C1-2 Transartiküler fiksasyonda C2 inferior faset alt sınırından 2-3 mm yukarısı ve C2-3 faset medial kısmının 2-3 mm laterali giriş noktası görülmektedir.



Şekil 10: C1-2 transartiküler vida giriş noktasından C1 anterior tüberküle doğru yönlendirilmelidir ve bunun için oldukça fazla sagittal açı gereklidir.



Şekil 11: C1-2 transartiküler vidalamada C1 ve C2 laminaları üzeri dekortike edildikten ve telin yerleşebileceği çentikler Kerrison rongeur yardımıyla açıldıktan sonra yaklaşık allo veya otogreft C1-2 mesafesine uyacak şekilde hazırlanır ve tel ile bağlanması görülmektedir.



### Komplikasyonlar

En sık rastlanan komplikasyon boyun ağrısı ve ense sertliğidir (48). Enfeksiyon, psödoartroz, enstrümantasyon kaybı, vida malpozisyonu görülebilir. Vidanın aşırı sıkılması C2 faset ve parsının kırılmasına sebep olabilir ve vida tutuşu bozulabilir (1). Hatalı vida yerleştirilmesine bağlı kök hasarı, dural hasar ve BOS fistülü, spinal kord hasarı olabilir. Vida çok öne gönderilirse farinkse girebilir. Fazla rostrale yönlendirilen vida oksipitoatlantal eklemi bozabilir, bu eklemden istenmeyen füzyon yapabilir veya bu bölgede ağrı oluşur. Vida fazla laterale yönlendirilirse vertebral arteri yaralayabilir veya fazla mediale yönlendirilirse dura ve spinal kord hasarı oluşturabilir (1).

### TEŞEKKÜRLER

Yazarlar yazıda kullanılan çizimler için sayın Ahmet Saraçoğlu'na teşekkür eder. Bu çizimlerin tüm hakları Ahmet Saraçoğlu'na aittir. Çizimler aynı zamanda Spinal Enstrümantasyon Teknikleri isimli kitapta da kullanılmıştır. (Erkan Kaptanoğlu (Editör), Emre Acaroğlu (Yardımcı Editör): Spinal Enstrümantasyon Teknikleri 2014, Sayfa: 385, İntertıp Yayınevi, ISBN:978-605-5004-02-6)

### KAYNAKLAR

1. Apostolides PJ, Karahalios DG, Sonntag VKH: Technique of posterior atlantoaxial arthrodesis with transarticular facet screw fixation and interspinous wiring. Operative Tech in Neurosurg 2: 67-71, 1998
2. Arnautovi KI, al-Mefty O, Pait TG, Krisht AF, Husain MM: The suboccipital cavernous sinus. J Neurosurg 86: 252-262, 1997
3. Blagg SE, Don AS, Robertson PA: Anatomic determination of optimal entry point and direction for C1 lateral mass screw placement. J Spinal Disord Tech 22:233-239, 2009
4. Bransford RJ, Lee MJ, Reis A: Posterior fixation of the upper cervical spine: Contemporary techniques. J Am Acad Orthop Surg 19: 63-71, 2011
5. Brooks AL, Jenkins EB: Atlantoaxial arthrodesis by the wedge compression method. J Bone Joint Surg (Am) 60:279-284, 1978
6. Cassinelli EH, Lee M, Skalak A, Ahn NU, Wright NM: Anatomic considerations for the placement of C2 laminar screws. Spine (Phila Pa 1976) 31: 2767-2771, 2006
7. Castillo C, Viñas FC, Gutikhonda M, Diaz FG: Microsurgical anatomy of the suboccipital segment of the vertebral artery. Neurol Res 20: 201-208, 1998
8. Claybrooks R, Kayanja M, Milks R, Benzel E: Atlantoaxial fusion: A biomechanical analysis of two C1-C2 fusion techniques. Spine J 7: 682-688, 2007
9. Currier BL, Todd LT, Maus TP, Fisher DR, Yaszemski MJ: Anatomic relationship of the internal carotid artery to the C1 vertebra: A case report of cervical reconstruction for chordoma and pilot study to assess the risk of screw fixation of the atlas. Spine 28: E461-E467, 2003
10. Dewan MC, Godil SS, Mendenhall SK, Devin CJ, McGirt MJ: C2 nerve root transection during C1 lateral mass screw fixation: Does it affect functionality and quality of life? Neurosurgery 74:475-80; discussion 480-481, 2014
11. Dickman CA, Sonntag V, Papadopoulos S, Hadley M: The interspinous method of atlantoaxial arthrodesis. J Neurosurg 74:190-198, 1991
12. Dmitriev AE, Lehman RA Jr, Helgeson MD, Sasso RC, Kuhns C, Riew DK: Acute and long-term stability of atlantoaxial fixation methods: A biomechanical comparison of pars, pedicle, and intralaminar fixation in an intact and odontoid fracture model. Spine (Phila Pa 1976) 34: 365-370, 2009
13. Dorward IG, Wright NM: Seven years of experience with C2 translaminar screw fixation: Clinical series and review of the literature. Neurosurgery 68:1491-1499; discussion 1499, 2011
14. Ebraheim NA, Lu J, Biyani A, Brown JA, Yeasting RA: An anatomic study of the thickness of the occipital bone. Implications for occipitocervical instrumentation. Spine 21: 1725-1729; discussion 1729-1730, 1996
15. Ebraheim NA, Misson JR, Xu R, Yeasting RA: The optimal transarticular C1-2 screw length and the location of the hypoglossal nerve. Surg Neurol 53:208-210, 2000
16. Eck JC, Walker MP, Currier BL, Chen Q, Yaszemski MJ, An KN: Biomechanical comparison of unicortical versus bicortical C1 lateral mass screw fixation. J Spinal Disord Tech 20:505-508, 2007
17. El-Gaidi MA, Eissa EM, El-Shaarawy EA: Free-hand placement of occipital condyle screws: A cadaveric study. Eur Spine J 23:2182-2188, 2014
18. Feiz-Erfan I, Gonzalez LF, Dickman CA: Atlantooccipital transarticular screw fixation for the treatment of traumatic occipitoatlantal dislocation. Technical note. J Neurosurg Spine 2: 381-385, 2005
19. Gallie WE: Fractures and dislocations of the upper cervical spine. Am J Surg 46: 495-499, 1939
20. Gebauer M, Barvencik F, Briem D, Kolb JB, Seitz S, Rueger JM, Püschel K, Amling M: Evaluation of anatomic landmarks and safe zones for screw placement in the atlas via the posterior arch. Eur Spine J 19: 85-90, 2010
21. Goel A, Desai KI, Muzumdar DP: Atlantoaxial fixation using plate and screw method: A report of 160 treated patients. Neurosurgery 51:1351-1357, 2002
22. Gonzalez LF, Crawford NR, Chamberlain RH, Perez Garza LE, Preul MC, Sonntag VK, Dickman CA: Craniovertebral junction fixation with transarticular screws: Biomechanical analysis of a novel technique. J Neurosurg 98: 202-209, 2003
23. Grob D: Transarticular screw fixation for atlanto-occipital dislocation. Spine 26: 703-707, 2001
24. Gunnarsson T, Massicotte EM, Govender PV, Raja Rampersaud Y, Fehlings MG: The use of C1 lateral mass screws in complex cervical spine surgery: Indications, techniques, and outcome in a prospective consecutive series of 25 cases. J Spinal Disord Tech 20: 308-316, 2007
25. Harms J, Melcher RP: Posterior C1-C2 fusion with polyaxial screw and rod fixation. Spine 26: 2467-2471, 2001

26. Helgeson MD, Lehman RA Jr, Sasso RC, Dmitriev AE, Mack AW, Riew KD: Biomechanical analysis of occipitocervical stability afforded by three fixation techniques. *Spine J* 11:245-250, 2011
27. Hong X, Dong Y, Yunbing C, Qingshui Y, Shizheng Z, Jingfa L: Posterior screw placement on the lateral mass of atlas: An anatomic study. *Spine* 29: 500-503, 2004
28. Hong JT, Takigawa T, Sugisaki K, Espinoza Orías AA, Inoue N, An HS: Biomechanical and morphometric evaluation of occipital condyle for occipitocervical segmental fixation. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 51:701-706, 2011
29. Jeanneret B, Magerl F: Primary posterior fusion of C1/2 in odontoid fractures: Indications, technique, and results of transarticular screw fixation. *J Spinal Disord* 5:464-475, 1992
30. Kim JH, Kwak DS, Han SH, Cho SM, You SH, Kim MK: Anatomic consideration of the C1 laminar arch for lateral mass screw fixation via C1 lateral lamina: A Landmark between the Lateral and Posterior Lamina of the C1. *J Korean Neurosurg Soc* 54: 25-29, 2013
31. Le TV, Burkett C, Ramos E, Uribe JS: Occipital condyle screw placement and occipitocervical instrumentation using three-dimensional image-guided navigation. *J Clin Neurosci* 19: 757-760, 2012
32. Le TV, Vivas AC, Baaj AA, Vale FL, Uribe JS: Optimal trajectory for the occipital condyle screw. *J Spinal Disord Tech* 27: 93-97, 2014
33. Lehman RA Jr, Dmitriev AE, Helgeson MD, Sasso RC, Kuklo TR, Riew KD: Salvage of C2 pedicle and pars screws using the intralaminar technique: A biomechanical analysis. *Spine (Phila Pa 1976)* 33: 960-965, 2008
34. Levine AM, Edwards CC: Fractures of the atlas. *J Bone Joint Surg Am* 73: 630-691, 1991
35. Ma XY, Yin QS, Wu ZH, Xia H, Liu JF, Xiang M, Zhao WD, Zhong SZ: C1 pedicle screws versus C1 lateral mass screws: Comparisons of pullout strengths and biomechanical stabilities. *Spine* 34: 371-377, 2009
36. Magerl F, Seemann PS: Stable posterior fusion of the atlas and axis by transarticular screw fixation. Kehr P, Weidner A (ed), *Cervical spine*. Wien:Springer, 1987:322-327
37. Melcher RP, Puttlitz CM, Kleinstueck FS, Lotz JC, Harms J, Bradford DS: Biomechanical testing of posterior atlantoaxial fixation techniques. *Spine* 27: 2435-2440, 2002
38. Miyakoshi N, Hongo M, Kobayashi T, Suzuki T, Abe E, Shimada Y: Comparison between bilateral C2 pedicle screwing and unilateral C2 pedicle screwing, combined with contralateral C2 laminar screwing, for atlantoaxial posterior fixation. *Asian Spine J* 8: 777-785, 2014
39. Naderi S, Korman E, Citak G, Güvençer M, Senoğlu M, Tetik S, Arda MN: Morphometric analysis of human occipital condyle. *Clin Neurol Neurosurg* 107: 191-199, 2005
40. Nadim Y, Lu J, Sabry FF, Ebrahim N: Occipital screws in occipitocervical fusion and their relation to the venous sinuses: An anatomic and radiographic study. *Orthopedics* 23: 717-719, 2000
41. Newman P, Sweetnam R: Occipito-cervical fusion. An operative technique and its indications. *J Bone Joint Surg Br* 51: 423-431, 1969
42. Ozer MA, Celik S, Govsa F, Ulusoy MO: Anatomical determination of a safe entry point for occipital condyle screw using three dimensional landmarks. *Eur Spine J* 20: 1510-1517, 2011
43. Özer AF: Posterior C1-C2 Transartiküler vida yerleştirme (Magerl) tekniği. Kaptanoğlu E, Acaroğlu E (ed). *Spinal Enstrümantasyon Teknikleri*. Ankara: İntertıp Yayınevi, 2014:179-184
44. Park JS, Cho DC, Sung JK: Feasibility of C2 translaminar screw as an alternative or salvage of C2 pedicle screws in atlantoaxial instability. *J Spinal Disord Tech* 25:254-258, 2012
45. Parker SL, McGirt MJ, Garces-Ambrossi GL, Mehta va, Sciubba DM, Witham TF, Gokaslan ZL, Wolinsky JP: Translaminar versus pedicle screw fixation of C2: Comparison of surgical morbidity and accuracy of 313 consecutive screws. *Neurosurgery* 64 Suppl 2:343-348, 2009
46. Ransford AO, Crockard HA, Pozo JL, Thomas NP, Nelson IW: Craniocervical instability treated by contoured loop fixation. *J Bone Joint Surg Br* 68: 173-177, 1986
47. Rhee WT, You SH, Kim SK, Lee SY: Troublesome occipital neuralgia developed by c1-c2 harms construct. *J Korean Neurosurg Soc* 43: 111-113, 2008
48. Rizvi SA, Fredø HL, Lied B, Nakstad PH, Rønning P, Helseth E: Surgical management of acute odontoid fractures: Surgery-related complications and long-term outcomes in a consecutive series of 97 patients. *J Trauma Acute Care Surg* 72:682-690, 2012
49. Rocha R, Safavi-Abbasi S, Reis C, Theodore N, Bambakidis N, de oliveira E, Sonntag VK, Crawford NR: Working area, safety zones, and angles of approach for posterior C-1 lateral mass screw placement: A quantitative anatomical and morphometric evaluation. *J Neurosurg Spine* 6: 247-254, 2007
50. Seal C, Zarro C, Gelb D, Ludwig S: C1 lateral mass anatomy: Proper placement of lateral mass screws. *J Spinal Disord Tech* 22: 516-523, 2009
51. Su BW, Shimer AL, Chinthakunta S, Salloum K, Ames CP, Vaccaro AR, Bucklen B: Comparison of fatigue strength of C2 pedicle screws, C2 pars screws, and a hybrid construct in C1-C2 fixation. *Spine (Phila Pa 1976)* 39: E12-19, 2014
52. Takigawa T, Simon P, Espinoza Orías AA, Hong JT, Ito Y, Inoue N, An HS: Biomechanical comparison of occiput-C1-C2 fixation techniques: C0-C1 transarticular screw and direct occiput condyle screw. *Spine (Phila Pa 1976)* 37: E696-701, 2012
53. Tan M, Wang H, Wang Y, Zhang G, Yi P, Li Z, Wei H, Yang F: Morphometric evaluation of screw fixation in atlas via posterior arch and lateral mass. *Spine (Phila Pa 1976)* 28: 888-895, 2003
54. Uribe JS, Ramos E, Vale F: Feasibility of occipital condyle screw placement for occipitocervical fixation: A cadaveric study and description of a novel technique. *J Spinal Disord Tech* 21: 540-546, 2008

55. Uribe JS, Ramos E, Baaj A, Youssef AS, Vale FL: Occipital cervical stabilization using occipital condyles for cranial fixation: Technical case report. *Neurosurgery* 65: 1216-1217, 2009
56. Uribe JS, Ramos E, Youssef AS, Levine N, Turner AW, Johnson WM, Vale FL: Craniocervical fixation with occipital condyle screws: Biomechanical analysis of a novel technique. *Spine (Phila Pa 1976)* 35: 931-938, 2010
57. Vaccaro AR, Lim MR, Lee JY: Indications for surgery and stabilization techniques of the occipito-cervical junction. *Injury* 36 Suppl 2: B44 -53, 2005
58. Wolfla CE: Anatomical, biomechanical, and practical considerations in posterior occipitocervical instrumentation. *Spine J* 6: 225-232, 2006
59. Wright NM: Posterior C2 fixation using bilateral, crossing C2 laminar screws: Case series and technical note. *J Spinal Disord Tech* 17: 158-162, 2004
60. Yanni DS, Perin NI: Fixation of the axis. *Neurosurgery* 66 Suppl 3: 147-152, 2010