


**T.C.**

**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ**

**TIP FAKÜLTESİ**

**BEYİN VE SİNİR CERRAHİSİ ANABİLİM DALI**

# C2 VERTEBRA TRANSPEDİKÜLER VİDALAMA SERBEST EL TEKNİĞİNİN NAVİGASYON YARDIMLI TEKNİKLER İLE KARŞILAŞTIRILMASI

**UZMANLIK TEZİ**

**Dr. Burak ERAL**

**TEZ DANIŞMANI**
**Dr. Öğr. Üyesi İlker KİRAZ**

DENİZLİ – 2020




**T.C.**

**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ**

**TIP FAKÜLTESİ**

**BEYİN VE SİNİR CERRAHİSİ ANABİLİM DALI**

# C2 VERTEBRA TRANSPEDİKÜLER VİDALAMA SERBEST EL TEKNİĞİNİN NAVİGASYON YARDIMLI TEKNİKLER İLE KARŞILAŞTIRILMASI

**UZMANLIK TEZİ**
**Dr. Burak ERAL**

**TEZ DANIŞMANI**
**Dr. Öğr. Üyesi İlker KİRAZ**

DENİZLİ – 2020

# ONAY SAYFASI

Dr. Öğr. Üyesi İlker KİRAZ danışmanlığında **Dr. Burak ERAL** tarafından yapılan **"C2 VERTEBRA TRANSPEDİKÜLER VİDALAMA SERBEST EL TEKNİĞİNİN NAVİGASYON YARDIMLI TEKNİKLER İLE KARŞILAŞTIRILMASI"** başlıklı tez çalışması 05/11/2020 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonrası yapılan değerlendirme sonucu jürimiz tarafından Pamukkale Üniversitesi Tıp fakültesi Anesteziyoloji ve Reanimasyon Anabilim Dalı'nda TIPTA UZMANLIK TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**BAŞKAN:**

**ÜYE:**

**ÜYE:**

**Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.**

**Prof. Dr. ……**

**Pamukkale Üniversitesi**

**Tıp Fakültesi Dekanı**

# TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim süresince bizlere bilgi, beceri ve deneyimleriyle yol göstererek yetişmemde büyük emekleri olan değerli hocalarım Prof. Dr. Mehmet Erdal COŞKUN'a, Prof. Dr. Feridun ACAR'a, Doç. Dr. Mevci ÖZDEMİR'e, Dr. Öğr. Ü. İlker KİRAZ'a, Dr. Öğr. Ü. Emrah EGEMEN'e, Dr. Öğr. Ü. Ümit Akın DERE'ye, Dr. Öğr. Ü. Fatih YAKAR'a ve Dr. Öğr. Ü. Serkan CİVLAN'a,

Tez yazım aşamasında katkıları ve Almanya'daki 3 aylık eğitimimdeki desteklerinden dolayı değerli abim Doç. Dr. Ersin HACIYAKUPOĞLU'na,

Eğitim öğretim hayatım boyunca ilkokuldan uzmanlık sürecine kadar bana emek veren ve birçok şey öğreten bütün öğretmen ve eğitmenlerime,

Beyin ve Sinir Cerrahisi Anabilim Dalında birlikte çalışmaktan ve vakit geçirmekten mutluluk duyduğum araştırma görevlisi arkadaşlarıma,

Her anımızda bizlere yardımcı ve zor zamanlarımızda destek olan hemşire ve personel arkadaşlarıma,

Tezimin istatistik aşamasında çok yardımları dokunan Dr. Ulaş GÖKDENİZ, Dr. Ceyda GÖKCEN GÖKDENİZ ve Dr. Atalay ÇELİKYÜREK'e,

Tüm eğitim hayatım boyunca benden maddi, manevi desteğini esirgemeyen beni bugünlere getiren annem, babam ve ablama en içten teşekkürü bir borç bilirim.

Dr. Burak ERAL

Denizli, 2020

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

**KABUL VE ONAY ……ii**

**TEŞEKKÜR ……...iii**

**İÇİNDEKİLER ……,,,iv**

**SEMBOLLER VE KISALTMALAR ……v**

**RESİMLER DİZİNİ ……...vi**

**TABLOLAR DİZİNİ ……viii**

**ÖZET ……x**

**ABSTRACT……xiii**

**1. GİRİŞ VE AMAÇ ……1**

**2. GENEL BİLGİLER ……3**

2.1. ANATOMİ……3

2.2. EMBRİYONEL GELİŞİM……..12

2.3. BİYOMEKANİK……13

2.4. CERRAHİ TEKNİKLER…….26

**3. GEREÇ VE YÖNTEMLER……...44**

3.1. HASTA BİLGİLERİ……44

3.2. VERİLERİN İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRİLMESİ…….46

3.3. CERRAHİ TEKNİK……47

**4. BULGULAR ……48**

**5. TARTIŞMA ve SONUÇ ……56**

**6. KAYNAKLAR ……63**

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR

| | | |
|---|---|---|
| VA | : | Vertebral Arter |
| KVB | : | Kraniovertebral Bileşke |
| ALL | : | Anterior Longitudinal Ligament |
| PLL | : | Posterior Longitudinal Ligament |
| ROM | : | Range of Motion |
| NZ | : | Nötr Zone |
| LZ | : | Laks Zone |
| SZ | : | Stiff Zone |
| RAE | : | Rotasyonun Anlık Ekseni |
| OAD | : | Oksipitoatlantal Dislokasyon |
| AAD | : | Atlantoaksiyel Dislokasyon |
| RA | : | Romatoid Artrit |
| BT | : | Bilgisayarlı Tomografi |
| MRG | : | Manyetik Rezonans Görüntüleme |
| PSA | : | Pedicle Superior Angle |
| PMA | : | Pedicle Medial Angle |
| PW | : | Pedicle Width |
| PL | : | Pedicle Length |
| SPSS | : | Statistical Package for the Social Sciences |
| PAÜ | : | Pamukkale Üniversitesi |
| HBK | : | Heinrich Braun Klinikum |

## RESİMLER DİZİNİ

**Sayfa No:**


**Resim 1.** Atlas (C1) alttan, Axis (C2) üstten görünüşü……..….5

**Resim 2.** Atlas (C1) üstten, Axis (C2) önden görünüşü…….……5

**Resim 3.** C1-C2 internal ligamentler ……..…8

**Resim 4.** Servikal vertebral anterior ligamentler……..10

**Resim 5.** Vertebral arter ile servikal vertebraların ilişkisi……12

**Resim 6.** C1-C2 hareket segmentindeki farklı eksenlerdeki lineer ve rotasyon hareketleri……19

**Resim 7.** Kraniovertebral bileşkede oluşan hareketler: A- C0-C1 eklemi üzerindeki fleksiyon-ekstansiyon hareketleri, B- Dens etrafında C1'in rotasyonu, C- C1-C2 seviyesindeki yana eğilme……..19

**Resim 8.** Travma sırasında KVB'ye etkin eden kuvvetler, transvers ligamentin bozulma mekanizması ve etkin eden kuvvetler…….……...20

**Resim 9.** C1 ve C2 kırıklarındaki kuvvet vektörleri ……22

**Resim 10.** Magerl yekniği sagittal vida doğrultusu ve giriş noktası……...27

**Resim 11.** C2 translaminar vidalama tekniği……..28

**Resim 12.** İnterlaminar klemp fiksasyon tekniği ……...33

**Resim 13.** Gallie füzyon tekniği…….34

**Resim 14.** Brooks füzyon tekniği……...35

**Resim 15.** Sonntag tekniği……..35

**Resim 16.** Magerl tekniği……....36

**Resim 17.** Harms&Goel teknik: C1 lateral mass, C2 pedikül vidası.....38

**Resim 18.** C2 transpediküler vida giriş yeri ve aksiyel-sagittal vida doğrultuları……43

**Resim 19.** Vida Zone sınıflaması: Zone 1 (Pedikül medialinde kalan alan), Zone 2 (Pedikül sınırları içerisindeki alan), Zone 3 (Pedikül lateralinde kalan alan).....45

**Resim 20.** C2 vertebra morfolojik ölçümleri ……...……..45

**Resim 21.** C2 transpediküler vidalama: A. Superior B. Posterior ……...…..47

## TABLOLAR DİZİNİ

**Sayfa No:**


**Tablo 1.** Servikal vertebral eklemlerin ROM değerleri……26

**Tablo 2.** Gerztbein-Robbins Klasifikasyonu……....44

**Tablo 3.** Hastaların yaş ve cinsiyet dağılımı…….48

**Tablo 4.** Pamukkale Üniversite ve Heinrich Braun Klinikum Hastanelerinde opere edilen hastaların ek özellikleri……....49

**Tablo 5.** Pamukkale Üniversite Hastanesinde opere edilen hastaların pedikül ölçümleri ve malpozisyon durumları…….50

**Tablo 6.** Pamukkale Üniversite Hastanesinde opere edilen hastaların pedikül kalınlık, yükseklik, uzunluk, medial ve kraniokaudal açılanma minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri…….51

**Tablo 7.** Pamukkale Üniversite ve Heinrich Braun Klinikum Hastanelerinde malpoze vidaların Zone dağılımı ve istatistiksel değerlendirilmesi…….……..52

**Tablo 8.** Pamukkale Üniversitesi Hastanesinde atılan malpoze vidaların pedikül ölçümleri, Zone ve Gertzbein-Robbins Klasifikasyonları……...….52

**Tablo 9.** Heinrich Braun Klinikum Hastanesinde atılan malpoze vidaların Zone ve Gertzbein-Robbins Klasifikasyonları ……...……..53

**Tablo 10.** Pamukkale Üniversitesi Hastanesinde atılan normal ve malpoze vidaların pedikül ölçüm değerleri ve istatistiksel karşılaştırılması…….…….54

**Tablo 11.** Pamukkale Üniversitesi Hastanesinde atılan normal ve malpoze

vidaların uzunluk/kalınlık değerleri ve istatistiksel karşılaştırılması…….…….54

**Tablo 12.** Pamukkale Üniversitesi Hastanesinde normal ve malpoze vidaların Gerztbein-Robbins Klasifikasyonuna göre istatistiksel karşılaştırılması……...…...55

**Tablo 13.** Heinrich Braun Klinikum Hastanesinde normal ve malpoze vidaların Gerztbein-Robbins Klasifikasyonuna göre istatistiksel karşılaştırılması……...…...55

# ÖZET

**AMAÇ:** Bu çalışmada, C2 vertebra için uygulanan serbest el tekniği ile pedikül vida uygulamasının navigasyon yardımlı teknikler ile malpozisyon açısından karşılaştırılması ve başarı oranının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

**MATERYAL VE METOD:** Bu çalışmada 2010 - 2020 yılları arasında Pamukkale Üniversitesi (PAÜ) Hastanesi Beyin ve Sinir Cerrahisi Kliniğinde çeşitli nedenler üst servikal stabilizayon uygulanmış ve bu amaçla C2 transpediküler serbest el (freehand) tekniği ile vidalama yapılmış hastaları; yaş, cinsiyet, ameliyat nedeni, şikayet, nörolojik defisit, pedikül uzunluk, kalınlık, kraniokaudal-medial açılanmaları, komplikasyon, vida malpozisyonu ve revizyon cerrahisi açısından incelendi ve 2011 - 2019 yılları arasında Heinrich Braun Klinikum (HBK) Beyin ve Sinir Cerrahisi Kliniğinde navigasyon yardımlı C2 transpediküler vidalama yapılmış hastalar yaş, cinsiyet, ameliyat nedeni, şikayet, nörolojik defisit, komplikasyon, vida malpozisyonu ve revizyon cerrahisi açısından retrospektif olarak analiz edilerek karşılaştırma yapıldı. Hastaların retrospektif analizi için PAÜ Probel Hasta Bilgi Sistemindeki ve HBK CompuGroup Medical MEDICO bilgi sistemindeki hasta kayıtları kullanıldı. Hastaların pedikül ölçümleri Rongming ve arkadaşlarının yazısı referans alınarak ince kesit aksiyel, koronal ve sagittal plan pre-post operatif servikal bilgisayarlı tomografi kullanılarak yapıldı [1]. Malpoze olan vidaların değerlendirilmesi amacıyla Zone ve Gerztbein Robbins Klasifikasyonları kullanılarak değerlendirildi.

**BULGULAR:** PAÜ kliniğinde 24 hastaya 45 vida C2 serbest el (freehand) tekniği ile, HBK kliniğinde ise 76 hastaya 152 vida navigasyon yardımı ile C2 transpediküler vidalama yapıldı. PAÜ kliniğindeki hastaların 18'i (%75) kadın, 6'sı (%25) erkekti. Yaş ortalaması 46,29±22,14 olarak bulundu. HBK kliniğinde incelenen 76 hastanın yaş ortalamaları ise 75,37±16,15 olarak bulunurken, bu hastaların 46'sı (%60,52) kadın, 30'u (%39,48) erkekti. PAÜ kliniğinde opere edilen 24 hastanın 13'ü (%56,5) travma nedeniyle opere edilirken, HBK kliniğinde ise 76 hastanın hepsinin travma nedeniyle opere edildiği görüldü. PAÜ kliniğinde opere edilen 24 hastanın 8'inde (%33,3) nörolojik deifisit saptanırken, HBK kliniğinde opere edilen 76 hastanın 11'inde (%14,5) nörolojik defisit saptandı. Postoperatif dönemde ise her iki klinik ve teknikte de preoperatif nörolojik duruma ek nörolojik defisit tespit edilmedi. Serbest el tekniği ile atılan 45 transpediküler vidanın 6'sının (%13,3) malpoze, bunları 2'sinin

(%4,4) mediale, 4'ünün (%8,9) laterale malpoze olduğu görüldü. Navigasyon yardımlı atılan 152 vidanın ise 19'unun (%12,5) laterale malpoze olduğu görüldü. Her iki teknikle atılan vidaların Zone yerleşimleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p:0,028). Her iki teknikle atılan malpoze vidalar nedeniyle nörolojik veya vasküler yaralanma tespit edilmedi. Hiçbir malpoze vida klinik oluşturmadığı için her iki teknikte de revizyon cerrahisi planlanmadı. HBK kliniğinde opere edilen 5 hastada yara yeri revizyonu cerrahisi yapıldı. PAÜ kliniğinde serbest el tekniği ile atılan vidaların normal ve malpoze vidaların pedikül ölçümleri değerlendirildiğinde; pedikül kalınlığı, uzunluğu, medial ve kraniokaudal açılanma açısından istatistiksel açıdan anlamlı bulunmaıştır. Ancak pedikül yüksekliği normal ve malpoze vidalar karşılaşıtırıldığında istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur (p:0,010). Ayrıca serbest el tekniği ile atılan 45 vida uzunluk ve kalınlık açısından incelenmiş; normal ve malpoze vidalar vida uzunluk ve kalınlıkları açısından istatistiksel açıdan anlamlı bulunmamıştır (p:0,302; p:0,618). Hem serbest el tekniği hem de navigasyon yardımlı teknikle atılan normal ve malpoze vidaların Gerztbein-Robbins kalsifikasyonuna göre analiz edildiğinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p<0,001).

**SONUÇ:** Günümüzde KVB ve üst servikal bölgenin çeşitli nedenlerle gelişen instabilite durumlarında uygulanan stabilizasyon ve füzyon tekniklerinde C2 vertebra hem anatomik yapısı hem de komşu nörovasküler yapıları nedeniyle önemli bir yere sahiptir. Literatürde artan teknolojik imkanlar sayesinde C2 vertebraya uygulanmakta olan birçok cerrahi teknik mevcut olup bu çalışmamızda; C2 pedikül vidalama serbest el tekniği navigasyon yardımlı teknik ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Teknolojik gelişmeler sayesinde C2 pedikül vidalaması navigasyon yardımlı, intraoperatif 3 boyutlu BT, 3 boyutlu yazıcılar kullanılarak yapılabilmektedir. Bu teknolojik sistemler sayesinde nörovasküler yaralanma riski en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Ancak bu teknolojik sistemlerin maliyetli olması ve her klinikte bulunmaması nedeniyle farklı teknik çalışmalara imkân sağlamıştır. Serbest el tekniği de bu uygulamalardan bir tanesidir. Preoperatif ince kesit servikal BT çekilerek; pedikül kalınlık, uzunluk, medial ve kraniokaudal açılar ile vertebral arter yerleşimi iyi analiz edilmelidir. Cerrahi sırasında anatomik yapıların iyi ortaya konulması preoperatif analiz edilen pedikül yapısına uygun vidalama yapılması bu tekniğin uygulanması açısından önemlidir. Yapmış olduğumuz serbest el tekniği C2 pedikül vidalama uygulamalarında navigasyon yardımlı teknik ve literatürle uyumlu sonuçlar

olması bu tekniğin uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Preoperatif çekilen ince kesit 3 boyutlu servikal BT görüntülemesinin analizi, iyi anatomik bilgi, cerrahi ekspojur ve deneyim sayesinde serbest el tekniği ile uygulanan C2 pedikül vidalarında minimal malpozisyon ve nörovasküler yaralanma sayesinde teknolojik imkanların kısıtlı olduğu kliniklerde uygulanabileceği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** C2 vertebra, transpediküler vidalama, serbest el tekniği.

## ABSTRACT

**OBJECTIVE:** In this study, it is aimed to compare the free hand technique pedicle screw and navigation assisted techniques in terms of malposition and to determine the success rate.

**MATERİALS and METHODS:** In this study, patients who underwent upper cervical stabilization for various reasons and screwed with C2 transpedicular freehand technique in Pamukkale University (PAU) Hospital Neurosurgery Department between 2010-2020; age, gender, cause of surgery, complaints, neurological deficits, pedicle length, thickness, craniocaudal-medial angulations, complications, screw malposition, and revision surgery; and Between 2011 and 2019, patients who underwent navigation-assisted C2 transpedicular screwing in the Heinrich Braun Klinikum (HBK) Neurosurgery Departmen were analyzed retrospectively in terms of age, gender, cause of surgery, complaint, neurological deficit, complication, screw malposition and revision surgery, and compared with patients in PAU. For the retrospective analysis of the patients, the patient records in the PAU Probel Patient Information System and the HBK CompuGroup Medical MEDICO information system were used. Pedicle measurements of the patients were performed using thin section axial, coronal and sagittal plan pre-post operative cervical computed tomography [1]. Zone and Gerztbein Robbins Classifications were used to evaluate the malposed screws.

**RESULTS:** In the PAU, 24 patients received a 45-screw C2 free-hand technique, and 76 patients in HBK had C2 transpedicular screwing with 152 screws using navigation. 18 (75%) of the patients in the PAU were female and 6 (25%) were male. The average age was found as 46.29 ± 22.14. The mean age of 76 patients examined in the HBK was 75.37 ± 16.15, while 46 (60.52%) of these patients were female and 30 (39.48%) were male. While 13 (56.5%) of 24 patients who were operated in the PAU were operated due to trauma, it was observed that all 76 patients were operated due to trauma in HBK. Neurological deficits were detected in 8 (33.3%) of 24 patients who were operated in the PAU clinic, while neurological deficits were found in 11 (14.5%) of 76 patients operated in HBK. In the postoperative period, no neurological deficit was found in addition to the preoperative neurological condition in both clinical and techniques. It was observed that 6 (13.3%) of the 45 transpedicular screws thrown with free hand technique were malposed, 2 (4.4%) of them were medially malposed,

and 4 (8.9%) were laterally malposed. It was seen that 19 (12.5%) of the 152 screws that were thrown with navigation were laterally malposed. Zone locations of the screws inserted with both techniques were found to be statistically significant (p: 0.028). Neurological and vascular injuries were not detected due to malposed screws thrown with either technique. No revision surgery was planned for either technique, as no malposed screw created complications. Wound revision surgery was performed in 5 patients who were operated in the HBK. When pedicle measurements of normal and malposed screws were evaluated in the PAU; It was found to be statistically significant in terms of pedicle thickness, length, medial and craniocaudal angulation. However, pedicle height was found to be statistically significant when normal and malposed screws were compared (p: 0.010). In addition, 45 screws thrown with free hand technique were examined in terms of length and thickness; normal and malposed screws were not found to be statistically significant in terms of screw length and thickness (p: 0.302; p: 0.618). When analyzed according to Gerztbein-Robbins calcification, the normal and malposed screws that were thrown with both free-hand technique and navigation-assisted technique were statistically significant ($p < 0.001$).

**CONCLUSİON:** In conclusion, the C2 vertebra has an important place in stabilization and fusion techniques applied in cases of instability of the CVJ and upper cervical region due to various reasons, both due to its anatomical structure and neighboring neurovascular structures. Thanks to the increasing technological possibilities in the literature, there are many surgical techniques applied to the C2 vertebra. In this study; The C2 pedicle screwing free-hand technique was compared with the navigation-assisted technique. Thanks to technological developments, C2 pedicle screwing can be performed using navigation-assisted, intraoperative 3D CT, 3D printers. With these technological systems, it is aimed to minimize the risk of neurovascular injury. However, since these technological systems are costly and not available in every clinic, they have enabled different technical studies. Free hand technique is one of these applications. By performing preoperative thin-section cervical CT; Pedicle thickness, length, medial and craniocaudal angles, and vertebral artery location should be well analyzed. It is important to reveal anatomical structures well during surgery, and screwing in accordance with the pedicle structure analyzed preoperatively, in terms of the application of this technique. The free-hand technique we have performed in C2 pedicle screwing applications, the results that are compatible

with the navigation-assisted technique and the literature show that this technique is feasible. Thanks to the analysis of preoperative thin-section 3D cervical CT imaging, good anatomical knowledge, surgical exposure and experience, it is thought that C2 pedicle screws applied with free hand technique can be applied in clinics with limited technological possibilities thanks to minimal malposition and neurovascular injury.

**KEYWORDS:** C2 vertebrae, transpedicular screw, free-hand technique

# 1. GİRİŞ ve AMAÇ

Kraniyovertebral bileşke (KVB), oksipital kemik, C1 ve C2 vertebraları, sinovial eklem ve ligamentöz yapıları içeren anatomik bölgedir. Bu bölgede 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 kraniyovertebral bileşke instabilitesinde bası altındaki yapıların dekompresyonu ve füzyonu sağlanmalıdır. Bu bölgenin kompleks anatomisi kraniovertebral füzyonda ciddi zorluklar oluşturmaktadır[2].

Kraniovertebral bileşkede dejeneratif değişikliker, konjenital kusurlar, travmatik nedenler veya maligniteye bağlı olarak gelişen instabilite durumlarında bölgenin önemli anatomik yapılara komşu olması nedeniyle yapılan füzyon işlemlerinde C2 vertebra önemli bir yere sahiptir. Gerek anatomik açıdan sıradışı bir yapıya sahip olması gerekse önemli vasküler ve nöronal yapılara komşu olması bu vertebranın vidalama işlemlerini de önemli kılmaktadır. C2 vertebra üzerinde kullanılan vidalama tekniklerinin füzyon ve komplikasyon açısından değişik sonuçları literatürde araştırılmıştır. Cerrahiye bağlı yıkıcı komplikasyonlardan kaçınmak için üst servikal fiksasyonu sağlamak için çeşitli teknikler sunulmuştur [3]. Bu bölgede C2 vidalama için C2 pedikül, pars, lamina ve transartiküler vidalama teknikleri kullanılmaktadır [2].

Pedikül vidaları, kararlı bir stabilite elde etmek için etkili bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır ve anormal anatominin transartiküler vidaların kullanımını engellediği durumlarda alternatif seçenek olarak düşünülmektedir. Bu teknik, dejeneratif değişikliklere, konjenital kusurlara, travmatik nedenlere veya maligniteye bağlı olarak gelişen instabilite nedenleri için başarıyla kullanılan bir fiksasyon seçeneği sunmaktadır. Pedikül vidaları lomber ve torakal füzyon elde etmede birincil yaklaşım olarak kullanılmıştır ve kanıtlar bu yaklaşımla servikal bölgede füzyon oranlarının transartiküler vidalarla elde edilenlere benzer olduğunu göstermektedir[4,5]. Bununla birlikte, C2 vertebranın benzersiz anatomisi göz önüne alındığında, pedikül vidalarının yerleştirilmesi özellikle zahmetlidir ve teorik olarak vertebral arterlere ve komşu sinir

yapılara zarar verme riski taşımaktadır [6]. Bu yüzden birçok teknik ve teknolojik gelişme ile çalışmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmamızda; C2 pedikül serbest el vidalama tekniğinin uygulama şekli, navigasyon yardımlı teknikler ve literatür ile karşılaştırmalı olarak malpozisyon oranlarının belirlenmesi, minimum malpozisyon için yapılması gereken noktalar literatür eşliğinde tartışılmaktadır.

# 2. GENEL BİLGİLER

## 2.1.ANATOMİ

Servikal vertebral kolon; fleksiyon, ekstansiyon ve rotasyon hareketlerine izin veren 7 adet omurdan oluşur. Servikal bölgede; birinci ve ikinci ve yedinci omurlar diğer omurlardan morfolojik farklılığa sahiptir. [7]

Servikal omur gövdeleri; daha küçük, oval ve transvers yönde daha uzundur ve transvers proseslerinde bir foramen bulunması (foramen transversarium) ile torakal ve lomber vertebralardan ayırt edilebilirler. Bu foramenin içinden 7.vertebra hariç vertebral arter, venöz pleksus ve sempatik pleksus geçer. C7 vertebral transvers foramenden sadece venöz pleksus ve sempatik pleksus geçer.

Corpusun superior yüzeyi transvers yönde konkav olup lateral kenarları yukarıya doğru uzamıştır. Bu uzantılara uncus corporis (processus uncinatus) adı verilmiştir. Processus uncinatus yüksekliği C4-C5 seviyesinde 5,8 mm iken C6-C7 seviyesinde 8,1 mm'dir. İnferior corpus yüzeyleri ise transvers yönde konvekstir ve lateral yüzeyleri çukur şeklindedir. Processus uncinatus ile vertebral foramenler birbirine yakın komşuluktadır. Bu aralık C2-C3 seviyesinde 0,8 mm iken C4-C5 seviyesinde 1,6 mm'ye kadar artar. [8]

Pedikülleri küçük, laminaları ise uzun ve incedir. Pedikül genişliği C7'den C3'e doğru daralır. Genellikle C4 ve C5'te daha incedir.[9] Processus spinozus'ları C1 ve C7 hariç kısa ve bifid şekildedir. [7]

Servikal omur gövdeleri (C3-C7) ön-arka çapları kaudale doğru giderek artar. C3'te omur gövde çapı 15 mm iken, C7'de bu değer 18 mm'ye kadar artar. Ön-arka çap özellikle anterior servikal diskektomi cerrahisi sırasında önemlidir. C2-C3 aralığında ortalama disk derinliği 17,9 mm, C6-C7 aralığında 20,8 mm'dir. Transvers çapı derinliğe paralel olarak kaudal yöne doğru artar (C3:18 mm, C7:23 mm). Servikal vertebraların yüksekliği kaudal yönde artmakla beraber C6 vertebra yüksekliği C5 vertebra yüksekliğinden daha azdır. C3 vertebra 11,5 mm boyutlarında iken bu değer C5 vertebrada 11 mm, C7'de ise 13 mm civarındadır. [8]

Servikal omur lamina yüksekliği C2'den C4'e doğru azalırken, C4'ten C7 omura doğru artar. Yüksekliği en az olan servikal lamina ortalama 10,4 mm ile C4 vertebradır. Pediküller ise servikal bölgede diğer bölgelere oranla daha kısa ve incedir. C3 bölgesinde pedikül kalınlığı ortalama 5,5 mm boyutlarındadır. Servikal omurlarda pedikül yüksekliği ise ortalama 7 mm civarındadır.

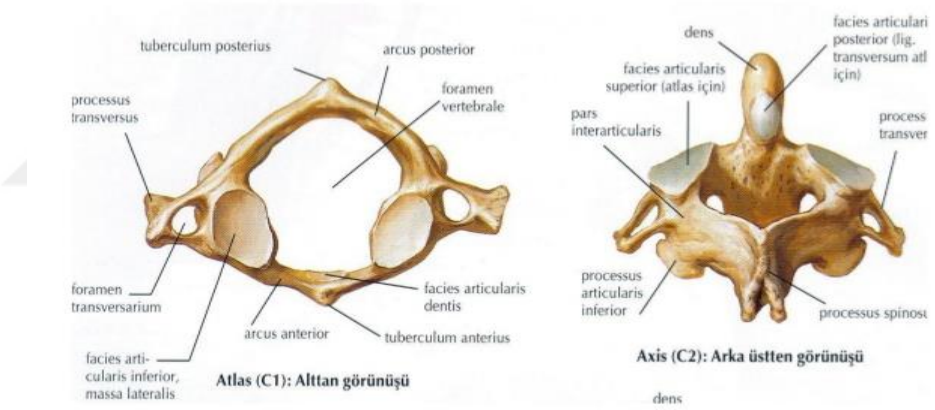
Spinal kanalın servikal bölgede anterior-posterior çapı C1-C3 arasında 21 mm (16-30 mm), C4-C7 arasında 18 mm (14-23 mm)'dir. Ekstansiyon pozisyonunda spinal kanalın çapı 2-3 mm azalır. Omuriliğin anterior-posterior çapı C1 düzeyinde 11 mm, C2-C6 arasında 10 mm, C6 altında ise 7-9 mm'dir. [10]

Servikal verebraların ön yüzünde anterior longitudinal ligamanların ve musculus longus colli yapışma yerleri bulunur. Servikal vertebraların spinöz çıkıntılarına ligamentum nuchae, musculus semispinalis thorasis ve cervicalis, musculus bifidus, musculi spinales ve musculi interspinales gibi derin sırt ekstansör kaslarının yapışma yerleri bulunur. C4, C5 ve C6 vertebraların transvers çıkıntılarının üzerinde önde ve arkada anterior ve posterior tüberkülller bulunur ve bu tüberküllere önde m. skalenus anterior, m. longus capitis, m. longus colli yapışır. C6 vertebranın anterior tüberkülü büyüktür ve bazen a. carotis communis'in vertebral korpusu ile tüberkül arasında sıkışmasına neden olabilir. Bu nedenle C6 seviyesindeki tüberkül, karotid tüberkül olarak isimlendirilir. Arkadaki tüberküle ise m. splenius, m. longissimus, m. iliokostalis cervicis, m. levator skapula, m. skalenus posterior ve medius yapışır. [11]

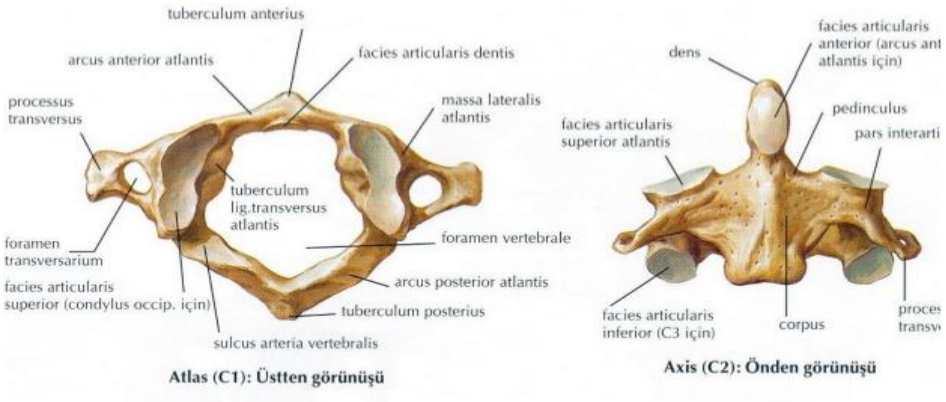
**Birinci servikal vertebra (C1: Atlas)**, gerçek bir korpusu ve spinöz çıkıntısı olmayan halka şeklinde yapıya sahiptir. Her iki yana yerleşen massa lateralis denilen eklem yapıları, halka şeklindeki yapıyı anterior arcus ve posterior arcus olarak ikiye böler. Massa lateralislerin anterolateral yerleşiminden dolayı anterior arcus, posterior arcustan daha kısadır. Massa lateralislerin üst yüzeyi okspital kemiğin kondilleri ile, alt yüzeyi ise Axis'in superior facies articularisi ile eklem yapar. Massa lateralislerin medial kenarlarına transvers ligaman bağlanır. Massa lateralislerin lateralinde yer alan kısa transvers çıkıntılarda vertebral arterin geçtiği vertebral foramenler yer alır. [10] Lateral massların arka yüzünde ve posterior arcusun üzerinde vertebral arterin içinde seyrettiği derin bir oluk vardır. Birinci servikal spinal sinir, bu oluktan vertebral arter ile kemik

arasında seyrederek geçer. C1 vertebral transvers çıkıntıları arasındaki mesafe kadınlarda 65-76 mm iken erkeklerde 74-90 mm arasındadır. Bu mesafe cinsiyet ayrımında kullanılır. [11]

**İkinci servikal vertebra (C2: Axis)**, gövdesi olan ilk servikal vertebradır. Bu gövdeden dens axis (odontoid çıkıntı) adı verilen bir çıkıntı yükselir. Odontoid çıkıntının yüksekliği 1,5 cm'dir. Odontoid çıkıntının ön yüzünde bulunan oval eklem yüzeyi ile Atlas'ın anterior arcusunun posteriorunda bulunan eklem yüzeyi sinovial eklem yapar. Axis'in pedikül yapısı diğer vertebralardan biraz farklıdır. Superior artiküler çıkıntı ile posterior artiküler çıkıntı aynı düzlemde yer almadıkları için (superior artiküler çıkıntı inferior artiküler çıkıntıya göre anterior yerleşimlidir ve neredeyse Axis'in gövdesinden yukarıya doğru yükselir) Axis'in pars interartikülaris kısmı ile pedikül birbirine karışmış durumdadır. Bu yüzden C2 vertebrada pedikülden daha çok, daha uzun olan pars interartikülaris ön plana çıkar. [10]




**Resim 1**. Atlas (C1) alttan, Axis (C2) üstten görünüşü [12]




**Resim 2.** Atlas (C1) üstten, Axis (C2) önden görünüşü [12]

**Yedinci servikal vertebra (C7)**, spinöz çıkıntısı, diğer servikal vertebralardan daha uzun olduğu için vertebra prominens olarak isimlendirilir. [13] Bazı durumlarda torakal 1. vertebranın spinöz çıkıntısı beklenenden uzun olabilir. Bu durumlarda yedinci servikal vertebra ile karıştırılabilir. Yedinci servikal vertebranın transvers çıkıntıları oldukça geniştir ancak lateral kitlesi diğer servikal vertebralara oranla daha sığdır. [11]

## SERVİKAL VERTEBRAL KOLON LİGAMENTLERİ

**1-** Eksternal Kranioservikal Ligamentler

**2-** İnternal Kranioservikal Ligamentler

**3-** Vertebra Ligamentleri

### 1- Eksternal Kranioservikal Ligamentler:

Kraniumu Atlas ve Axis'e bağlayan dış ligamentlerdir. Bu ligamentler kafatası hareketlerinin rahat yapılabilmesi için oldukça gevşek bir şekilde bağlanmışlardır.

**a)** ***Anterior atlanto-oksipital membran:*** Atlas'ın anterior superior kenarı ile foramen magnumun anterior kenarı arasında uzan geniş, kalın, fibroelastik bir membrandır. Anterior atlanto-oksipital membran, orta hatta anterior longitudinal ligamentin seyri ile güçlenir.

**b)** ***Posterior atlanto-oksipital membran:*** Anterior atlanto-oksipital membrana göre geniş ve daha incedir. Atlas'ın arcus posteriorunun üst kenarı ile foramen magnumun arka kenarı arasında uzanır.

**c)** ***Eklem kapsülü:*** Oksipital kemiğin kondilleri ile atlasın superior eklem yüzeylerini çevirir. Eklem kapsülü kafa sallama hareketine izin verecek kadar

gevşektir. Lateral kalınlaşmalara lateral atlanto-oksipital ligament adı verilir. Bu ligament başın aşırı lateral fleksiyonunu kısıtlar.

**d)** ***Anterior longitudinal ligament:*** Kafa tabanından sakruma kadar uzanan bu ligamentin üst kısmı orta hatta anterior atlanto-oksipital membranı güçlendirir.

**e)** ***Ligamentum nuchae:*** Oksipital kemiğin protuberansia oksipitalis eksternusu ile atlasın tuberkulum posterioru ve prosessus spinozus arasında uzanan fibroelastik bir membrandır. Orta hatta septum oluşturarak kaslar için (M.trapezius, farinksin konstriktör kasları) yapışma yeri sağlar. [14]

**2- İnternal Kranioservikal Ligamentler:**

Bu bölümdeki ligamentler, vertebra korpusunun posterior yüzünde yer alır. Kranioservikal bölgenin güçlenmesini sağlarken aşırı hareketlerin yapılmasını da kısıtlar.

**a)** ***Tektorial membran:*** Bu ligament canalis vertebralis içerisinde yer alır. Bu membran posterior longitudinal ligamentin yukarıya doğru devamı şeklindedir. Axis'in korpusunun arka yüzünden, foramen magnumun anterior ve anterolateral kenarlarına uzanır. Yukarıda dura matere karışır. Tektorial membran, bu bölgedeki ligamentleri ve densi örterek medulla spinalis ve medulla oblongata birleşme bölgesinde ilave bir koruyucu olarak görev yapar.

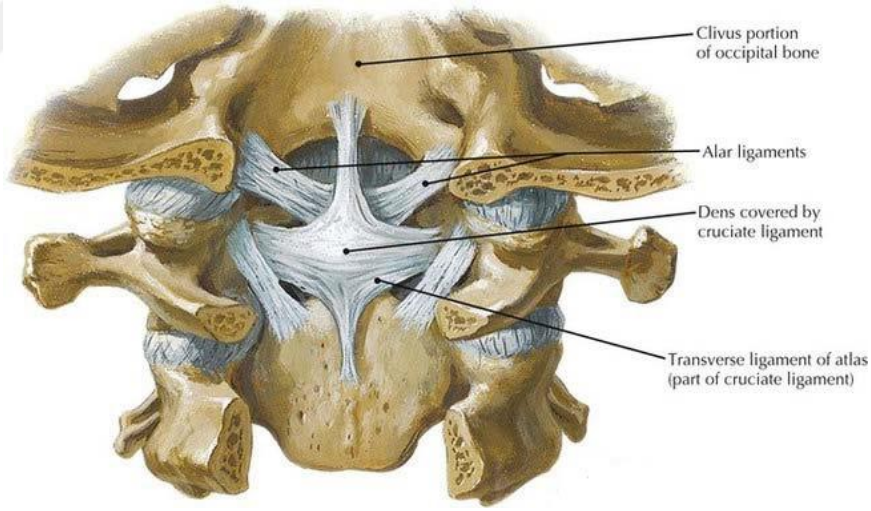
**b)** ***Atlas'ın transvers ligamentleri:*** Bu ligament densin arka yüzünden başlar, transvers bir bant şeklinde atlasın massa lateralislerinin iç yan tarafına yapışır. Densin posterior orta noktasından yukarıya (oksipital kemiğin basiler kısmına, tektoriyal membran ile apikal ligament arasına yapışır) ve aşağıya (axisin korpusunun arka yüzüne yapışır) vertikal olarak uzanan küçük ligamentler vardır. Bunlar superior longitudinal fasikül ve inferior longitudinal fasikül

olarak adlandırılır. Bu transvers ve vertikal bantlara hep birlikte cruciform ligament denir.

**c)** ***Apikal ligament:*** Densin apeksi ile foramen magnumun anterior orta noktası arasında, atlanto-oksipital membran ile crusiform ligamentin superior longitudinal fasikülü arasında uzanır.

**d)** ***Alar ligament:*** Densin superolaterinden yukarı ve laterale uzanır. Oksipital kondillerin medial kenarlarına yapışır. Atlanto-oksipital eklemin aşırı rotasyonunu engeller.

**e)** ***Ligamentum accessorium:*** Densin tabanından, atlasın lateral massına uzanır. Transvers ligamentlerin yapışma yerlerine yakın olarak yer alır. Atlanto-axial eklem aşırı rotasyonunu önler. [14]




**Resim 3.** C1-C2 internal ligamentler [15]

## 3- Vertebra Ligamentleri:

**a)** ***Anterior longitudinal ligament:*** Atlas'ın anterior tüberkülü ile sakrum arasında uzanan, bant şeklinde aşağıya indikçe genişleyen vertebra korpuslarının anterior

kenarına ve intervertebral diske sıkıca yapışan bir ligamenttir. Bu ligament spinal kolonun hiperekstansiyonunu engeller

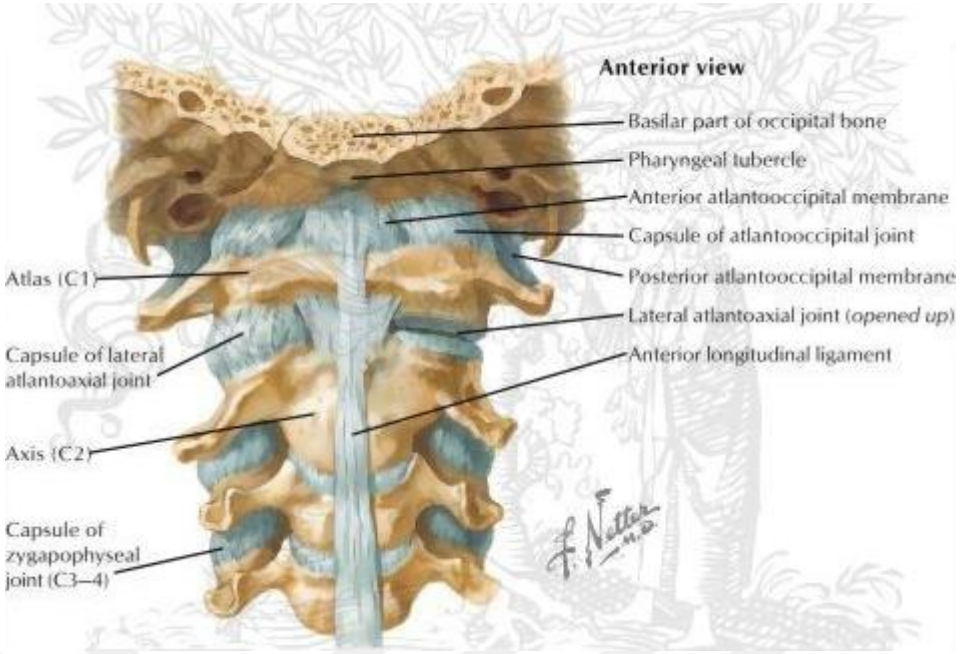
**b)** ***Posterior longitudinal ligament:*** Vertebra korpuslarının arkasında, canalis vertebralis içinde, axis ile sakrum arasında uzanır. Üst kısımda tektoriyal membran ile devam eder posterior longitudinal ligament ile vertebra korpuslarının arka yüzleri arasında bazivertebral venler yer alır. Bu ligament spinal kolonun hiperfleksiyonunu engeller.

**c)** ***Ligamentum flava:*** İki komşu vertebra laminası arasından uzanan ligamenttir. Üstteki vertebra laminasının antero-inferior kenarı ile alttaki vertebra laminasının postero-superior kenarı arasında uzanır. Servikal bölgeden lomber bölgeye inildikçe kalınlık artar.

**d)** ***Supraspinal ligamentler:*** C7 ile sakrum arasında processus spinozusları arasında uzanır. Yukarıda ligamentum nuchae ile devam eder.

**e)** ***İnterspinöz ligamentler:*** Her iki vertebranın processus spinozsları arasında uzanan ligamentlerdir.

**f)** ***İntertransvers ligamentler:*** Komşu iki vertebranın processus transversusları arasında uzanan ligamentlerdir. [14]




**Resim 4.** Servikal vertebral anterior ligamentler [15]

## SERVİKAL VERTEBRAL KOLONUN EKLEMLERİ

**1-** ***Vertebra korpusları arasındaki eklem:*** Vertebra cisimleri arasındaki eklemler symphisis grubu eklemlerdir.

**2-** ***Discus intervertebralis:*** Vertebra cisimlerini birbirine bağlayan yapıdır. Oksipital kemik ile Atlas ve Atlas ile Axis arasında disk bulunmaz. Servikal bölgede ön tarafta kalın, arkada ise daha ince olması nedeniyle servikal lordozun oluşumunu sağlar. İntervertebral disk içte jelatinöz ve mukoid retinakulum içinde protein, su ve mukopolisakkarit içeren nükleus pulposustan, dışta nükleus pulposusu çevreleyen iç içe fibröz liflerle çevrili anulus fibrozisten oluşur. Diskin dış kısmı vaskülerdir ve çevre damarlardan beslenir. Ancak iç kısımları avaskülerdir ve trabeküler kemikten difüzyon yolu ile beslenir. Disk yapıları, vertebraları ani darbelerden korur.

**3-** ***Zygapophysial eklemler:*** Vertebraların artiküler proceslerinin superior ve inferiorları arasındaki eklemdir. Bu ekleme faset eklem de denilir. Hyalin kıkırdak ile kaplıdır. Fleksiyon, ekstansiyon ve rotasyon hareketlerini kontrol eder.

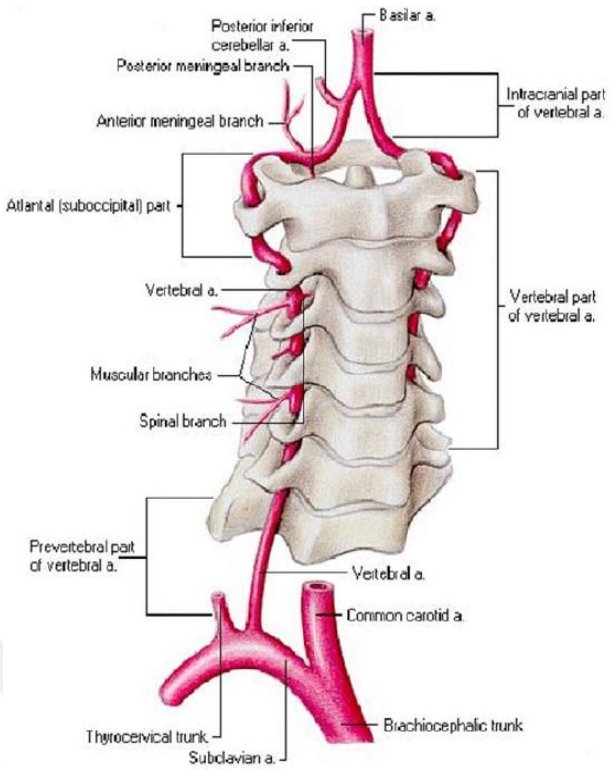
4- ***Atlanto-oksipital eklem:*** Atlas'ın massa lateralisi ile oksipital kemiğin kondilleri arasındaki eklemdir. Kafanın sallama hareketi (fleksiyon, ekstansiyon) bu eklem etrafında gerçekleşir.

5- ***Atlanto-axial eklem:*** 2 adet sinovial eklemden oluşur.

   a. ***Lateral atlanto-axial eklem:*** Atlas ile Axis'in korpusları arasında oluşan planar tipi eklem, atlasın inferior eklem yüzü ile Axis'in superior eklem yüzü arasında oluşan eklemdir.
   b. ***Medial atlanto-axial eklem***: Atlas'ın arcus anterioru ile Axis'in densi arasında oluşan pivot tipi eklemdir.[14]

## VERTEBRAL ARTER ANATOMİSİ

Vertebral arter (VA), kraniovertebral bileşke (KVB) cerrahisinde önemli ve dikkat edilmesi gereken anatomik yapılardan biridir. VA subklavian arterin ilk kısmından kaynaklanır. Longus kolli ve skalen kasları arasından ve carotid arterin arkasından yükselerek C7 vertebra seviyesinde C7 vertebra transvers çıkıntısının, yedinci ve sekizinci servikal sinirlerin önünde seyredip, C6 vertebra transvers foramenine girerek C2'ye kadar transvers foramenler içinde ilerler. C2 transvers forameninden çıkan VA posterior kemik korumasını yitirerek 45$^{o}$ lateral bir seyirle C1'in transvers foramenine girer, postero-mediale dönerek C1 posterior arcus üzerindeki sulcus arteriosus içinde seyreder ve posterior atlantooksipital membranı delerek foramen magnuma girer. VA, C1 vertebra posterior arcus orta hattının yaklaşık 15 mm lateralinde bulunmaktadır. Her iki VA, posterior fossada genellikle klivus alt sınırında birleşerek medulla spinalisin anteromedial fissüründe seyreden anterior spinal arteri oluşturur. VA çapı ortalama 0,92-4,09 mm olup, sol taraftaki vertebral arter genellikle daha geniştir. Bu arter medulla spinalisin 2/3 ön kısmını besler, arka dallar ise 1/3 arka kısmını besler. Posterior ve anterior spinal arterler arasında anastomozlar vardır[12,16–19].




**Resim 5.** Vertebral arter ile servikal vertebraların ilişkisi [20]

## 2.2.SERVİKAL KOLONUN EMBRİYONEL GELİŞİMİ

**Atlas(C1)**: Genellikle 3 merkezden kemikleşir. Bunlardan ikisi intrauterin hayatın 7.ayında massa lateralislerde, üçüncüsü de 1. yaşın sonlarında arcus anteriorda görülür. Doğumda Atlas'ın arka kısmında dar bir kıkırdak saha halindedir. 3-4 yaşlarında Atlas'ın arka kısmı da kaynaşır. Doğumda arcus anterior da kıkırdak halindeyken, 1. yaşın sonlarında kemikleşmeye başlar ve 6-7. yıllarda yan taraflarla kaynaşır. Bazen 3. Merkez bulunmayabilir, bu gibi durumlarda Atlas iki merkezden kemikleşir. [21]

**Axis(C2)**: 5 primer, 2 sekonder merkezden kemikleşir. Gövde ve arcusu, diğer vertebralar gibi iki arcus ve bir de gövdede olmak üzere üç merkezden kemikleşir. Arcustaki merkez intrauterin hayatın 7.-8. Haftalarında, gövdesindeki ise 4.-5. Aylarda görülür. İntrauterin hayatın 6. ayında dens axis için iki merkez bulunur. Dens axisin kaidesinde ve lateralde görülen bu merkezler doğumdan hemen önce, yukarıda derin bir yarık bırakarak birleşirler. Dens axis ile gövde arasında kartilaginöz bir disk bulunur. Bu disk periferden olmak üzere gövde ile kaynaşır. Fakat santral kısmı ileri yaşlara

kadar kıkırdak olarak kalır. Bu kıkırdakta Atlas'ın kaudal ve Axis'in kranial epifizial lamellerinin artıkları bulunur. Dens axisin tepesindeki yarığı dolduran kıkırdak 2 yaşında ayrı bir merkezden kemikleşir ve 12 yaşında diğer bölümü ile kaynaşır. Bu da Atlas'ın kranial epifizial lamelinin artığıdır. Bunlara ilaveten gövdesinin alt yüzünde bir sekonder merkez görülür. [21] Eğer kaynamadan kalırsa, persistan terminal ossikül adı verilir. Bu hastalarda çok hafif görülen yaralanmalarda bile atlantoaksiyel instabilite meydana gelebilir. [22]

Lateral masslar, densten nörosantral sinkondroz ile gövdeden subdental sinkondroz ile ayrılır. Subdental sinkondroz röntgende densi Axis gövdesinden ayıran bir solukluk olarak görünebilir ve kırık olarak yanlış yorumlanabilir. Bu sütürler yaşamın 3. ve 6. Yılları arasında kaynar. [22]

**Vertebra prominens (C7)**: C7 nin transvers çıkıntısının kaburga artığı olan ön parçası, bazen ayrı bir merkezden gelişebilir. İntrauterin hayatın 6. Ayında görülen bu merkez vertebra gövdesi ve transvers çıkıntının arka bölümü ile 5.-6. yıllarda kaynaşır. [21]

## 2.3.SERVİKAL VERTEBRAL KOLON BİYOMEKANİĞİ

### 2.3.1. SERVİKAL BÖLGE BİYOMEKANİĞE İLİŞKİN ANATOMİ

**Üst Servikal Bölge**

Kraniovertebral bileşke (KVB) C0 (oksiput), C1 ve C2 oluşmaktadır. Bu bileşke anatomisi alt servikal yapıdan farklı özelliklere sahiptir. [7] Atlanto-axial eklem spinal kolonun en hareketli ve aynı zamanda en az stabil olan bölümdür. [23] Baş ve vücut arasında büyük oranda hareketlilik sağlar.

C1 lateral mass konkav olan üst yüzeyi ile oksipital kondil arasında eklem oluşturmaktadır. Bu özel konfigürasyon C0-C1 hareket aralığında orta derece fleksiyon ekstansiyon ile yana eğilmeye olanak sağlarken eksenel rotasyona pek izin vermez. C1 lateral massının alt yüzeyi ve C2 faset ekleminin üst yüzeyi konvekstir. Horizontal açısı

olan bu özel bikonveks artikülasyon, C1-C2 hareket segmentinde önemli ölçüde eksenel rotasyon olanağı sağlar. [7]

KVB, biyomekanik açıdan önemli primer ligamentleri transvers ve alar ligamentlerdir. Transvers ligamentler, artı şeklinde olan crusiat ligamentin bir parçasıdır. Bu ligament esnek değildir ve 10 mm çapa sahiptir. Başlıca işlevi densi stabil tutarak bu bölgenin eksenel rotasyonunu kolaylaştırmasıdır. C1-C2 arasında her bir tarafta 40$^{o}$'ye varan eksenel rotasyon, tüm servikal omurgada görülen toplam eksenel rotasyonun yarısıdır. Bu da C1-C2 seviyesindeki eksenel rotasyonun ne denli önemli olduğunu ortaya koyar. Bunun ortaya çıkmasında C1-C2 artikülasyonunun horizontal yönde olmasının da katkısı vardır. Alar ligamentler oksipital kondil, C1 lateral massları ve dens ile bağlantılı olup C2 aşırı rotasyonunu sınırlandırmaktadır. C1 ve kafa tabanı eksenel rotasyon sırasında eş zamanlı olarak hareket eder. Bu nedenle başın rotasyon yönünün tersindeki alar ligament gerilir ve bu şekilde eksenel rotasyon ve lateral fleksiyonu engeller. [7]

KVB'nin; sekonder ligamentleri apikal ligament, tektorial membran, anterior ve posterior atlanto-oksipital membran, kapsüler ligamentler ile ligamentum flavumdur. Posterior longitudinal ligament (PLL) uzantısı olan tektorial membran, fleksiyon ve ekstansiyonu kısıtlar. Anterior atlanto-oksipital membran aşırı ekstansiyona karşı koyar. Posterior atlanto-oksipital membran ise fleksiyonu kısıtlar. Apikal ligamentin biyomekanik herhangi bir etkinliği yoktur.[7]

Servikal omurganın hareket veya kinematiği, sadece pasif stabilize edici sistem olan kemik, disk ve ligamentler dışında kasların oluşturduğu aktif sistemde katkı sağlar. [24] Servikal bölgedeki kasların başlıca görevi baş ve vertebraları hareket ettirme, vertebra kolonunu koruma ve stabilizasyonunu sağlamaktır. Derin kaslar spinöz çıkıntılar ve transvers çıkıntılara tutunurlar ve kısa moment kolları vardır. Daha büyük moment kolları olan sternokleidomastoid, splenius capitus ve splenius cervicis gibi daha yüzeyel kaslar ise kafa kaidesine tutunurlar. Özellikle travma sonucu ligamentöz ve kemiksel yaralanma olduğu zaman, kasların stabilize edici etkisi önem kazanır. Servikal travmada görülen kas spazmı aslında omurgayı korumak üzere aktif stabilize edici sistemin devreye girmesi neticesindedir. Özet olarak, servikal omurga hareketleri kompleks olup,

intervertebral disk, ligament ve kas gibi birçok yapı, multiaksiyal kuvvetlere karşı omurgaya destek sağlar. [7]

### 2.3.2. SERVİKAL OMURGANIN BİYOMEKANİK ÖZELLİKLERİ

***Spinal Hareketlerin Ölçülmesi:*** Spinal biyomekaniği daha iyi anlamak için standart terminoloji ve ölçme-değerlendirme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Spinal hareketi tanımlamak amacıyla üç boyutlu bir koordinat sistemi kullanılmaktadır. Spinal hareketler birbirinden farklı iki hareket tipiyle karakterize edilmekte olup, bunlar: rotasyonlar ve lineer hareketlerdir. Her bir hareket tipi hareketin üç ekseninde (x, y ve z eksenleri) tanımlanmaktadır. Klinik olarak; x eksenindeki rotasyon fleksiyon veya ekstansiyon olarak adlandırılmaktayken, y eksenindeki rotasyon aksiyel rotasyon ve z eksenindeki rotasyon ise yana eğilme (lateral bending) olarak tanımlanmaktadır. [25,26]

Spinal hareketler birçok düzlemde olabilir ve bazı hareketler birbirine eşlik edebilir. Ayrıca hareketler tek bir düzlemde de ortaya çıkabilir. Birleşik hareket eş zamanlı olarak ana harekete sekonder olarak gelişen hareketlere tekabül etmektedir. Örneğin; aksiyel tork C1 ve C2'deki temel aksiyel rotasyonu oluşturmasına rağmen aynı zamanda y ekseninde oluşturduğu hareket ya da kayma aksiyel rotasyona eşlik etmektedir. Bu "coupling" olarak adlandırılmaktadır [26]. Yine benzeri şekilde kraniovertebral bileşkedeki (KVB) koronal düzlem torku oksipitoatlantal segmentte (C0-C1) ve atlantoaksiyal segmentte (C1-C2) lateral eğilme oluşturduğu gibi aynı zamanda önemli derecede aksiyel rotasyon da oluşturmaktadır. Sekonder birleşik hareketler bazen temel hareketten daha küçük olmasına rağmen bazen büyüklük itibariyle aynıdırlar. Duruş, yaralanma, fiksasyon, uygulanan yük, faset eklemlerinin açısı ve diğer faktörler oluşan hareket kombinasyonunu etkileyebilmektedirler [25,27].

***Biyomekanik Fleksibilite Testleri***: KVB'nin biyomekaniğiyle ilgili laboratuvar çalışmalarında esneklik testleri yapılmaktadır. Bu testler bu bölgeye uygulanan kuvvet vektörleri sonucunda ortaya çıkan hareket, elastisite ve deformasyon gibi değişiklikleri incelemektedir [26]. Esneklik testi için spinal segmentlere yük (tork, lineer kuvvetler veya her ikisinin kombinasyonu) uygulanmakta ve sonucta ortaya cıkan spinal hareketler ölçülmektedir. Omurganın farklı seviyelerinden birisi eş zamanlı olarak esneklik testiyle

incelenebilmektedir. Omurgada hareket segmenti iki komşu vertebra ve arasındaki disk ile faset eklemlerini ifade eder. Sonuçlar genellikle alttaki komşu vertebraya göre tek bir vertebranın hareketi olarak rapor edilmektedir. Bu bir hareket segmenti veya temel hareket segmentleri boyunca oluşan hareketin toplamıdır. Yük deformasyonu cevapları örneğin sertlik, esneklik, hareket aralığı (ROM), nötr bölge (NZ) veya laks bölgesi (LZ), elastik veya sert (stiff) bölgeler (SZ) ve rotasyon eksenleri gibi parametreler acısından analiz edilmektedir [25,26,28]. Bütün bu biyomekanik parametrelerin hepsi her bir omurga düzeyinde emsalsiz ve birbirinden farklıdır. Biyomekanik parametrelerdeki değişiklikler spinal instabiliteyi gösterebilir. İn vitro esneklik testinden elde edilen değerler kemik artikülasyonları ve her bir hareket segmenti arasındaki ligamentlerin durumu hakkında önemli bilgi vermektedir [25,26].

***Rotasyonun ekseni:*** Omurgayı çevresinde döndüren eksen, rotasyonun anlık ekseni (RAE) olarak adlandırılmaktadır. Biyomekanik çalışmalara göre RAE fleksiyon ve ekstansiyon sırasında alt vertebranın üst bölümünde, vertebra korpusunun 1/3 arka bölümünde yer alır.

***Hareket yelpazesi:*** Hareket yelpazesi (range of motion) belirli bir düzlemde yapılabilen toplam hareketin miktarıdır. Hareket yelpazesi temelde bir bütün olarak ele alınabildiği gibi, nötral ve elastik olmak üzere iki ayrı zonda da ele alınabilir. Örneğin; boyunda fleksiyon-ekstansiyon yaparken herhangi bir iç direnç olmaksızın yapılabilen hareket nötral zonda yapılan harekettir. Ancak bu zonun ötesinde boyunda ligamentlerin zorlaması ile de ek bir miktar daha hareket yapılabilir. İşte ek olarak yapılabilen bu hareket, elastik zonda yapılmış olur. Nötral ve elastik zonda yapılan hareketin toplamı, hareket yelpazesi veya hareket aralığı dediğimiz kavramı meydana getirir. Servikalde gerek fleksiyon-ekstansiyon düzleminde, gerekse yana eğilme ve eksenel rotasyonda her bir segmentin hareket yelpazesi çalışılmıştır. [7]

***Kraniovertebral bölgede yüklenme ve deformasyon:*** Esneklik testlerinde KVB'ye özgü davranışları gösteren yük ve deformasyon eğrileri oluşmaktadır. Bu eğriler uygulanan yüklenmeleri ve omurgadaki lineer yer değiştirmeyi göstermektedir [26,29,30].

ROM, LZ, SZ, NZ, esneklik ve sertlik yük-deformasyon eğrisinden ölçülebilen önemli parametrelerdir. ROM nötr veya hareket segmentinin istirahat konumu ile fizyolojik hareket limiti arasındaki yer değiştirme olarak tanımlanmaktadır. Nötr konumda minimum eklem stresi oluşur. Nötr durumu korumak için minimum kas aktivitesine ihtiyaç vardır. LZ, ligamentlerin laks olduğu ROM bölümü olup küçük kuvvetler yükün neredeyse 0 olduğu yük deformasyon bölgesinde önemli vertebral kaymalar oluşturmaktadır. NZ, sadece sürtünmesel bir eklem direncini temsil edecek şekilde LZ'nin bir alt bölümüdür. SZ ligamentlerin gerildiği ve sertliği artırarak daha ileri düzeyde hareket direncine yol açtığı ROM'un kenarındaki yük-deformasyon eğrisinin dik olan bölümüdür. Esneklik bir yük birimine yanıt olarak oluşan deformasyon miktarıdır. Bu parametre, omurga hareket segmentinin esnekliği veya gerilebilirliği olarak tanımlanmaktadır. Esneklik bütün ROM boyunca sabit değildir. Esneklik yük deformasyon eğrisinin daha dik olan lineer bölümünden (SZ) ölçülmelidir. Sertlik ise esnekliğin tersidir. Sertlik birim yer değiştirmeye direnç miktarıdır. Kemik yapılar daha serttir. Ligamentler daha esnek olmalarına rağmen gerilen bir ligament daha az sert ve daha fazla esnektir [26,29,30].

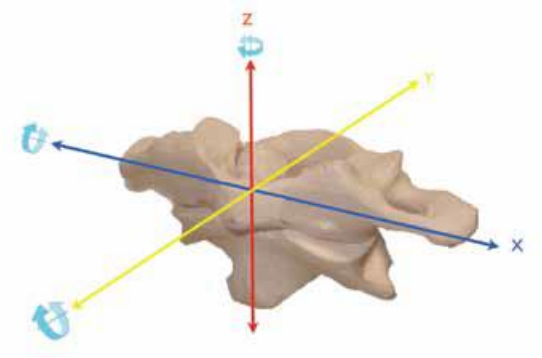
KVB'nin farklı düzeylerdeki hareket özellikleri kafa tabanının ve vertebranın geometrisinden, eklemlerin şeklinden ve ligamentlerin anatomisinden kaynaklanmaktadır. Ne C0- C1 ne de C1-C2 eklemlerinde intervertebral bir disk vardır. Yuvarlak ve soket şeklindeki C0-C1 eklemleri fleksiyona ve ekstensiyona olanak sağlamaktadırlar. Ancak bunlar aksiyel rotasyon ve yana eğilme konusunda oldukça serttirler. C1-C2 eklemlerinin bikonveks (iki yuzeyi de dışbukey) artiküler yüzeyleri dens etrafında C1'in geniş bir şekilde rotasyonuna olanak sağlamaktadır. Bütün omurgada aksiyel rotasyona ilişkin atlantoaksiyal hareket segmenti en esnek hareket bölgesi olup, bilateral ROM'un $80^{o}$ veya daha fazla olmasına olanak sağlamaktadır. Bütün servikal aksiyel rotasyonun yarısından fazlası cerrahların atlantoaksiyal eklemleri birleştirmeye karar veriyorken dikkate almak zorunda oldukları atlantoaksiyal hareket segmentinde oluşmaktadır. Gerek C0-C1 gerekse C1-C2 ortalama tek taraflı olarak $8^{o}$ olan subaksiyal servikal hareket segmentlerine göre daha az lateral eğilmeye olanak sağlamaktadır [25–27,29,31].

***Birleşik Hareket:*** Daha önce belirtildiği üzere birleşik hareket temel bir hareketle eş zamanlı olarak gelişen ikincil hareketleri ifade etmektedir. Birleşik hareketler her

omurga hareket segmentinde ortaya çıkabilir. Birleşik hareketler stabil olmayan bir omurgadan normal omurgayı ayırt etmek için kullanılabilir. Normalde yana eğilme ve aksiyel rotasyon C1-C2 noktalarında daha fazla olmaktadır. Bu yapı C1-C2 artiküler yüzeylerinin eğimli oluşundan kaynaklanmakta olup, bu da bu hareketleri birbirine bağımlı kılmaktadır. Birleşik hareketlerin yönü çoğunlukla bu eklemde oluşan ana hareketin tersinedir [25,26].

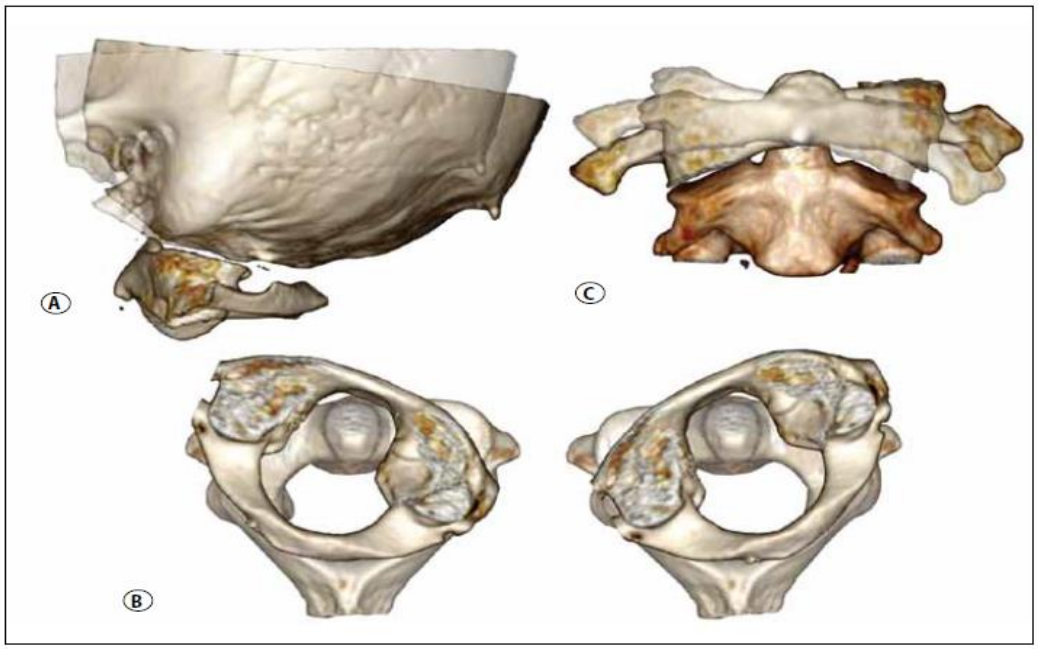
***Rotasyon Eksenleri; Hareketin Helikal Ekseni ve Rotasyon Merkezi:*** Rotasyon merkezi omurganın kinematik davranışını yansıtan önemli bir parametre olup normal omurganın patolojik olan omurgadan ayırt edilmesi için kullanılmaktadır. Rotasyon merkezi terimi sadece tek bir düzlemdeki rotasyon anlamına gelmektedir. Bu terim vertebranın döndüğü hareket düzlemi içerisindeki noktadır. Hareketin helikal ekseni olarak adlandırılan analog rotasyon merkezi üç boyutu ile belirli bir süre içerisinde vertebranın döndüğü alandaki eksen veya hat ölçülmektedir. Eğer vertebranın da aynı zamanda bu eksen etrafında kaymasına olanak sağlanırsa, bu durumda hareketin helikal ekseni komple bir hareket oluşturmaktadır ($6^o$ özgürlük). Herhangi bir yerden vertebranın bir başka yere hareketi, hareketin helikal ekseninin oryantasyonu, rotasyon acısı ve mesafeyi belirlemek suretiyle tanımlanabilmektedir. Rotasyon merkezi hareketin helikal ekseninin kesişimini temsil etmektedir [25,26].

Spinal hareketi tanımlamak amacıyla üç boyutlu bir koordinat sistemi kullanılmaktadır. Spinal hareketler birbirinden farklı iki hareket tipiyle karakterize edilmekte olup, bunlar; rotasyonlar ve lineer hareketlerdir. Her bir hareket tipi hareketin üç ekseninde (x, y ve z eksenleri) tanımlanmaktadır. Resimde (Resim 6) C1- C2 hareket segmentindeki farklı eksenlerdeki lineer ve rotasyon hareketleri oklar ile gösterilmektedir. Omurganın rotasyonel hareketi esnasında instabilitenin değerlendirilmesine yardımcı olabilmektedir. Eğer eklem hareketi başka hareket olmadan bütünüyle rotasyon ile gerçekleşirse bu durumda bütün hareket eksenleri birbirine tekabul edecektir. Ancak eklemde bir ölçüde kayma oluşursa bu durumda noktaların veya hatların dağılımı genişleyecektir. Ayrıca eğer hareketin helikal ekseninin oryantasyon hatları paralelse rotasyon doğrudur. Eğer hareketin helikal ekseninin hat açıları önemli ölçüde değişiklik gösterirse bu durumda eklem patolojik olarak kayıyor demektir [25].




**Resim 6.** C1-C2 hareket segmentindeki farklı eksenlerdeki lineer ve rotasyon hareketleri [7]

***Yaralanma Mekaniği:*** Kraniyovertebral bileşkedeki yaralanmalar önemli kuvvetlerin özetini (ya da bileşimini) temsil eden ve omurgaya uygulanan momentler (torkları) hesap edilerek yaralanmaya yol açan önemli vektör konsepti kullanılarak tanımlanmaktadır. Önemli yaralanma vektörlerine ilişkin spinal anatomi diyagramları ile yaralanmanın mekanizması anlaşılmaktadır. Kraniyovertebral bileşkeye etki eden yaralanma vektörleri çok farklı açılardan ve değişik yönlerden etki edebilir. Bu kompleks vektörler tamamen travmanın yönü ve kuvvetin miktarı ile ilişkilidir.

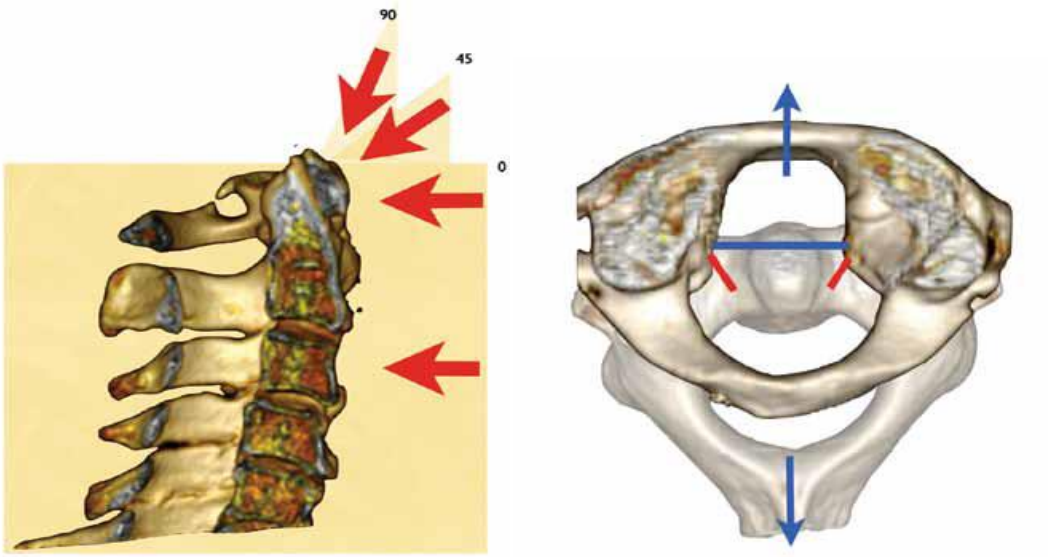



**Resim 7.** Kraniovertebral bileşkede oluşan hareketler: A- C0-C1 eklemi üzerindeki fleksiyon-ekstansiyon hareketleri, B- Dens etrafında C1'in rotasyonu, C- C1-C2 seviyesindeki yana eğilme [7]

### 2.3.3. SPİNAL YARALANMALAR VE HASTALIK NEDENİYLE BİYOMEKANİK PARAMETRELERDEKİ DEĞİŞİKLİKLER

***Alar Ligament Yaralanması***

Bir alar ligamentin bozukluğunda orta seviyede dönme şeklinde bir atlantoaksiyal instabilite ile karşılaşılır. Bu instabilite çoğunlukla NZ'deki bir artış olmak üzere aksiyal rotasyon esnasında C1-C2 ROM'undaki bir artışa sebep olur. Ancak SZ ve esneklik önemli ölçüde değişmemektedir. Alar ligamentler aksiyel rotasyonun sınırlandırılması açısından çok önemlidirler. Deneysel olarak gerçekleştirilen bir atlantoaksiyal hiperrotasyonda kontralateral alar ligament 14 örneğin 4'ünde bütünüyle kesintiye uğramıştır. Alar ligamentin bilateral kesilmesi tek taraflı alar ligament kesilmesine göre daha belirgin C0-C1-C2 hareket değişikliklerine yol açmaktadır. Aksiyel rotasyon esnasında NZ ve ROM, lateral eğilme ve fleksiyon-ekstansiyon önemli ölçüde artmaktadır. Aynı zamanda alar ligamentteki hasar önemli ölçüde birleşim yapılarını etkilemektedir. Fleksiyon ve ekstansiyonla yana eğilme birleşimi alar ligament kesilmesinden sonra artmaktadır. Alar ligamentler temelde fleksiyon ve ekstansiyon esnasında omurgayı stabil kılmak yönünde bir fonksiyon göstermekte ve yana eğilme ve aksiyel rotasyonu sınırlandırmaktadırlar [32,33].




**Resim 8.** Travma sırasında KVB ye etki eden kuvvetler ve Transvers ligamentin bozulma mekanizması ve etki eden kuvvetler [34]

***Transvers Ligament Yaralanması***

Transvers ligament bütün omurgadaki en kalın ve en güçlü ligamenttir. Çoğunlukla dens etrafındaki C1'i sınırlandırmaktadır. C1 ve C2 bölgesine yönlendirilen kuvvet vektörleri transvers ligament ile karşılanmakta ve bu yapı C1-2 arasında güçlü bir stabilizasyon sağlamaktadır. Transvers ligamentin bozulma mekanizması in vitro testlerde analiz edilmiştir [26,35]. Elastik olmayan transvers ligament aşırı kuvvet vektörleriyle aniden bozulabilmekte ve bu da 12 mm'ye kadar anterior C1 subluksasyonlarına yol açmaktadır. C1-C2'deki aksesuar ligamentler nispeten zayıftırlar. Bu özelliğin önemli klinik sonuçları mevcuttur. Transvers ligament katı olması ancak esnek olmaması nedeniyle aniden yırtılabilmektedir. Yırtıldığında transvers ligamenti onarmak mümkün değildir. Ligament yaralanması C1'i önemli ölçüde bozacağı için C1-C2 füzyonu gerekmektedir [26,33].

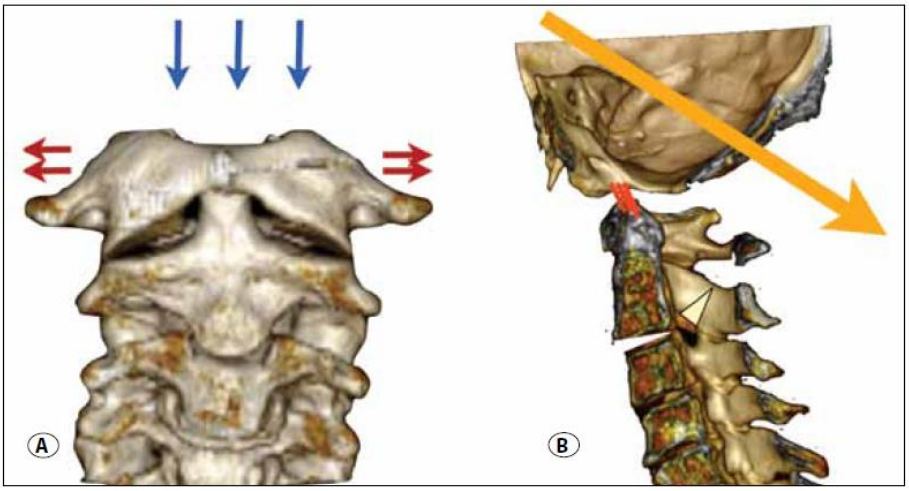
***Kapsüler Ligament Bozulması***

C1-C2 eklemi kapsuler ligamentlerinin bozulması temelde aksiyel rotasyon esnasında ROM'u hafif bir ölçüde arttırmasına rağmen yana eğilme ve fleksiyon veya ekstansiyon üzerinde az bir etkiye sahiptir. ROM'daki artışın çoğu SZ'deki artıştan kaynaklanmaktadır. Kapsüler ligamentlerin yaralanması C1-C2 sublukasyonlarıyla ilgili önemli bir mekanizmadır. Bu ligamentler hiperrotasyonu kısıtlarlar. Deneysel olarak incelenen hiperrotasyonlarda 14 örneğin 14'unde de kesintiye uğramış kapsüler ligamentlerin hiperrotasyona neden oldukları görülmüştür [26,33].

***C1 Kırıklarının Biyomekanik Etkileri***

Atlas kırıklarına yönelik yapılan deneysel laboratuvar çalışmalarında atlas kırığının tipik olarak kompresif yaralanmalardan kaynaklandığı görülmektedir (Şekil 5) [36]. Atlas kırıkları instabilite ile ilişkili olup NZ' de ve ROM'daki fleksiyon, ekstensiyon ve yana eğilme esnasında instabilitenin arttığı görülmektedir. Bu calışmalarda kompresif yaralanmalar fleksiyon ve ekstensiyon esnasında NZ' de %90 oranında bir artışa, fleksiyon ve ekstensiyon esnasında ROM'da %44 oranında bir artışa ve yana eğilme

esnasında NZ' de ve ROM'da %20 oranında bir artışa yol açmıştır [27,36,37]. Atlas kırıklarından sonraki instabilitenin boyutu (ve fiksasyona olan gereksinim) C1 fragmantasyonunun derecesine bağlı bulunmaktadır. Fragmantasyon ve seperasyon fazla ise kemik kaynama ihtimali azalmakta ve fiksasyon ve füzyon gerekli olmaktadır.




**Resim 9.** C1 ve C2 kırıklarındaki kuvvet vektörleri [34]

***Romatoid Artrit***

Patolojik hareket yapıları romatoid artritte instabilite olarak kendini göstermektedir. Baziler invajinasyon ve anterior C1- C2 subluksasyonları klasik yaygın romatoid spinal tutuluma ait patolojik karakteristiklerdir. Hastalık ligamentleri tahrip etmekte, artiküler yüzeyleri aşındırmakta, kemikleri yumuşatmakta ve kraniyovertebral artikulasyonların normal hareketinden sonra bütün bunların hepsi belirgin bir ölçüde değişmekte ve zayıflamaktadır [38]. Romatoid artriti ve anterior atlantoaksiyal veya vertikal subluksasyonu olan hastalara yönelik yapılan in vivo calışmasında lai ve ark. aksiyel rotasyonla yana eğilme birleşik hareket miktarında bir azalış olduğunu görmüşlerdir [37,39]. Romatoid artritli bu hastalardaki C1-C2 aksiyel rotasyonuna yönelik tam rotasyon ROM merkezi ligament ve kemiğin tahribi nedeniyle normal hastalara göre önemli ölçüde farklılık göstermiştir. Rotasyon merkezleri romatoid artritli hastalarda önemli ölçüde dağınıktır [37,38].

***Dikey Sapma Yaralanmaları***

Kafatası-oksiput ile birinci veya ikinci servikal omur arasındaki dikey sapma oksipitoatlantal dislokasyona (OAD), atlantoaksiyal dislokasyona (AAD) veya her ikisine de yol açabilmektedir. Ligament konfigürasyonu hangi yaralanmanın

oluşacağını belirlemektedir. Diğer faktörler apikal ligamentin (OAD), sol-sağ simetrisinin, alar ligamentlerin anatomik yapılarının güçlü veya zayıf olup olmaması ile ilgilidir [32,33].

### 2.3.4. İNTERNAL FİKSASYON CİHAZLARININ BİYOMEKANİĞİ

***Odontoid Vidalar***

Stabil tip olmayan ikinci tip veya sığ tip III odontoid kırıklarını tedavi etmek amacıyla odontoid vidalar kullanılmaktadır. Her ne kadar eski tekniklerde C2 gövdesinin arasında yerleştirilen iki vidadan bahsedilse de Sasso ve ark. tek bir vidanın iki vida ile sağlanan mekanik stabiliteye eşdeğer bir stabilite sağladığını göstermişlerdir [40]. Ayrıca yine önemli olan bir diğer hususta ne tek ne de iki vida ile fiksasyon tekniklerinin densleri normal gücüne getirmemiş olmasıdır. Fikse edilen unsurların gücü el sürülmemiş olan odontoidin orijinal gücünün yarısıdır. Yapılan bir çalışmada, fikse edilen numunelerin ekstansiyon esnasında nispeten erken bir süre içerisinde yeniden bozulabildiği kanıtlanmıştır [37]. Odontoid vidalar bu yapının tam gücünü derhal sağlamamaktadır. Daimî stabilite ancak kemik kırığı tatmin edici bir şekilde iyileşerek füzyon olduktan sonra oluşmaktadır. Bu nedenle kemik iyileşirken omurga üzerindeki stresi azaltabilmek amacıyla servikal ortez kullanmak gerekir.

***C1-C2 Fiksasyonu***

Posterior C1-2 kemik fiksasyonu titanyum tel veya rodlar kullanılarak yapılır ve C1-C2'nin hareketsiz kılınmasına yönelik metotlardan biridir. Biyomekanik olarak rod ile yapılan kemik fiksasyon teknikleri C1 ile C2 halkası arasına girildiğinde daha kalıcı olmaktadır [24,41,42]. Fiksasyondan hemen sonra rod teknikleri C1-C2'yi bütün yönlere yönelik hareket itibariyle sadece %20 ile %50 arasında kontrol etmeyi başarabilmektedir [26]. Normal postoperatif aşınmadan sonra birkaç hafta boyunca yorgunlukla birlikte C1-C2 telle fiksasyonu gevşeyebilmekte ve daha esnek bir hale gelebilmektedir. Posteriordan yapılan fiksasyonlar C1-C2'yi örneğin odontoidektomi, odontoid kırık veya atlantoaksiyal ligament kesilmesi gibi yaralanmalardan sonra yeterli oranda stabilleyebilmektedirler. Ancak C1-C2 kablolarla fikse edildikten sonra bazı

takviye niteliğindeki fiksasyon unsurlarına (örneğin halo kelepçe veya vida fiksasyonu) gereksinim duyulabilmektedir [37].

Atlantoaksiyal transartikuler vidalar geniş ölçüde C1-C2'nin fikse edilmesine yönelik en stabil metodlardan birisi olarak düşünülmektedir. Bu vidalar dikey olarak atlantoaksiyal eklemlere yerleştirilmekte ve böylece bütün yönlerde rotasyonu engelleyen bir fiksasyon sağlamaktadırlar. Üç düzlemin içerisinde transartikuler vidalar fleksiyon-ekstansiyona direnç gösterme açısından en zayıf olanlarıdır. Bu sınırlamanın sebebi C1-C2 artikülasyonlarında sagittal düzlem merkezinin yanındaki vidaların yüklenme nedeniyle gevşeyebilme ya da kırılabilmeleridir. C1-2 transartikuler vidalara rod eklenmesi önemli ölçüde yapının fleksiyona-ekstansiyona karşı olan direncini arttırmış bulunmaktadır. Rijit-sert fiksasyon özellikle C1-C2'deki füzyon oranını maksimum seviyeye çıkarabilmektedir. Bunun nedeni ise bu eklemle ilgili son derece geniş ölçüdeki kayma ve rotasyonel hareketlerin kısıtlanmasıdır [43].

Her ne kadar hareketin elimine edilmesi konusunda etkin olsa da transartikuler vida fiksasyonu vertebral arterler nedeniyle her zaman için uygun değildir. C1-C2 vida fiksasyonunun in vitro olarak gerçekleştirilmesine yönelik tasarlanan ve test edilen diğer metodlar aynı zamanda kablolu unsurlarla birlikte kullanılabilmekte olup buna örnek olarak C1 lateral mass/C2 (Harms/Goel tekniği) fiksasyonu veya C1 lateral mass/C2 intralaminar vidalarına fiksasyonu (Wright tekniği) sayılabilir (Şekil 6). Biyomekanik olarak bu teknikler transartikuler vidalar kadar etkin bir şekilde eklemi hareketsiz kılamamaktadır [43,44]. Bunun nedeni ise transartikuler vidalara göre bu vidaların eklemi daha uzak bir posterior noktada bağlamasından kaynaklanmaktadır. Daha uzak noktadaki posterior fiksasyon hem vidaları hem de bu vida tiplerine ait yapı unsurlarının fleksiyon, ekstansiyon ve aksiyel rotasyonda, rotasyon ekseninin aynı tarafında posteriorda kalmalarından ve dolayısıyla biyomekanik olarak daha zayıf kalmalarından kaynaklanmaktadır. Buna karşılık bu transartikuler vida yapısındaki daha büyük uzun unsurlar bütün hareketlere karşı daha iyi bir kaldırma kuvveti sağlamaktadır. Birbirinden farklı unsurlarının in vitro olarak test edilmesi ile diğer C1-C2 tekniklerine göre LZ'yi, SZ'yi ve ROM'u minimum kılma konusunda transartikuler vidaların etkinliği kanıtlanmıştır [24,41,45,46].

***C0-C1 Fiksasyonu***

C1-C2 normalde boyundaki aksiyel rotasyonun %50'sinden daha fazlasını sağladığı için eğer sadece C0-C1'de bir instabilite varsa C1-2'ye de füzyon yapılmasından kaçınılmalıdır. Nitekim Gonzalez ve ark. C1-C2'de hareketten odun vermeksizin C0-C1'in füzyonu için transartikuler vida fiksasyonunun biyomekanik fizibilitesinin olduğunu rapor etmişlerdir [45]. Tıpkı C1-C2 transartikuler vida fiksasyonunda olduğu gibi transartikuler vidaların ekstansiyon-fleksiyon esnasında C0-C1 rotasyon eksenine olan yakınlığı bütün yük modlarına karşı iyi bir direnç sağlayabilmek acısından C0 ila C1 arasında posterior bir kablolu grefti gerektirmektedir. Bu tekniğin bir alternatifi de C1 lateral mass vidalarının rodlar ile oksiput birleştirilerek yerleştirilmesidir. Bu yapı posterior kafatası ile posterior C1 arcusu arasında tel veya bir greftle desteklenebilmektedir. Ekstansiyon ve yana eğilme esnasında bu teknik C0-C1 transartikuler vida fiksasyonuna kıyasla in vitro olarak daha büyük ROM ve LZ sağlamaktadır [37].

***C0-C1-C2 Fiksasyonu***

C0-C1 ve C1-C2 hareket segmentlerini eşzamanlı olarak fikse edebilmek amacıyla çeşitli opsiyonlar mevcuttur (Şekil 7). Hurlbert ve ark. oksipito-atlanto-aksiyal fiksasyon konfigürasyonlarına yönelik olarak dört konfigürasyonu calışmıştır [47]. Donanımların birleştirildiği transartikuler vidaların C1-C2 noktasında subluminer tellerden faydalanılan sistemlere göre hareketi daha fazla kısıtladıkları gösterilmektedir. Yeni multiaksiyel kilitlemeli vida sistemleri bütün yönlerdeki yüklere karşı mükemmel bir direnç sağlamaktadırlar. Dorsal fiksasyon yerine transartikuler vidalar KVB'nin daha merkezi ve güçlü bir fiksasyonunu sağlamak için hem oksipitoatlantal hem de atlantoaksiyal hareket segmentlerine yerleştirilebilmektedirler. Daha önce de belirtildiği üzere fleksiyon ve ekstansiyonun yeterli ölçüde sınırlandırılması için hem C0-C1'de ve hem de C1-C2'de posterior greftin eklenmesi gerekmektedir [47].

| | Fleksiyon | Ekstansiyon | Fleksiyon/ Ekstansiyon | Yana Eğilme | Eksenel Rotasyon |
|---|---|---|---|---|---|
| **C0-C1** | 13 | 13 | 26 | 8 | 0 |
| **C1-C2** | 10 | 9 | 19 | 0 | 47 |
| **C2-C3** | 8 | 3 | 11 | 10 | 9 |
| **C3-C4** | 7 | 9 | 16 | 11 | 11 |
| **C4-C5** | 10 | 8 | 18 | 13 | 12 |
| **C5-C6** | 10 | 11 | 21 | 15 | 10 |
| **C6-C7** | 13 | 5 | 18 | 13 | 12 |
| **C7-T1** | 6 | 4 | 10 | 14 | 8 |
| **Toplam** | 77 | 63 | 140 | 83 | 106 |

**Tablo 1**. Servikal vertebral eklemlerin ROM değerleri

## 2.4. POSTERİOR SERVİKAL STABİLİZASYON CERRAHİ TEKNİKLERİ

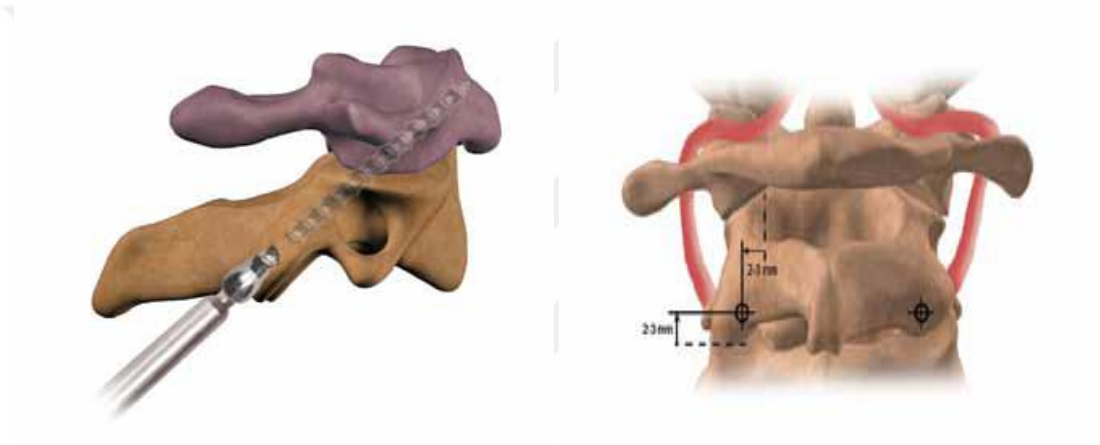
Posterior servikal fiksasyon ve füzyon odontoid kırıkları, os odontoideum, odontoid agenezisi, dejeneratif hastalıklar, bu bölgenin tümör ve enfeksiyonlarının tedavisinde başarılı bir şekilde kullanılmıştır. C1-C2'nin posterior yoldan birbirine bağlanması ilk kez Gallie [48] tanımlamıştır. Bu yöntemle yapılmış birçok retrospektif çalışmada başarılı füzyon oranları verilmiştir[49–55]. Bu serilerde Tip I ve III odontoid kırıklarında posterior telleme ile başarılı füzyon oranları %87-100 arasında gösterilmiştir. Maiman ve Larson [54] füzyonun önde kırık hattında %37 oranında gelişirken posteriorda bu oranın %100 olduğunu belirtmişlerdir. Bu serilerin olgularında ameliyatlarda ortak olarak yapılan posterior telleme ve ameliyat sonrası ise rijid ortoz kullanılmasıdır.

### C1-C2 Transartiküler Fiksasyon

Magerl posteriordan C1-C2 kompleksini transartiküler olarak ilk vidalayan cerrahtır [56]. Daha sonra bu teknik kullanılarak ameliyat edilen olgu serileri sunulmuştur[57–60].

Laminektomi yapılmayan olgularda interlaminar füzyon yapılabilir. Eğer laminektomi yapılması gerekiyorsa laminektomi sınırı duranın bittiği yerde bırakılırsa kalan lamina parçaları arasına da füzyon yapmak yine mümkündür. Bazı cerrahlar odontoid kırığının cerrahi tedavisinde posteriordan yaklaşım anteriordan odontoidin vidalamasıyla kıyaslandığında öncelikle seçilmesi gereken cerrahi yöntem olduğuna inanmaktadırlar [57,60–62].

Magerl tekniğinin [63] rijid stabilizasyon sağlamasına karşın komplikasyon olasılığının yüksek olması ve ciddi cerrahi deneyim gerektirdiği için teknik olarak zor bir ameliyattır.



**Resim 10.** Magerl tekniği sagittal vida doğrultusu ve giriş noktası

**C1-C2 Segmental Fiksasyon**

Bu yöntemde C1 lateral mass ve C2 pedikülüne vidalar yerleştirirlir, kısa rodlar ile birbirilerine bağlanır.

Goel; kranioservikal bölge anomalilerinde C1-C2 ye takoz koyarak aradaki mesafeyi açmış ve C1-C2 yi plakla birlikte tutturmuştur [64]. Ancak bu ameliyat Harms'ın 2001 yılında tekrar gündeme getirmesiyle popüler olmuştur. Harms ve ark. [4] posteriordan C1 lateral mass ve C2 pedikülünden vertebra korpusu içerisine bilateral vidalar göndererek rodlarla birbirine bağlamıştır. Bu teknik uygulanması kolay olduğu gibi biyokmekanik olarak da Magerl tekniğine eşit rijid stabilizasyon sağlamaktadır. Ayrıca ligament yaralanmaları gibi bu bölgede oluşan gevşemlerde Harms tekniği

kullanıldığında yumuşak doku kendini toparladığında uygulanan enstrümantasyonu tamamen çıkarmakta mümkündür.

### C2 Translaminar Vidalama

Diğer bir posterior teknik ise Wright ve ark. Tarafından tanımlanmıştır[65]. Burada C1 lateral mass vidaları Goel-Harms tekniğinde olduğu gibi yerleştirilir. C2 vidaları ise bilateral C2 spinöz çıkıntının dibinden sağ ve sol arkusun başladığı yerden arkusların içine gönderilerek birbirine tutturulur. Ancak biyomekanik olarak diğer tekniklere göre daha zayıf bir sistemdir [66].



**Resim 11.** C2 translaminar vidalama tekniği

### Oksipitoservikal Fiksasyon

Oksipitoservikal bölgede travma, metabolik ve sistemik hastalıklar, konjenital patolojiler, tüberküloz ve diğer piyojenik enfeksiyonlar ve neoplastik hastalıklar instabiliteye neden olurlar [67–73]. Romatoid artrit en fazla literatürde dökümante edilen hastalıktır ve zamanında tedavi edilmezse baziler invaginasyon, C1-C2 instabilite, analjeziklere yanıt vermeyen boyun ağrısı ile nörolojik kayıplara neden olabilir [74].

Romatoid artritte cerrahi tedavi endikasyonu ilerleyen nörolojik defisit, ilerleyen instabilite, myelopati ve tedavi edilemeyen ağrıdır.

Konjenital hastalıklara göz atacak olursak Morquio hastalığı, Marfan sendromu, Down sendromu ciddi ligament gevşemeleri ile seyreden hastalıklar olup üst servikal bölgede instabiliteye neden olurlar. Ayrıca oksipitalizasyonla seyreden os odontoideum ve benzeri patolojiler bu bölgede cerrahiye giden instabilite nedenleridir [67,69–75].

Rikets, osteogenezis imperfekta, Paget ve renal osteomalazi gibi metabolik hastalıklar; baziler invaginasyona neden olarak bu bölgede cerrahi olarak tedavi edilmesi gerekmektedir[76].

Ayrıca daha önce yapılmış ve bir nedenle bozulmuş olan C1-C2 stabilizasyonlarının revizyonunda da stabilizasyon ve füzyonu güçlendirmek amacıyla oksiputu katarak yeniden opere etmek gerekir. [7]

Oksipitoatlantal dislokasyonlar hemen daima travma sonrası görülür. Bu hastalarda beyin sapında meydana gelen distraksiyon sonucu ağır yaralanma ve vertebral arterlerin yaralanmasına bağlı geniş beyin sapı infarktları hastanın kaza anında ölmesine neden olur. Literatürde yaşayarak hastaneye gelen hasta sayısı son derece azdır. Son derece instabil kırıklardır. Bu hastalarda oksipitoservikal füzyon yapılabilir.

Cerrahi Teknik; bu bölgedeki en büyük güçlük vertebraların birbirilerine özel eklem sistemleriyle tutulmuş olması disk mesafesinin olması ve anatominin özelliğinden dolayı subaksiyel omurgada olduğu gibi vertebra cismini kullanmanın olası olmamasıdır. Füzyon yapacak kemik alan yüzeyi servikalde oldukça az olup özellikle laminektomi yapılırsa bu alan daha da daralmaktadır. Öte yandan vertebranın en hareketli bölgesi olup füzyon için bu hareketli bölgenin hareketsiz hale getirilmesi de çok önemli, aynı zamanda zor bir işlemdir. Oksipitoservikal füzyon için beş teknik geliştirilmiştir. Bunlar; in situ yerleştirilen kemik grefti, tel veya kablo ile fiksasyon, metilmetakrilat ve/veya internal fiksasyon, rod ve tel veya rod ve vida ile fiksasyon, plaka ve vida ile fiksasyon. Üst servikal bölgede ilk füzyon cerrahisin Forester [77], 1927 de Juvara ve Dimitriu [78] fibular ve tibial greft kullanarak yapmıştır. Kahn ve Yglesias [79] ise 1935'te ilk kez iliak kemiği otogreft atlantoaksiyel instabilitede kullanmıştır.

1967'de Hamblen[80], Cone ve Turner [81]'ın alt servikal vertebralar için tanımladığı tekniği kullanarak ilk kez oksipital kemiği hem greft olarak kullanıp hem de kullanmayarak telleme yardımıyla stabilizasyona katmıştır.

Bilinen en eski oksipitoserval füzyon tekniği oksipital kemiği ve üst servikal vertebraların lamina ve fasetlerini dekortike ederek buralara kanselöz kemik yerleştirmektir. Ameliyat sonrası hasta 4-6 hafta kadar çorap iskelet traksiyonunda tutulur ve en az 3-6 ay arasında değişen sürelerde Minerva veya Halo cihazına alınıyordu [69]. Newman ve Sweetman [72] 1969 yılında 9 hastalık serilerinin 8'inde bu şekilde füzyon elde etmişlerdir. Ancak, uzun süre Halo immobilizasyonu ve psödoartroz oranının yüksek oluşu nedeniyle bu tür füzyon ameliyatları bugün kullanılmamaktadır.

Grantham ve Dick [82] 1969 yılında var olan telleme tekniğini modifiye ederek oksipital kemikte ve servikal bölgede tellerin geçeceği ufak delikler açarak telleri buradan geçirip dekortike ettikleri oksiput ve servikal vertebraların arka yüzlerine greftleri koyup tellerle tutturmuşlardır. Daha sora bu teknik Wertheim ve Bohlman [83] tarafından modifiye edilmiş olup bugün bile hala kullanılmaktadır.

Bugün için kullanılan iki teknik mevcuttur; birincisi kalvaryal korteksi iki taraflı delerek teli dura üzerinden geçirerek kemik greftleri tutturmak, diğeri ise yalnızca oksipital kemiğin kalın olduğu protuberansın dış korteksinde delik açarak kemik greftleri tutturmak şeklindedir. İkinci teknikte yalnızca dış korteks açıldığı için dura zedelenmesi veya epidural venöz kanama oluşmasına engel olunmaktadır [84]. Bu tekniklerle ameliyattan sonra en az 3 ay Halo ile immobilizasyon, Halo çıkarıldıktan sonra da immobilizasyonun kısmen devamı için 2 ay boyunluk kullanılması gerekmektedir.

Methylmethacrylate tek başına veya diğer internal fiksasyon yöntemleri ile kullanılmıştır. Bryan ve ark [67] bu yöntemle solid füzyon elde ettiklerini bildirmişlerdir. Çabuk bir fiksasyon sağlamakla birlikte daha sonra gevşemesi, tel kırılmaları, yarada açılmalar ve yüksek enfeksiyon oranı nedeniyle mecbur kalmadıkça tercih edilecek bir yöntem değildir.

Luque [85] 1978'de oksipital kısmı yuvarlak olan ve servikal kısmı aşağı düz inen, ama servikal lordoza göre şekil verilebilen bir rodu hem oksiputa hem de servikal bölgeye bu özel kıvrılmış rodun son şeklini verdikten sonra telle tutturmak şeklinde bir teknik tanımlayarak oksipitoservikal stabilizasyona girmiştir. Daha sonra Ransford ve Crockard [86] bu rodu oksipitoservikal bileşkeye anatomik olarak uyacak şekilde yaptırarak kullanmışlardır. Rodun oksipital kısmı kare veya dikdörtgen şeklinde yapılmıştır [73]. Bu tekniğin avantajı daha rijit bir fiksasyon sağlaması, roda gerekli konturu vererek servikal normal postürün elde edilmesi ve belki de en önemlisi bir eksternal ortoza pek ihtiyaç göstermemesidir [67–70].

Cregan [87] 1966'da ilk kez plağı oksipitoservikal füzyonda kullanmıştır. Daha sonra Roy Camille [88] buranın konturuna uygun bir plak kullanmıştır. Sagittal konturu 105º olarak ayarlamış ve servikalde lateral mass için 16-19 mm vida ve kalvaryum için 3,5 mm bikortikal vida kullanılmasını önermiştir. Heywood ile Learmonth [89] 1988'de ilk kez Y plak kullanmışlardır. Y plağı oksiputa tutturduktan sonra sonra Magerl tekniğini kullanarak C2'den C1'i vidalamışlardır. Böylece %73 olan füzyon başarı oranları %94'e ulaşmıştır. Smith ve ark. [90] ile Sasso ve ark.[91] füzyon oranlarını %100 olarak bildirmişleridir. Pait ve ark. [92] içten dışarı doğru (inside-outside) tekniğini tanımlamışlardır. Bu teknikte vida, açılan bir "Burr-Hole" den oksipital kemiğe başı içeride kalacak şekilde yerleştirilir. Vida plak yerleştirildikten sonra dışarıdan sıkılır ve dura zedelenmesi ve enfeksiyon oranları minimuma indirilir.

Subaksiyel vertebrayı oksipital kemiğe fikse eden çeşitli lateral mass vida ve rod sistemleri mevcuttur. Bu sistemler plak sistemlerinde olduğu gibi kolay şekil verilebilir ve yine rijid fiksasyonu sağlayabilirler.

Abumi ve ark [93] oksipitoservikal fiksasyonu sağlayan vida ve rod sistemi tanımlamış ve kullanmışlardır. Bu sistemler yüksek füzyon oranları sağlarken postürü bozulmuş servikal omurga diziliminde düzelme yapma şansı vermektedir. Oksipital kemiğe uzanan servikal plağa göre daha rahat şekil verildiğinden daha kullanışlıdır. Burada önemli nokta oksipital kemiğe yerleştirilen vidaların kemiği sağlam tutması gerekir ve burada kemiğin kalınlığı önemlidir. Bu nedenle inside-outside tekniğin büyük avantajı vardır ve biyomekanik sağlamlığı üst seviyeye çıkarır. Eğer bu teknik kullanılmıyorsa ve ameliyat sırasında konan vidaların oksipital kemiği iyi tutmadığını

düşünüyorsak rod veya plağın dışarıdan telle desteklenmesi biyomekanik sağlamlığı artırır.

## ÜST SERVİKAL OMURGA POSTERİOR ENSTRÜMANLAR

Oksipitoservikal Fiksasyon

Tel sistemleri

Plak sistemleri

C1-C2 Fiksasyon

Gallie telleme

Brooks telleme

Magerl (C1-C2 transartiküler vidalama)

Harms (C1 lateral mass ile C2 pediküler vidalama)

### *1- Oksipitoservikal Bölge*

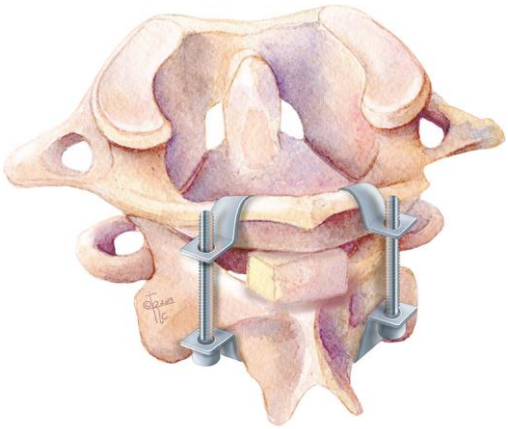
Üst servikal bölge gerek cerrahi anatomi gerekse biyomekanik olarak alt servikal bölgeden farklılıklar gösterir. Oksiput, C1 ve C2 vertebralarının dahil edildiği geçmişten günümüze gelen pek çok füzyon tekniği bu bölgede kullanılmıştır.

Oksipital kemiğin fiksasyonunda orta hat en avantajlı bölgedir. Vidanın tele üstünlüğü olmasına karşın, bazen vida ve tel kombinasyonu gerekebilir. İnside-outside vidalama sıyırmaya karşı oldukça etkin görünmektedir. Ancak işlem daha komplikedir.

***1.1. Oksipitoservikal Tel Tekniği:*** Oksipitalde orta hatta açılan deliklerden geçirilen tel aşağıda spinöz çıkıntı, faset veya laminadan geçirilen diğer teller arasına kemik veya metal implant yerleştirilerek tespit edilir [86,94]. Cerrahi sonrası kemikleşme oluncaya kadar boyunluk önerilir. Sublaminar tel tekniğinin uygulanması sırasında nöral dokuya

hasar verme riski vardır. Ayrıca özellikle romatoid artrit gibi kemik dokusu zayıf olan hastalarda telin kemik dokusunu kesme riski bulunmaktadır.

***1.2.*** ***<u>İnterlaminar Klemp Fiksasyon Tekniği</u>***: Günümüzde fazla tercih edilmeyen bir yöntemdir. İlk olarak 1975'te Halifax klemp tekniği tanımlanmıştır [95]. Daha sonra diğer klemp teknikleri de kullanıma girmiştir. Öncelikle C1-C2 stabilizasyonu için kullanıma başlansa da daha sonraları alt servikal bölge için de kullanım alanı bulmuştur [96,97]. Klemp sistemi posterior atlantoaksiyal subluksasyon ve odontoid kırığı ile birlikte olan posterior subluksasyonda kontrendikedir. Klemp sisteminde rotasyonal dislokasyon ve kullanılan vidaların yerinden çıkması gibi riskler bulunmaktadır. Bu teknikte C1 ve C2'nin laminları subperiostal olarak her iki yanda ortaya konur. İnterlaminar mesafedeki ligamentum flavum alınır. C1 ve C2'nin birbirlerine bakan yüzeyleri dekortike edilir. Buraya trikortikal kemik greft yerleştirilir. Klemp üst ve alt laminaya oturtulduktan sonra vida ile sıkılır. Bu sırada laminalar birbirlerine yaklaşır ve kemik greft sabitlenmiş olur. C1-C2'nin interlaminar klemplenmesi sonrasında kemik füzyon şansı literatürde %80 ve üstünde olarak bildirilmektedir. [96–98]. Halifax klemp ile Gallie ve Brooks füzyonun kadavrada yapılan mukayeseli biyomekanik çalışmasında klempin diğer tekniklere üstünlüğü bulunmamıştır [99,100]. Ancak alt servikal bölge için böyle bir çalışma yoktur.



**Resim 12**. İnterlaminar klemp fiksasyon tekniği

[101]

***1.3.*** ***<u>Luque Fiksasyon Tekniği</u>***: Bu sistem oksipitoservikal instabilite durumlarında kullanılır. Luque aparatına sublaminar veya spinöz teller ile Luque sistemi bağlantıları yapılır. Bu sistem rijit bir fiksasyon yapmakta ve hastalar erken dönemde mobilize

olabilmektedir. Bunun yanı sıra maliyeti de ucuzdur. Dezavantajı ise sisteme el ile açı vermenin güç olmasıdır. [94,102]

## 2. ***Atlantoaksiyal Bölge***

***2.1. C1-C2 Tel Tekniği***: Bu teknik özellikle C2'nin arkaya dislokasyonu olan hallerde tavsiye edilir. Sublaminar tel loop yapacak şekilde kıvrılarak C1'in posterior arkusunun altından geçirilir. Kemik greft daha önceden hazırlanmış olan C1-C2 arasındaki bölgeye yerleştirilir. Telin loop yapan kısmı C2'nin spinöz çıkıntısının altından geçirilir ve serbest iki tel ucu C2 nin spinöz çıkıntısı altında birleştirilir ve tel bükücü ile bükülür. Buraya yerleştirilen kemik greftin trikortikal olması ve üst-alt yüzünün C1-2 yüzeylerine uyum sağlaması için rongeur ile yenmesi gerekir [103].

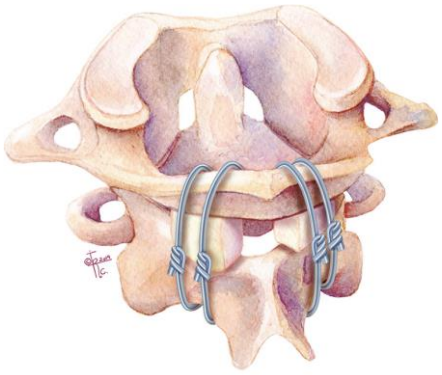
***2.2. Gallie Füzyon Tekniği:*** Bu teknik translasyon ve rotasyonda stabilizasyon açısından diğer C1-2 tel tekniklerine göre daha zayıftır. C1'in arkaya disloke olduğu durumlarda tercih edilmemelidir. Sublaminar tel loop yapacak şekilde kıvrılarak C1'in posterior arcusunun altından ve C2'nin spinöz çıkıntısının altından geçirilir. Unikortikal kemik grefti C1-2 arasındaki dekortike edilmiş bölgeye yerleştirilir. Telin serbest uçları her iki yandan kemik grefti saracak şekilde birleştirip bükülür. Cerrahi sonrası füzyon olunacaya kadar boyunluk önerilir. [23,99,104]



**Resim 13.** Gallie füzyon tekniği [101]

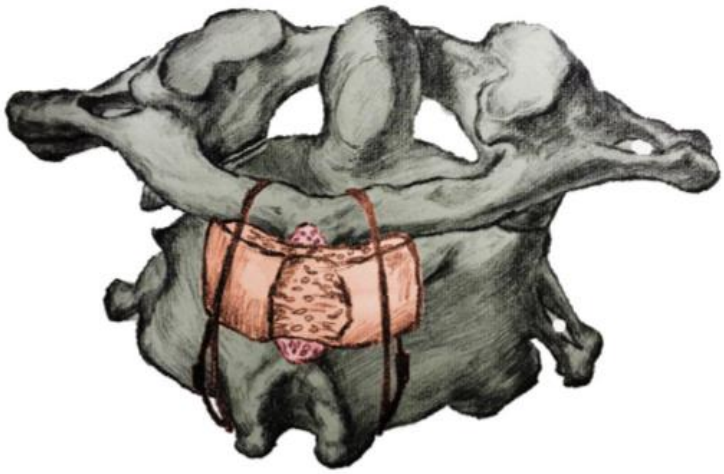
***2.3. Brooks Füzyon Tekniği:*** Bu yöntem Gallie tekniğine göre rotasyonu daha iyi stabilize etmektedir. [23,99,105,106] İki tane loop haline getirilmiş tel sırasıyla C1 ve C2'nin laminalarının altından geçirilir. İki adet üçgen şeklindeki kortikospongioz kemik C1-C2 lamimaları arasına yerleştirilir. Teller ayrı ayrı bağlanıp, bükülür ve kemik tespit

edilir. Ayrıca bu teknik ile füzyon oranının %93'e kadar çıktığı belirtilmiş ve Halo stabilizasyon ile bu oranın yükseltilebileceği ifade edilmektedir [107].



**Resim 14.** Brooks füzyon tekniği [101]

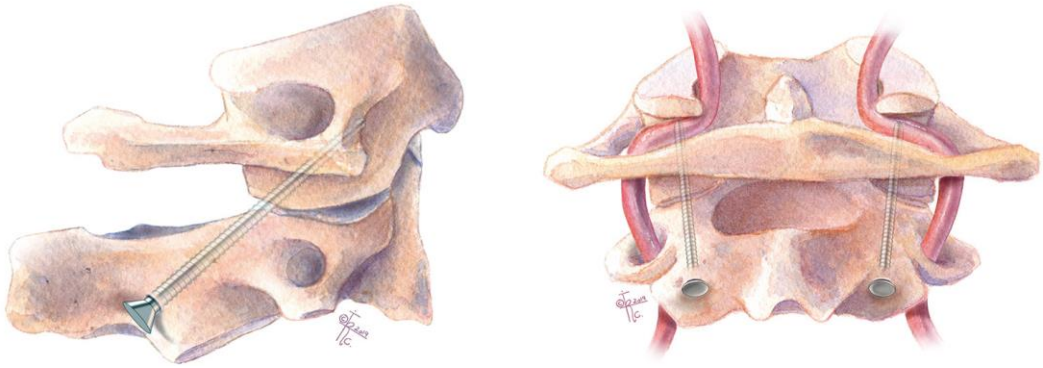
***2.4. <u>Sonntag Tekniği:</u>*** Volker Sonntag 1990'larda Gallie tekniğini modifiye etmiştir. Gallie füzyondan farkı ise rotasyonel stabiliteyi sağlaması ve Brooks tekniğinde kullanılan bilateral sublaminar tel uygulamasından da kaçınılmasıdır. Bu teknikte sublaminar tel C1'in alt yüzeyinden geçirilir ve daha sonra çentik oluşturulmuş kemik greft C2 spinöz çıkıntısı ile C1 posterior arkusunun arasında kalacak şekilde yerleştirilir. Tel daha sonra otogreftten ve C2 spinöz çıkıntısının inferior yüzünde oluşturulmuş oluk içerisinden geçrirlir. Bu şekilde C2 seviyesinde omurilik hasarı önlenmiş olur [108]. Daha sonra tel sıkıştırılır. Sonntag bu sistemle Halo stabilizasyon da kullanıldığı takdirde füzyon oranlarının %97'ye çıktığını belirtmiştir [108,109]



**Resim 15.** Sonntag tekniği [110]

**2.5. *C1-C2 Transartiküler Vida Tekniği (Magerl):*** Bu teknik C1-C2'nin stabilizasyonunun bozulduğu tüm patolojilerde kullanılabilir. İnterfaset vida kullanılması ilk olarak Magerl tarafından 1979'da tanımlanmıştır [63]. Bu teknik ile yüksek kemik füzyon şansı, üç kolon fiksasyonu C1 ve C2'nin normal kemik dokusuna zarar verilmeden sağlanabilmektedir. İnterfaset vida ile üst servikal bölgenin stabilizasyonu, tel ve klemp tekniği ile karşılaştırıldığında biyomekanik olarak özellikle lateral bükülme ve aksiyal rotasyonda üstün bulunmuştur [99,111–113].

Hasta prone veya oturur pozisyonda kafa hafif fleksiyonda iken oksiputtan C4-C5 mesafesine kadar standar posterior servikal yaklaşım uygulanır. C1-C2'nin lamina ve fasetlerinin subperiostal disseksiyonu yapılır. C2-C3'ün fasetinin iç yan kısmının 2-3 mm dış yanından C2'nin inferior fasetine drill ile vidanın giriş deliği hazırlanır. Skopi kontrolünde C1'in anterior arcusuna doğru bilateral olarak hastaya göre değişen uzunlukta (ortalama 35-38 mm) vida konulur. Bu esnada vidanın laterale yönelmesi vertebral arteri, mediale yönemlesi ise dura ve oksipital siniri hasarlayabilir. C1 ve C2 nin laminaları dekortike edilerek kemik greft yerleştirilir. Bazen kemik greft yer değiştirmesin diye C1 ve C2 arasına tel yerleştirilebilir. C1'in arka arcusunun alındığı olgularda C1-C2 eklem aralığı dekortike edilip kemik greft yerleştirilebilir.



**Resim 16.** Magerl tekniği [101]

Tekniğin uygulanması sırasında vertebral arter, dura ve nöral dokuya hasar ve psödoartroz olasılığı düşük de olsa bildirilmiştir [63,100,114]. Yapılan son dönem çalışmalarda transartiküler vida uygulamasına ek olarak telleme yöntemi de kullanıldığında diğer yöntemlere üstün füzyon ve biyomekanik stabilizasyon sağlandığı belirtilmiştir [113].

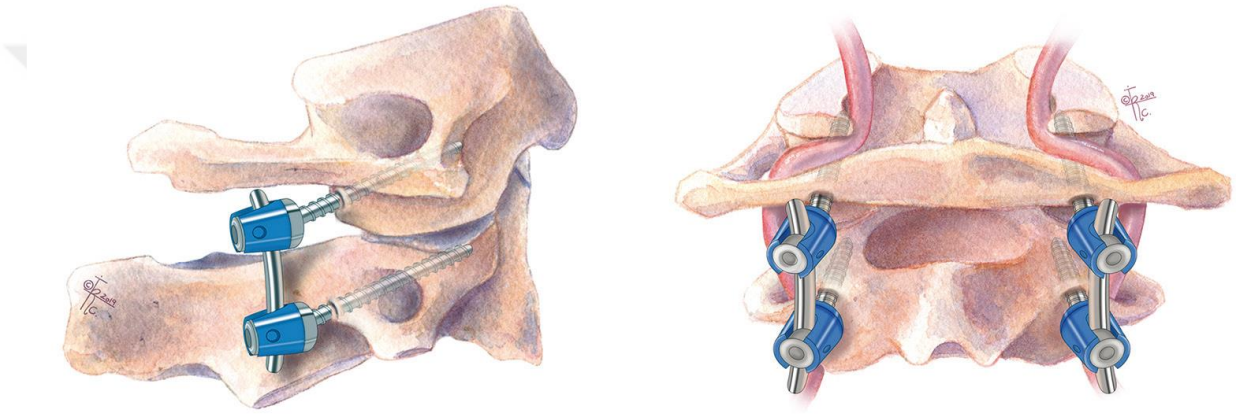
**2.6. *Oksipitoservikal Plak Uygulanması:*** Oksipital kemik ile servikal bölge arasında plak-vida ve kemik greft kullanılarak stabilizasyon sağlanabilir. Hatta prone pozisyonda, C1-C2 eklemi hafif fleksiyonda olacak şekilde, gerekirse servikal bölgenin traksiyonu sağlanarak standart posterior servikal yaklaşım gerçekleştirilir. Oksipital kemiğin protuberansiya eksternası ve alt tarafta istenen servikal bölgeye kadar cerrahi alan uzatılır. C2-C3 faset ekleminin orta hattından drill yardımıyla skopi kontrolünde C1'in lateral massına doğru ilerlenir. Burada amaç C1-2 ekleminden geçilmesidir. Bu işlem sırasında plağın deliği ile drill yapılan yer kontrol edilmelidir. Alt servikal bölgede her bir faset faset eklem yüzüne paralel olacak şekilde ve orta hattan yaklaşık 20-25 derece laterale doğru drill ile vida giriş noktaları belirlenir. Kullanılan vida boyu erişkinlerde genellikle 18-20 mm uzunluğundadır. Plağa boynun fizyolojik lordozu verilmelidir. Oksipital kemikte de orta hatta plağın deliklerine uyacak noktalara vida girişleri hazırlanır. Oksipital kemiğin orta hattı, C1 ve C2'nin laminaları dekortike edilir. Alt servikal bölgede de laminalar veya laminektomi yapılan olgularda lamina faset birleşim noktaları dekortike edilir. Kemik greft oksiput ile C1 ve C2'yi içine alacak şekilde orta hatta ve tek parça halinde yerleştirilir ve plak vidalar ile sabitleştirilir.

Plak vida tekniği, cerrahi sonrası erken dönemde tüm hareket yönlerinde stabilizasyonu sağlaması, nöral hasarın daha az olması ve daha az hareketli segmenti için alması nedeniyle avantajlıdır. Dezavantajı ise plak kırılması, vida çıkmasıdır[99].

Her geçen gün literatürde C1-2 mesafesinde daha rijit ve stabil bir sistemin oluşturulduğu çalışmalar yayınlanmaktadır. Bu teknikler üç nokta stabilizasyon olarak adlandırılır: C1-2 transartiküler vida ve beraberinde C1 kanca, C2 pedikül vidası ve beraberinde C1 kanca kullanımı, C1-2 transartiküler vida ve beraberinde posterior telleme. Transartiküler vida ve telleme tekniğinde mükemmel üç nokta fiksasyonu sağlandığı ifade edilse de [109,115,116], sublaminar tellerin geçildiği sırada omuriliğin yaralanma riski mevcuttur. Bu risk redükte olamayan C1-2 subluksasyon durumlarında ve/veya omurilik kompresyonunda oldukça yüksektir.

**2.7. *Goel-Harms tekniği:*** Goel ve ark. Daha sonradan Harms tarafından popularize edilen ve C1 lateral mass ve C2 pedikül vidasının kullanıldığı bir fiksasyon tekniğidir[4,109]. C1 lateral massı C1 arcusunun inferioru ortada kalacak şekilde açılır. Lateral massın

medial duvarı Penfield dissektör ile bulunur. Bu nokta vidanın yerleştiği noktanın medial sınırıdır. Transvers foramenin medial duvarı ise lateral sınırdır. C1 vidasının giriş noktası ise lateral kitlenin medial sınırının 3-5 mm lateralinde ve hemen C1 arkusunun inferiorunda yer alır. C2 giriş noktası ise faset ekleminin medial ve superior 1/3'ünde yer alır. C2 sinir kökü hasarı veya irritasyonu vida yerleştirilmesi esnasında kökün inferiora itilmesi ile önlenebilir. Bu teknikten sonra Halo vest uygulanmasına gerek kalmamakta ve sağlam C1-2 arka elemanlara ihtiyaç olmamaktadır. Bunun yanında poliaksiyel vida kullanıldığı takdirde sistem kranio-kaudal yönlerde gerektiğinde uzatılabilmektedir[109,117].



**Resim 17.** Harms & Goel teknik: C1 lateral mass, C2 pedikül vidası

101

***2.8. C2 Translaminar Vida Tekniği:*** Faset eklemlerinin total veya parsiyel hasarlandığı durumlarda uygulanabilir.

## *3. Alt Servikal Bölge Posterior Fiksasyon*

***3.1. Rodgers Tel Tekniği:*** Bu teknikte spinöz çıkıntı ile laminaların birleşim yerine drill veya çamaşır klempi ile açılan bir delikten tercihen 18 gauge'lık tel geçirilir. Bu tel, bir alt spinöz çıkıntının altından geçirilerek "8" şekli yapılır ve ortada birleştirilir. İlgili mesafelerin laminar yüzlerine ve faset eklemleri dekortike edilerek kemik greft yerleştirilir[118].

***3.2. <u>Sublaminar Tel Tekniği:</u>*** Sublaminar olarak iki taraflı 20 gauge'lik tellerin geçirilip ilgili laminaların yüzeylerinin dekortike edilmesi ve sonrasında konulan kemik greftin her iki yanda tellerin kendi üzerlerinde sıkılarak sabitlenmesi şeklindedir. Nöral doku hasarı riski yüksek olması yanında boynun ekstansiyonunu kısıtlamamaktadır. Uygulaması basittir ve segmenter stabilizasyon için tercih edilebilir. Laminektomi yapılmış hastalarda ve dar servikal kanalı olanlarda kontrendikedir.

***3.3. <u>Bohlman'ın Üçlü Tel Tekniği:</u>*** Spinöz çıkıntı ve laminaların birleşim yerine açılan bir delikten geçirilen 20 gauge'lik tel, ilgili mesafeleri içine alacak şekilde diğer sağlam spinöz çıkıntıdan geçirilerek kendi üzerinde sıkıştırılır. İlgili lamina yüzeyleri dekortike edilir. En üst ve en alttan geçirilen diğer iki adet tel ise her iki tarafta kemik greften geçirilerek birbirleri ile sıkıştırılarak kemik greft sabitlenmiş olur. İlk olarak 1985'te tanımlanan bu yöntem diğer tel yöntemleri ile karşılaştırıldığında alt servikal bölge için yüksek kemik füzyon şansı sağlamaktadır [119].

***3.4. <u>Dewar Tekniği:</u>*** İlgili mesafelerin en üst ve altındaki spinöz çıkıntı ve laminaların birleşim yerlerinde açılan deliklerden geçirilen Steinmann çivisi, yanlarda kemik greftten de geçirilir. Kemik greft dekortike edilmiş lamina yüzeylerine oturtulduktan sonra çivilerin greft dışında kalan uçlarından geçirilen tel, 8 şeklinde bağlanarak kemik greftin hareket etmesi bir kez daha engellenir. İlk olarak Dewar tarafından 1992'de tanımlanan bu yöntem, az bilinmesine rağmen biyomekanik açıdan Rodger tekniğine üstün bulunmaktadır[120].

***3.5. <u>Faset-Spinöz Çıkıntı Tel Tekniği:</u>*** Faset ile spinöz çıkıntı arasında tek veya çift taraflı tel ile stabilizasyon yapılması mümkündür. Bu yöntemle faset ekleminden geçirilen tel, bir alttaki spinöz çıkıntının altından geçirilerek kendi üzerinde sıkıştırılmaktadır.

***3.6. <u>Faset Tel Tekniği:</u>*** Özellikle laminektomi yapılan olgularda kullanılmaktadır. Faset telleri ve sublaminar ve spinöz çıkıntı tellerine göre daha zayıf olmaktadır. Bunun sebebi ise faset kemiğinin ince olması ve telin kemiği kesme riskinin fazla olmasıdır.

***3.7. <u>Lateral Mass (Yan Kitle) Vida-Rod-Plak Tekniği:</u>*** İlk olarak Roy-Camille tarafından tanımlanmıştır [121]. Bu yöntemin uygulanması kolaydır. Rotasyonel stabiliteyi sağlamadaki üstünlük, lamina ve spinöz çıkıntının varlığının gerekmemesi, nöral doku hasar riskinin düşük olması ve az miktarda kemik greft gerekmesi avantajları arasında sayılabilir. Ancak özellikle osteoporozu olan hastalarda vidanın çıkması ve kifotik deformitenin düzeltilememesi gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

Cerrahi yaklaşım genel anestezi altında hasta prone pozisyondayken, kafa çivili başlıkta sabitlendikten sonra, skopi ile normal servikal kemik dizilimi sağlandıktan sonra standart posterior servikal yaklaşım ile yapılır. Paravertebral kaslar kemiğin lateral mass bölgesine kadar sıyrılır. İlgili mesafenin üst ve alt faset yüzlerinin ortası ve lamina ile lateral mass bölgesinin birleşim yeri ile lateral mass bölgesinin lateral kenarı arasındaki mesafenin ortasına drill ile vida giriş deliği açılır. Vida horizontal düzlemde Roy-Camille tekniğinde $10^{o}$ laterale, ancak bazı tekniklerde (Anderson-Magerl) ise 20-$30^{o}$ laterale doğru yönlendirilir. Vidanın kraniale doğru yönlendirilmesi ise Magerl tarafından vidanın çıkma olasılığını azaltacağı düşüncesi ile önerilmektedir. [122]. Kullanılan vida 3,5 mm çapında, 15-18 mm boyutunda, derin ve sık yivli (self-tapping) tarzdadır. Cerrahi yapılan mesafedeki dislokasyon düzeltildikten sonra bazen fasetler arasına kemik parçaları konulup plak veya rod ile vida iki taraflı olarak sabitlenir. Laminaları olan hastalarda laminalar dekortike edilerek kemik füzyon uygulanabilir.

Yapılan çalışmada diğer teknikler ile karşılaştırıldığında Roy-Camille tekniğinin hasarsızlık sınırının daha dar olduğu, dolayısıyla vertebral arter hasar oranının daha yüksek olduğu bulunmuştur. Heller'in çalışmasında Roy-Camlille tekniğinde daha az kök travmasına rastlanırken, Magerl yönteminde konulan vidanın faset eklem yüzeyini daha az bozduğu bildirilmiştir. Genel olarak tüm yöntemlerde %0-3,6 kök irritasyonu riski mevcuttur [63,107].

Faset dislokasyonu ile vertebra korpusunda kırığı olan veya disk mesafesinde yırtığı olanlarda yukarı ve aşağı segmente doğru stabilizasyonun uzatılması geç dönemde gelişebilecek instabiliteyi önleyecektir. Lateral mass kırığı olduğunda bir üst ve bir alt komşu mesafeye vida uygulanır. Kırık olan yere vida uygulanmaz. Ancak kırık mesafeinin karşı lateral mass bölgesi sağlam ise buraya vida uygulanır.

Lateral mass yönteminde görülebilecek komplikasyonlardan vida çıkması genellikle vidanın çok fazla laterale açılandırıldığı durumlarda ve kemik yoğunluğunun zayıf olduğu hastalarda görülmektedir. Nadiren, plak uygulanan mesafeye komşu segmentte stabilizasyonun bozulması görülebilir. Vertebral arter hasarı nadirdir. Kullanılan vida lateral mass orta noktasında laterale 20-30 derece açılandırıldığında bu komplikasyon pek mümkün değildir. Ayrıca 16 mm lik vidalar artere ulaşmadığından hasar yapma olasılığı da azalmış olur. Lateral mass tekniği ile füzyon şansı %92 civarında bildirilmiştir [123]. Hastaların cerrahi öncesi sagittal kifotik açılanması yaklaşık 19 dereceye kadar düzelebilmektedir. Ancak bu teknik belirgin ön kolon hasarı veya deformitesi olduğu durumlarda kullanılmamalıdır. Ayrıca daha önce lateral mass odaklı cerrahi geçirmiş vakalarda da alternatif yöntemler değerlendirilmelidir [124]. Lateral mass tekniği ile tel tekniklerini karşılaştıran çalışmalar, bu tekniğin biyomekanik üstünlüğünü vurgulamaktadır [125,126]. Lateral mass vidalama tekniğinde en sorunlu seviye C7 seviyesidir. C7 vertebrasının lateral massı diğer mesafelere göre oldukça ince ve daha yayvandır, dolayısıyla vidanın daha lateral ve kraniale doğru açılandırılması gereklidir. Sıklıkla bu mesafeye pedikül vidası uygulanması tercih edilir [124]. Ancak çoğunlukla C7 pedikülü küçüktür ve vidayı oldukça laterale doğru yerleştirmek gerekir ki, stabilizasyona üst torakal segmentin de katıldığı durumlarda ciddi sorun oluşturmaktadır. Bu gibi durumlarda da C7 laminar vida uygulaması denenebilir[127].

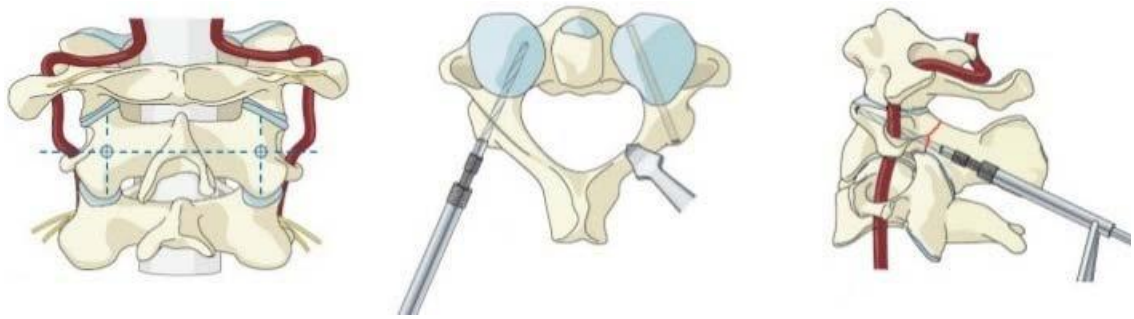
***3.8. <u>Servikal Pedikül Vida Fiksasyon Tekniği:</u>*** Servikal pedikül fiksasyon tekniği, servikal dizilimin sağlanmasında, rijit fiksasyon sağlanmasında ve yüksek füzyon oranı ile sık kullanılan tekniklerden biridir. Biyomekanik çalışmalarda pedikül vidalamasının servikal teknikler arasında en sağlam stabilizasyon sistemi olabileceği ifade edilmiştir[128–130].

Servikal pedikül vida tekniği ilk olarak Abumi ve ark. Tarafından ortaya konulmuştur. Bu tekniğe göre giriş noktası lateral mass orta noktasının superior ve lateral noktası olarak ifade edilir. Skopi eşliğinde ve preoperatif BT (bilgisayarlı tomografi) açı ölçümleri eşliğinde medial ve sagittal açılar verilerek 2 mm pedikül probu ile pedikülün kalkenöz kemik kanamasına ulaşılana kadar ilerlenilir.

Handersan ve ark. Tarif ettiği bir başka yöntemde ise lamina-foraminotomi yapılarak pedikül sınırları görülür ve buna göre vida yerleştirilir[131,132]. Pedikülün görülerek vidanın yerleştirildiği teknikte ise, üst laminanın inferioru ve alt laminanın superioru alınır. Çıkan spinal kök görülür ve pedikülün medial sınırı subperiostal olarak disseke edilir. Üst fasetin dorsomedial köşesi bazı durumlarda pedikülün tam görülebilmesi için tıraşlanmalıdır.

Reinhold ve ark. Tarafından oluşuturulan yeni bir teknikte de anatomik olarak servikal pedikül vidası giriş noktası inferior artiküler çıkıntının lateral 1/3'ünden çizilen vertikal bir çizgi ile lateral vertebral çentik hizasından geçen horizontal çizginin birleşim yeridir [118,133]. Bu giriş noktası her vertebral seviyesi için tekrar hesaplanır. 3 mm'lik drill ile pediküle delik açılır. Sagittal ve medial açılanma içeriye gönderilen yönlendirici prob yardımı ve floroskopi eşliğinde verilir.

Günümüzde; atlantoaksiyal, oksipitoservikal ve subaksiyal fiksasyon için C2 pedikül vidalama önemli bir yere sahiptir. Anında stabilizasyon ve uzun vadeli füzyon sağlaması bir önemi artırmaktadır. C2 vertebranın değişken anatomisine bağlı olarak, cerrahların kemik morfolojisini açıkça tanımlamaları ve uygun vida yörüngesine karar vermeleri için genellikle ameliyat öncesi BT taraması gereklidir. Pedikül çapı ve vertebral arter pozisyonu, pedikül vidası yerleştirmenin mümkün olup olmadığını belirlemek için analiz edilir. Çeşitli çalışmalar, dar pedikül genişliği ve yüksek yerleşimli VA insidansının sırasıyla %22,8 ve %31'e kadar çıktığını göstermektedir. Bu anatomik varyasyonların her ikisi de pedikül vidası yerleştirilmesi ile vertebral arter hasarı riskini önemli ölçüde artırmaktadır. Bu durumlarda pedikül vidalarından kaçınılmalıdır. Ancak uygun hastalarda güvenli bir uygulama olarak literatürde önerilmektedir [134–137]. Ondra ve arkadaşlarının yapmış olduğu 150 C2 pedikül vidalama işleminde 1 vakada VA yaralanması bildirmişlerdir [138]. Bransford ve arkadaşları da benzer şekilde uygulanan 339 vidanın sadece 2'sinde (%0,6) VA yaralanması bildirmişlerdir [134]. Bu uygulamaların hepsinde yüksek hızlı drill kullanımının bu yaralanmaların meydana gelme olasılığı yüksektir. Ancak serbest el tekniğinin taktil geribildirime sahip olması ve kullanılan önemli anatomik işaretler sayesinde nedeniyle cerrahi medial ve lateral sınır yaralanmasını önlenmesi açısından önemlidir [139].



**Resim 18.** C2 transpediküler vida giriş yeri ve aksiyel-sagittal vida doğrultuları [140]

C2 pedikül vidası serbest el tekniğinde giriş noktası C2 laminasının üst kenarı ile C2 pars interarticularis'in orta noktasının kesişimi olarak belirlenir. Daha sonra bu bölge drill ile dekortike edilir. Sonrasında pedikül medial ve lateral sınırları penfield disektör ile ortaya konulur. Genel olarak vida medial ve kranial açılanması 20-30º olarak belirlense de hastanın preoperatif BT değerlendirilmesine göre değişebilmektedir. Bu yüzden pedikül medial kenarının uzanımı vida yönü ve giriş yeri için bir belirteçtir. Daha sonra giriş yerinden vertebral foramene girerek VA yaralanmasına neden olmamak için keskin olmayan medial açılı bir prob ile pedikül içerisindeki spongioz kemik takip edilerek ilerlenir. Prob ilerlemiyor ise kortikal kemiğe geldiği anlaşılmalıdır. Pedikül içerisinde ilerlenirken medial kenar kontrol edilmelidir. Punyarat ve arkadaşları tapping sonrası vidalama yaparken fluoroskopi kullanmadan bu işlemi gerçekleştirmektedir ve nörovasküler bir yaralanma bildirilmemiştir. [139]. Kliniğimizde vida uygulama öncesinde prob görüntüsü fluoroskopi ile kontrol edilmektedir.

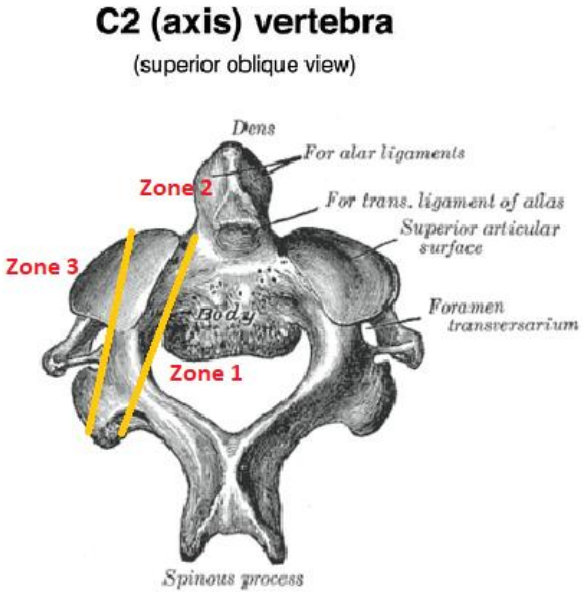
# 3. GEREÇ ve YÖNTEMLER

## 3.1.HASTA BİLGİLERİ

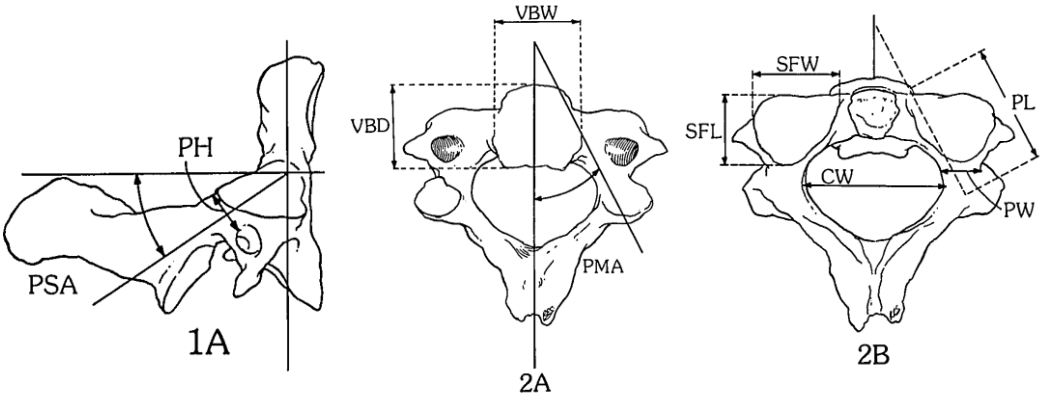
Bu çalışmada 2010 – 2020 yılları arasında Pamukkale Üniversitesi (PAÜ) Hastanesi Beyin ve Sinir Cerrahisi Kliniğinde çeşitli nedenlerle üst servikal stabilizasyon uygulanmış ve bu sırada C2 transpediküler serbest el (freehand) tekniği ile vidalama yapılmış hastaları; yaş, cinsiyet, ameliyat nedeni, şikayet, nörolojik defisit, pedikül uzunluk, kalınlık, kraniokaudal-medial açılanmaları, komplikasyon, vida malpozisyonu ve revizyon cerrahisi açısından inceledik ve 2011 - 2019 yılları arasında Heinrich Braun Klinikum (HBK) Beyin ve Sinir Cerrahisi Kliniğinde Navigasyon yardımlı C2 transpediküler vidalama yapılmış hastalar yaş, cinsiyet, ameliyat nedeni, şikayet, nörolojik defisit, komplikasyon, vida malpozisyonu ve revizyon cerrahisi retrospektif olarak analiz edilerek karşılaştırma yapıldı. Hastaların retrospektif analizi PAÜ Probel Hasta Bilgi sistemindeki ve HBK CompuGroup Medical MEDICO bilgi sistemindeki hasta kayıtları kullanıldı. Hastaların pedikül ölçümleri için Rongming ve arkadaşlarının yazısı referans alınarak ince kesit aksiyel, koronal ve sagittal plan pre-post operatif servikal bilgisayarlı tomografi kullanılarak yapıldı[1]. Malpoze olan vidaların değerlendirilmesi amacıyla Azimi ve ark. 2020 yılında yapmış oldukları literatür taramasında bütün klasifikasyonlar incelenerek Vida Zone Klasifikasyonu oluşturulmuş ve Gerztbein Robbins Klasifikasyonu ile birlikte kullanılarak değerlendirilmiştir [141].

**Tablo 2.** Gerztbein Robbins Klasifikasyonu

| Grade | | Parametre |
|---|---|---|
| **A** | 1 | 0 mm |
| **B** | 2 | 0-2 mm |
| **C** | 3 | 2-4 mm |
| **D** | 4 | 4-6 mm |
| **E** | 5 | >6 mm |




**Resim 19.** Vida Zone Sınıflaması: Zone 1 (Pedikül medialinde kalan alan), Zone 2 (Pedikül sınırları içerisindeki alan), Zone 3 (Pedikül lateralinde kalan alan)




**Resim 20.** C2 vertebra morfolojik ölçümleri [1]

PSA (Pedicule superior angle)= Pedikül kraniokaudal açısı

PMA (Pedikül medial angle)= Pedikül medial açısı

PW (Pedicule width)= Pedikül kalınlığı  PL (Pedicle length)= Pedikül uzunluğu

## 3.2.VERİLERİN İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRİLMESİ

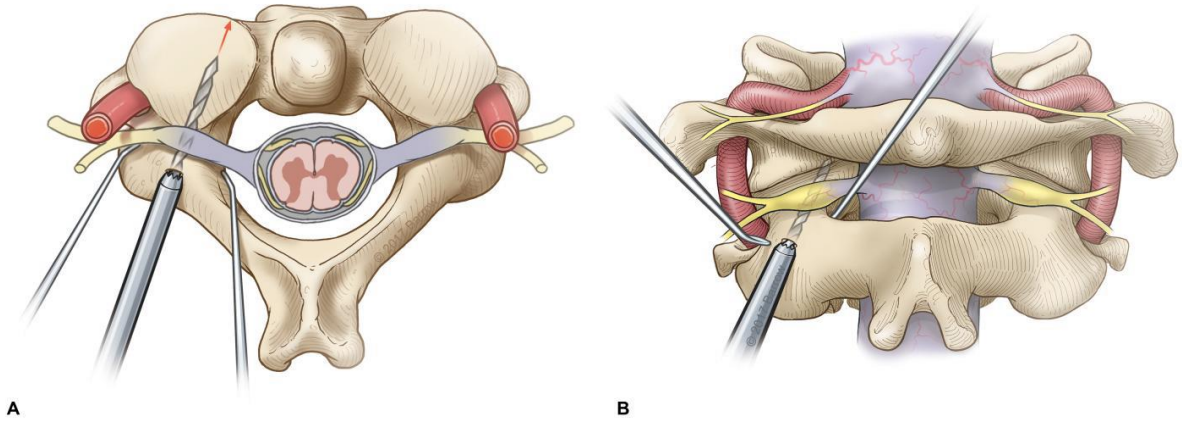
Verilerin değerlendirilmesinde SPSS 17.0 paket programı kullanılacaktır. Tanımlayıcı istatistiklerde; kategorik değişkenler için sayı (n), yüzde (%) hesaplanarak verildi.

Sayısal değişkenlerin normal dağılıma uygunluğu Kolmogorov-Smirnov/Shapiro-Wilk testleri ile incelenecektir. Normal dağılım gösteren sayısal değişkenler için ortalama ($\bar{X}$) ve standart sapma (SS), normal dağılıma uymayan değişkenler için ortanca ve çeyrekler arası fark hesaplanacaktır. Kategorik değişkenlerin karşılaştırılmasında Ki-kare testi kullanılacaktır. Bağımsız grup farklılıklarının karşılaştırılmasında parametrik test varsayımları sağlandığında İki Ortalama Arasındaki Farkın Önemlilik Testi ve Varyans Analizi; Parametrik test varsayımları sağlanmadığında Mann-Whitney U testi kullanılacaktır. İstatistiksel anlamlılık düzeyi (p) <0,05 anlamlı olarak kabul edilecektir.

## 3.3.CERRAHİ TEKNİK

C2 pedikül anatomik olarak inferior artikuler faseti C2 vertebrasına bağlayan dens yapıda kemik kısımdır. Biyomekanik olarak C2 pars ve C2 lamina vidasına gore daha kuvvetli fiksasyon sağlamaktadır [142,143]. C2 pedikül vidası, pedikül medial duvarı 4 numaralı penfield disektör veya kör uçlu bir prob yardımı ile hissedilmesi anatomik oryantasyonunu sağlayarak başlanır. Süperior ve lateral sınırları da ortaya konulduktan sonra giriş noktası pedikül uzanımına göre belirlenir. İlk delici veya 2 mm'lik dril yardımı ile korteks delinir. Daha sonra medial ve kranial açılanmaya uygun şekilde C2 pedikül superior ve medial tarafı hedeflenerek ve önemli anatomik yapılara dikkat edilerek prob yardımı ile ilerlenir. İntraoperatif fluoroskopi ile kontrol edildikten sonra tapping yapılarak vida yatağı hazırlanır ve uygun uzunlukta 3,5 veya 4 mm'lik poliaksiyel vida yerleştirilir ve intraoperatif fluoroskopi ile kontrol sağlanır.

Vida yerleştirme işleminde; vidanın boyunu, çapını, medial ve kraniokaudal açısını belirlemek icin preoperatif görüntüleme yöntemlerinden ince kesitli servikal BT ve anatomik belirteclerden faydalanılmalıdır. Ek olarak preoperatif görüntü değerledirilmesi yapılırken vertebral arter incelenmesi açısından vertebral arter BT anjiografi çekilmesi de vasküler komplikasyonların önlenmesi açısından önemlidir.




**Resim 21.** C2 Transpediküler vidalama: A. Superior B. Posterior [144]

# 4. BULGULAR

Çalışma Pamukkale Üniversitesi Hastanesi Beyin ve Sinir Cerrahisi Ana Bilim dalında çeşitli nedenlerle serbest el tekniği kullanılarak C2 vertebraya transpediküler atılan 45 vida ve Heinrich Braun Klinikum Hastanesi Beyin ve Sinir Cerrahisi Ana Bilim dalında navigasyon yardımlı C2 vertebraya transpediküler atılan 152 vidayı kapsamaktadır.

Hastaların demografik verileri incelendiğinde Pamukkale Üniversitesi Hastanesinde incelenen 24 hastanın yaş ortalamaları 46,29±22,14 olarak bulundu. Hastaların 18'i (%75) kadın, 6'sı (%25) erkekti. Heinrich Braun Klinikum Hastanesinde incelenen 76 hastanın yaş ortalamaları ise 75,37±16,15 olarak bulunurken, bu hastaların 46'sı (%60,52) kadın, 30'u (%39,48) erkekti.

**Tablo 3**. Hastaların yaş ve cinsiyet dağılımları

| | Pamukkale Üniversitesi Serbest El Tekniği | Heinrich Braun Klinikum Navigasyon Yardımlı | p |
|---|---|---|---|
| **Yaş (yıl)** | Ort±SS: 46,29±22,14<br>Min:7, Max:78 | Ort±SS: 75,37±16,15<br>Min:20, Max:99 | **<0,001** |
| **Cinsiyet** | Kadın: 18 (%75)<br>Erkek: 6 (%25) | Kadın: 46 (%60,52)<br>Erkek: 30 (%39,48) | 0,099 |

Hastaların cerrahi nedenleri incelendiğinde, Pamukkale Üniversitesi Hastanesinde 13 (%56,5) hastanın travma, 6 (%26,1) hastanın konjenital anomali, 2 (%8,7) hastanın iyatrojenik, 2 (%8,7) hastanın da romatizmal hastalıklar nedeniyle opere edildiği görülürken; Heinrich Braun Klinikum Hastanesinde ise 76 (%100) hastanın tümümün travma nedeniyle opere edildiği saptandı.

Pamukkale Üniversitesi Hastanesinde 15 (%62,5) hastaya C1-C2 vertebraları arası, 4 (%16,7) hastaya C1-C2-C3 vertebraları arası, 5 (%20,8) hastaya oksiput-C2 vertebraları arası stabilizasyon uygulandığı; Heinrich Braun Klinikum Hastanesinde ise 55 (%72,4) hastaya C1-C2 vertebraları arası, 20 (%26,3) hastaya C1-C2-C3 vertebraları arası, 1 (%1,3) hastaya ise oksiput-C6 arası vertebralara stabilizasyon uygulandığı saptandı.

**Tablo 4.** Pamukkale Üniversitesi ve Heinrich Braun Klinikum hastanelerinde opere edilen hastaların ek özellikleri

| | | Pamukkale Üniversitesi Serbest El Tekniği | Heinrich Braun Klinikum Navigasyon Yardımlı | p |
|---|---|---|---|---|
| **Cerrahi Nedeni** | Travma | 13 (%56,5) | 76 (%100,0) | **<0,001** |
| | İyatrojenik | 2 (%8,7) | 0 (%0,0) | |
| | Romatizmal Hast. | 2 (%8,7) | 0 (%0,0) | |
| | Konjenital Anomali | 6 (%26,1) | 0 (%0,0) | |
| **Cerrahi** | C1-C2 | 15 (%62,5) | 55 (%72,4) | **0,001** |
| | C1-C2-C3 | 4 (%16,7) | 20 (%26,3) | |
| | Oksiput-C2 | 5 (%20,8) | 0 (%0) | |
| | Oksiput-C6 | 0 (%0) | 1 (%1,3) | |
| **Nörolojik Defisit** | Var | 8 (%33,3) | 11 (%14,5) | 0,069 |
| | Yok | 16 (%66,7) | 65 (%85,5) | |
| **Ek Travma** | Var | 6 (%25) | 29 (%38,2) | 0,351 |
| | Yok | 18 (%75) | 47 (%61,8) | |
| **İlaç Kullanımı** | Var | 9 (%37,5) | 62 (%81,6) | **<0,001** |
| | Yok | 15 (%62,5) | 14 (%18,4) | |
| **Osteoporoz** | Var | 3 (%12,5) | 17 (%22,4) | 0,387 |
| | Yok | 21 (%87,5) | 59 (%77,6) | |

Pamukkale Üniversitesi Hastanesinde opere edilen 24 hastanın 8'inde (%33,3) nörolojik defisit saptanırken, 16'sında (%66,7) nörolojik defisit saptanmadı. Heinrich Braun Klinikum Hastanesinde opere edilen 76 hastanın 11'inde (%14,5) nörolojik defisit saptanırken, 65'inde (%85,5) nörolojik defisit saptanmadı. Operasyon sonrasında her iki teknikte de preop nörolojik duruma ek nörolojik defisit tespit edilmedi.

Pamukkale Üniversitesi Hastanesine opere edilen 24 hastanın 6'sında (%25), Heinrich Braun Klinikum Hastaneside opere edilen 76 hastanın 29'unda (%38,2) ek travma olduğu görüldü. Pamukkale Üniversitesi Hastanesindeki 24 hastanın 9'unda (%37,5) ilaç kullanımı gözlenirken, Heinrich Braun Klinikum Hastanesindeki 76 hastanın 62'sinde (%81,6) ilaç kullanımı olduğu saptandı.

**Tablo 5.** Pamukkale Üniversitesi Hastanesinde opere edilen hastaların pedikül ölçümleri ve malpozisyon durumları

| Hasta No | Cinsiyet K/E | Pedikül Kalınlığı | Pedikül Yüksekliği | Pedikül Uzunluğu | Pedikül Medial Açılanması | Pedikül Kraniokaudal Açılanması | Malpozisyon |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | K | 6,73 | 5,62 | 14,12 | 29,9 | 38,3 | YOK |
| | | 6,82 | 6,32 | 14,19 | 21,3 | 36,2 | YOK |
| 2 | K | 7,29 | 6,29 | 17,88 | 28,1 | 20,7 | YOK |
| | | 7,3 | 5,98 | 16,22 | 28,2 | 21,9 | YOK |
| 3 | E | 8,77 | 6,92 | 14,6 | 27,5 | 24,1 | VAR |
| | | 8,76 | 6,93 | 13,13 | 26,6 | 22,2 | YOK |
| 4 | K | 6,73 | 5,62 | 14,12 | 29,9 | 38,3 | YOK |
| | | 6,82 | 6,32 | 14,19 | 21,3 | 36,2 | YOK |
| 5 | K | 6,41 | 6,01 | 16,18 | 24 | 24 | YOK |
| | | 6,24 | 6,4 | 18,6 | 22,8 | 20,9 | YOK |
| 6 | K | 5,97 | 5,41 | 13,75 | 31,9 | 32,4 | YOK |
| | | 5,98 | 5,67 | 14,36 | 29,6 | 29,9 | * |
| 7 | E | 7,73 | 6,83 | 13,99 | 31,2 | 45,5 | YOK |
| | | 6,87 | 6,97 | 15,21 | 32,9 | 39,8 | YOK |
| 8 | K | 6,59 | 6,92 | 15,54 | 26,8 | 23,9 | YOK |
| | | 6,38 | 6,68 | 16,72 | 27,6 | 26,5 | YOK |
| 9 | E | 6,47 | 7,21 | 12,56 | 33 | 27,7 | YOK |
| | | 6,64 | 6,98 | 14,63 | 36,1 | 26,1 | YOK |
| 10 | K | 7,07 | 6,62 | 17,15 | 23,6 | 21,8 | YOK |
| | | 6,67 | 6,7 | 18,86 | 29 | 23,9 | YOK |
| 11 | K | 5,49 | 6,57 | 18,76 | 29,7 | 18,9 | * |
| | | 5,57 | 7,71 | 17,17 | 31,9 | 19,4 | VAR |
| 12 | K | 5,2 | 7,08 | 14,76 | 20,4 | 29 | YOK |
| | | 5,67 | 7,72 | 14,8 | 23,7 | 28,9 | YOK |
| 13 | E | 6,7 | 7,43 | 14,84 | 14,1 | 26,3 | VAR |
| | | 6,6 | 7,77 | 15,71 | 16,1 | 20,6 | VAR |
| 14 | K | 5,79 | 5,86 | 16,9 | 15,6 | 18 | YOK |
| | | 5,61 | 5,63 | 16,42 | 15 | 19,5 | YOK |
| 15 | K | 4,78 | 6,98 | 16,45 | 23 | 19,8 | VAR |
| | | 4,99 | 6,81 | 16,73 | 20 | 15,6 | YOK |
| 16 | K | 5,15 | 6,91 | 14,96 | 33,6 | 28,2 | YOK |
| | | 5,71 | 7,09 | 15,02 | 27,8 | 27,8 | YOK |
| 17 | E | 5,42 | 4,9 | 12,7 | 18,7 | 15 | YOK |
| | | 5,78 | 4,52 | 12,78 | 18,9 | 13,6 | YOK |
| 18 | K | 5,64 | 6,14 | 1647 | 25,9 | 21,2 | YOK |
| | | 5,9 | 6,23 | 15,66 | 19,5 | 21,3 | YOK |
| 19 | E | 4,5 | 6,82 | 16,81 | 32 | 28,1 | * |
| | | 5 | 6,85 | 16,85 | 37 | 29,3 | YOK |
| 20 | K | 5,55 | 6,39 | 13,46 | 17,9 | 15,6 | YOK |
| | | 5,07 | 6,92 | 13,84 | 20,1 | 20,3 | YOK |
| 21 | K | 5,6 | 7,6 | 15,32 | 20,9 | 27,8 | YOK |
| | | 5,56 | 7,81 | 15,56 | 26,2 | 25,5 | YOK |
| 22 | K | 5,44 | 7,63 | 14,82 | 33 | 35 | YOK |
| | | 5,69 | 7,57 | 15,76 | 38 | 36,4 | YOK |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **23** | K | 5,15 | 6,53 | 14,02 | 30,4 | 26,8 | YOK |
| | | 5,27 | 6,7 | 14,65 | 29,7 | 27,3 | YOK |
| **24** | K | 4,41 | 7,93 | 14,5 | 20,2 | 30,2 | YOK |
| | | 4,3 | 7,33 | 14,45 | 23,3 | 30,4 | VAR |

***Hastaların tek taraflı pediküllerinin kırık olması nedeniyle transpediküler vida atılamadı.**

Pamukkale Üniversitesi Hastanesinde C2 transpediküler vidalama serbest el tekniği ile 24 hastanın 21'ine bilateral, 3 hastaya ise pedikül kırığı olması nedeniyle unilateral uygulama yapıldı. Serbest el tekniği ile atılan 45 vidanın 6'sının (%13,3) laterale veya mediale malpoze olduğu görüldü.

**Tablo 6.** Pamukkale Üniversitesi Hastanesinde opere edilen hastaların pedikül kalınlık, yükseklik, uzunluk, medial ve kraniokaudal açılanma min, max, ortalama ve standart sapma değerleri

| | **Pamukkale Üniversitesi Tıp Fakültesi C2 Transpediküler Serbest El Tekniği ile Vidalama** |
|---|---|
| **Pedikül Kalınlığı** | Ort±SS: 6,04±0,98<br>Min:4,3, Max:8,77 |
| **Pedikül Yüksekliği** | Ort±SS: 6,66±0,76<br>Min:4,52, Max:7,93 |
| **Pedikül Uzunluğu** | Ort±SS: 15,34±1,55<br>Min:12,56, Max:18,86 |
| **Pedikül Medial Açılanması** | Ort±SS: 25,91±6,1<br>Min:14,1, Max:38 |
| **Pedikül Kraniokaudal Açılanması** | Ort±SS: 26,17±7,1<br>Min:13,6, Max:45,5 |

Pamukkale Üniversitesi Hastanesinde opere edilen hastaların pedikül kalınlığı, yüksekliği, uzunluğu, pedikül medial ve kraniokaudal açılanması Rongming ve ark. Yazısı referans alınarak [1] ölçüldü. Ölçüm yapılan 76 hastanın pedikül kalınlıkları ortalama 6,04±0,98 mm (min:4,3 mm max:8,77 mm), pedikül yükseklikleri ortalama 6,66±0,76 mm (min:4,52 mm max:7,93 mm), pedikül uzunlukları ortalama 15,34±1,55 (min:12,56 mm max: 18,86 mm) olarak ölçüldü. Pedikül medial açılanmaları ortalama 25,91±6,1 (min:14; max:38) derece; kraniokaudal açılanmaları ise ortalama 26,17±7,1 (min:13,6; max:45,5) derece olarak ölçülmüştür.

**Tablo 7.** PAÜ ve HBK kliniklerinde malpoze vidaların zone dağılımı ve istatiksel değerlendirilmesi

| | Vida Malpozisyon Zoneları | | | p |
|---|---|---|---|---|
| **Teknik (Vidalama Sayısı)** | **Zone 1** | **Zone 2** | **Zone 3** | |
| **Serbest El Tekniği (n: 45)** | 2 (%4,4) | 39 (%86,7) | 4 (%8,9) | **0,028** |
| **Navigasyon Yardımlı Teknik (n: 152)** | 0 (%0) | 133 (%87,5) | 19 (%12,5) | |

Pamukkale Üniversitesi Hastanesinde serbest el tekniği ile atılan 45 vidanın 2'si (%4,4) zone 1, 39'u (%86,7) zone 2, 4'ünün ise (%8,9) yerleşimli olduğu görüldü. Heinrich Braun Klinikum Hastanesinde navigasyon yardımlı atılan 152 vidanın 133'ünün (%87,5) Zone 2, 19'unun (%12,5) Zone 3 yerleşimli olduğu; Zone 1 yerleşimli hiçbir vidanın olmadığı görüldü. Her iki teknikle atılan vidaların Zone yerleşimleri istatiksel olarak anlamlı bulunmuştur. (p:0,028)

Her iki teknik sonucunda gelişen malpoze vidalar nedeniyle nörolojik veya vasküler yaralanma tespit edilmedi. Hiçbir malpoze vida klinik oluşturmadığı için her iki teknikte de revizyon cerrahisi planlanmadı. Heinrich Braun Klinikum kliniğinde opere edilen 5 hastada yara yeri revizyonu cerrahisi yapıldı.

**Tablo 8.** Pamukkale Üniversitesi Hastanesinde atılan malpoze vidaların pedikül ölçümleri, Zone ve Gerztbein-Robbins Klasifikasyonları

| Vida no | Cinsiyet | Yön Sağ Sol | Pedikül Kalınlığı | Pedikül Yüksekliği | Pedikül Uzunluğu | Pedikül Medial Açılanması | Pedikül Kranio-Kaudal Açılanması | Zone | GR Class |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | E | sağ | 8,77 | 6,92 | 14,6 | 27,5 | 24,1 | 1 | D |
| 2 | K | sol | 5,57 | 7,71 | 17,17 | 31,9 | 19,4 | 3 | C |
| 3 | E | sağ | 6,7 | 7,43 | 14,84 | 14,1 | 26,3 | 3 | C |
| 4 | E | sol | 6,6 | 7,77 | 15,71 | 16,1 | 20,6 | 3 | C |
| 5 | K | sağ | 4,78 | 6,98 | 16,45 | 23 | 19,8 | 1 | D |
| 6 | K | sol | 4,3 | 7,33 | 14,45 | 23,3 | 30,4 | 3 | C |

Pamukkale Üniversitesi Hastanesinde atılan 45 vidadan; 6 malpoze vidanın 2'sinin (%4,4) zone 1 yerleşimli olduğu, 4'ünün ise (%8,9) zone 3 yerleşimli olduğu

görüldü. 6 vidanın Gerztbein Robbins klasifikasyonuna göre 2'sinin Grade D, 4'ünün ise Grade C olarak değerlendirildi.

**Tablo 2.** Gerztbein-Robbins Klasifikasyonu

| Grade | | Parametre |
|---|---|---|
| **A** | 1 | 0 mm |
| **B** | 2 | 0-2 mm |
| **C** | 3 | 2-4 mm |
| **D** | 4 | 4-6 mm |
| **E** | 5 | >6 mm |

**Tablo 9.** Heinrich Braun Klinikum Hastanesinde atılan malpoze vidaların Zone ve Gerztbein-Robbins Klasifikasyonları

| Vida no | Cinsiyet | Yön(sağ/sol) | Zone (1/2/3) | GR Class |
|---|---|---|---|---|
| **1** | K | Sağ | 3 | C |
| **2** | K | Sağ | 3 | C |
| **3** | K | Sol | 3 | C |
| **4** | K | Sol | 3 | B |
| **5** | E | Sol | 3 | B |
| **6** | K | Sol | 3 | C |
| **7** | K | Sağ | 3 | B |
| **8** | K | Sol | 3 | B |
| **9** | K | Sol | 3 | C |
| **10** | K | Sol | 3 | D |
| **11** | K | Sağ | 3 | B |
| **12** | K | Sol | 3 | B |
| **13** | K | Sol | 3 | C |
| **14** | K | Sağ | 3 | B |
| **15** | K | Sol | 3 | C |
| **16** | K | Sol | 3 | B |
| **17** | K | Sağ | 3 | C |
| **18** | K | Sol | 3 | B |
| **19** | E | Sağ | 3 | D |

Heinrich Braun Klinikum Hastanesinde 76 hastaya navigasyon yardımlı atılan 152 vidanın 19 tanesinin malpoze olduğu bunların hepsinin Zone 3 yerleşimli olduğu;

Gerztbein-Robbins Klasifikasyonuna göre incelendiğinde 9'u Grade B, 8'i Grade C, 2'si ise Grade D olarak değerlendirildi.

Pamukkale Üniversitesi Hastanesinde serbest el tekniği atılan vidaların normal ve malpoze vidaların pedikül ölçümleri ile değerlendirildiğinde; pedikül kalınlığı, uzunluğu, medial ve kraniokaudal açılanma açısından istatiksel açıdan anlamlı bulunmamıştır. Ancak pedikül yüksekliği normal ve malpoze vidalar karşılaştırıldığında istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur. (p:0,010)

**Tablo 10.** Pamukkale Üniversitesi Hastanesinde atılan normal ve malpoze vidaların pedikül ölçüm değerleri ve istatistiksel karşılaştırılması

| | Normal | Malpoze | p |
|---|---|---|---|
| **Pedikül kalınlığı** | 6,08±0,88 | 6,12±1,61 | 0,764 |
| **Pedikül yüksekliği** | 6,58±0,77 | 7,36±0,36 | **0,010** |
| **Pedikül uzunluğu** | 15,21±1,55 | 15,54±1,1 | 0,483 |
| **Pedikül medial açılanması** | 26,07±6,05 | 22,65±6,72 | 0,249 |
| **Pedikül kraniokaudal açılanması** | 26,63±7,52 | 23,43±4,35 | 0,270 |

PAÜ Beyin ve Sinir Cerrahisi Kliniğinde serbest el tekniği ile atılan 45 vidanın uzunluklarının 5'inin 18 mm, 5'inin 20 mm, 8'inin 22 mm, 10'unun 24 mm, 1'inin 26 mm, 12'sinin 28 mm, 4'ünün 30 mm olduğu; kalınlıklarının ise 31'inin 3,5 mm, 14'ünün ise 4 mm olduğu ölçüldü. Normal ve malpoze vidalar vida uzunluk ve kalınlıkları açısından analiz edildiğinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. (p:0,302; p:0,618)

**Tablo 11.** Pamukkale Üniversitesi Hastanesinde atılan normal ve malpoze vidaların uzunluk/kalınlık değerleri ve istatistiksel karşılaştırılması

| | **Normal** | | **Malpoze** | | **p** |
|---|---|---|---|---|---|
| | n | % | n | % | |
| **Vida uzunluğu** | | | | | 0,302 |
| **18 mm** | 5 | 100 | 0 | 0 | |
| **20 mm** | 4 | 80 | 1 | 20 | |
| **22 mm** | 8 | 100 | 0 | 0 | |
| **24 mm** | 9 | 90 | 1 | 10 | |
| **26 mm** | 1 | 100 | 0 | 0 | |
| **28 mm** | 10 | 83,3 | 2 | 16,7 | |
| **30 mm** | 2 | 50 | 2 | 50 | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Vida kalınlığı** | | | | | 0,618 |
| **3,5 mm** | 27 | 87,1 | 4 | 12,9 | |
| **4 mm** | 12 | 85,7 | 2 | 14,3 | |

**Tablo 12.** Pamukkale Üniversitesi Hastanesinde normal ve malpoze vidaların Gerztbein-Robbins Klasifikasyonuna göre istatistiksel karşılaştırması

| | **Normal** | | **Malpoze** | | **p** |
|---|---|---|---|---|---|
| | n | % | n | % | |
| **Gerztbein_Robbins** | | | | | **<0,001** |
| **Grade A** | 39 | 100 | 0 | 0 | |
| **Grade B** | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| **Grade C** | 0 | 0 | 4 | 66,7 | |
| **Grade D** | 0 | 0 | 2 | 33,3 | |
| **Grade E** | 0 | 0 | 0 | 0 | |

PAÜ Beyin ve Sinir Cerrahisi Kliniğinde serbest el tekniği ile ve HBK Beyin ve Sinir Cerrahisi Kliniğinde navigasyon yardımlı yapılan normal ve malpoze vidaların Gerztbein Robbins klasifikasyonuna göre analiz edildiğinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. (p<0,001)

**Tablo 13.** Heinrich Braun Klinikum Hastanesinde normal ve malpoze vidaların Gerztbein-Robbins Klasifikasyonuna göre istatistiksel karşılaştırması

| | **Normal** | | **Malpoze** | | **p** |
|---|---|---|---|---|---|
| | n | % | n | % | |
| **Gerztbein Robbins** | | | | | |
| **Grade A** | 133 | 100 | 0 | 0 | <0,001 |
| **Grade B** | 0 | 0 | 9 | 47,4 | |
| **Grade C** | 0 | 0 | 8 | 42,1 | |
| **Grade D** | 0 | 0 | 2 | 10,5 | |
| **Grade E** | 0 | 0 | 0 | 0 | |

# 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Kraniovertebral bileşke (KVB), oksipital kemik, C1 ve C2 vertebraları, sinovial eklem ve ligamentöz yapıları içeren anatomik bölgedir. İntervertebral disk bulunmayan bu bölgede oksipital kondillerle atlas arasında, atlas ile de axis arasında kıkırdak sinoviyal eklemler mevcuttur. Servikal bölgede 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 kraniovertebral bileşke instabilitesinde bası altındaki yapıların dekompresyonu ve füzyonu sağlanmalıdır. Bu bölgenin kompleks anatomisi kraniovertebral füzyonda ciddi zorluklar oluşturmaktadır[2].

Kraniovertebral bileşkede dejeneratif değişikliker, konjenital kusurlar, travmatik nedenler veya maligniteye bağlı olarak gelişen instabilite durumlarında bölgenin önemli anatomik yapılara komşu olması nedeniyle yapılan füzyon işlemlerinde C2 vertebra önemli bir yere sahiptir. Gerek anatomik açıdan sıradışı bir yapıya sahip olması gerekse önemli vasküler ve nöronal yapılara komşu olması bu vertebranın vidalama işlemlerini de önemli kılmaktadır. C2 vertebra üzerinde kullanılan vidalama tekniklerinin füzyon ve komplikasyon açısından değişik sonuçları literatürde araştırılmıştır. Cerrahiye bağlı yıkıcı komplikasyonlardan kaçınmak için üst servikal fiksasyonu sağlamak için çeşitli teknikler sunulmuştur [3]. Bu bölgede C2 vidalama için C2 pedikül, pars, lamina ve transartiküler vidalama teknikleri kullanılmaktadır [2].

Pedikül vidaları, kararlı bir stabilite elde etmek için etkili bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır ve anormal anatominin transartiküler vidaların kullanımını engellediği durumlarda alternatif seçenek olarak düşünülmektedir. Bu teknik, dejeneratif değişikliklere, konjenital kusurlara, travmatik nedenlere veya maligniteye bağlı olarak gelişen instabilite nedenleri için başarıyla kullanılan bir fiksasyon seçeneği sunmaktadır. Pedikül vidaları lomber ve torasik füzyon elde etmede birincil yaklaşım olarak kullanılmıştır ve kanıtlar bu yaklaşımla servikal bölgede füzyon oranlarının transartiküler vidalarla elde edilenlere benzer olduğunu göstermektedir[4,5]. Bununla birlikte, C2 vertebranın benzersiz anatomisi göz önüne alındığında, pedikül vidalarının

yerleştirilmesi özellikle zahmetlidir ve teorik olarak vertebral arterlere ve komşu sinir yapılara zarar verme riski taşımaktadır [6].

Literatür, cerrahi karar verme sürecinde preoperatif görüntüleme elde etmeye yönelik önerilerle birlikte C2 anatomisinde varyasyonu belirleyen bir dizi rapor içerir, ancak radyografik parametrelerin C2 pedikül vidası yerleştirilmesiyle vida malpozisyonu riskini öngörebileceği kılavuzlar eksiktir[145,146].

Alosh ve ark. 2010 yılında yapmış olduğu çalışmada dejeneratif, konjenital, travmatik, ve onkolojik nedenlerle instabilite gelişmiş hastalara C2 pedikül vidalarının geniş kullanımı, bu yaklaşımın güvenilirliğini en üst düzeye çıkaracak şekilde ameliyat öncesi planlamanın önemine değinmektedirler[6].

Servikal pedikül vida fiksasyonu en stabil fiksasyon olarak kabul edilmektedir[147–150]. Yerleştirme sırasındaki yüksek perioperatif perforasyon oranı ve vidanın malpozisyonu ile ilişkili vertebral arterler ve nöral yapıların yaralanma riskleri nedeniyle, servikal vida yerleşimini iyileştiren birkaç yöntem daha önce araştırılmıştır [151].

C2 pedikül vidalama tekniği yakın komşuluk nedeniyle vertebral arter yaralanması açısından risk teşkil etmektedir. Literatürde birçok yayın bulunmaktadır. Atlantoaksiyal füzyon cerrahisinde vertebral arter yaralanma insidansının %0-8,2 aralığında olduğu belirtilmiştir [152]. Wang ve ark 2011 yılında yapmış oldukları 638 C2 pedikül vidasında %7,3'ünde malpozisyon saptanırken, 319 hastanın hiçbirinde klinik olarak belirgin VA yaralanması tespit edilememiştir. [153]

Aryan ve ark 2008 yılındaki çalışmasında; 102 vakada VA herhangi bir yaralanma tespit edilmemesi nedeniyle C2 pedikül vidalamasında riskin düşük olduğunu bildirmesine karşın [154], Goel ve ark 2002 yılında yaptıkları çalışmada; nispeten güvenli olmadığı bildirilmiştir. Bu çalışmada 4 mm üzerindeki perforasyonları malpoze olarak değerlendirilerek 320 vidanın 6'sının (%1,9) malpoze olduğu bildirilmiştir[155].

C2 pedikül ve pars enstrümantasyonu için serbest teknik kullanımı kritik nörovasküler komplikasyonlar olmaksızın güvenliydi. Cerrahi planlama için anatominin preoperatif değerlendirmesi, intraoperatif dokunsal geri bildirim ile doğru vida yerleşimini sağlamıştır. Aynı zamanda anatomiye uygun olarak yapılan serbest el tekniği sayesinde fluoroskopi kullanımını azaldığı için cerrah ve hastaya radyasyon maruziyetini en aza indirdiği bildirilmiştir [139].

Punyarat ve ark 2018 de serbest el tekniği ile vidalama yapılan 52 C2 pedikül vidasında Sciubba kalsifikasyonuna göre değerlendirmiş olup %23,1 oranında malpozisyon saptadıklarını bildirmişlerdir[139].

Serbest el tekniği ile C2 pedikül vida fiksasyonunda vertebral arter hasarını önlemek için dikkatli hasta seçimi ve cerrahi teknik gereklidir. Bununla birlikte, vertebral arter kanalının hafif bir şekilde açılması (Gertzbein ve Robbins derece ≤3), arteri riske atmadığı düşünülmektedir [156].

Alosh ve ark 2010 yılında yaptıkları çalışmada; 93 hastada uygulanan 170 transpediküler vidalama işleminde 43 (%25,3) vidanın malpoze olduğu görülmüş. Malpoze vidalardan sadece 1 tanesinden dolayı sol vertebral arter hasarı oluştuğu tespit edilmiştir. Pedikül isthmus ölçümlerinde 6 mm'den küçük olan pedikül isthmuslarında malpozisyon oranının 2 kat arttığı görülmüştür. Deneyimli olan cerrahlarda daha az oranda malpozisyon gözlenmiştir (P=0,004). Malpoze vidalar klinik olarak anlamlı olmasa da radyografik olarak malpoze vidaların saptanma nedeni pedikül boyutları ve cerrah deneyimi ile ilişkili olabileceği belirtilmiştir. Bu nedenle, BT taramalarının dikkatli bir preoperatif değerlendirmesi ile malpozisyon komplikasyonlarının önlenebileceği bildirilmektedir [6].

Yeom ve ark 2008 yılında yaptıkları bir çalışmada; uyguladıkları 39 tane C2 pedikül vidasının 8'inin (%21) lateral malpoze olduğu ancak hiçbirinde vertebral arter yaralanmasının olmadığı bildirilmiştir [157].

Sciubba ve ark 2009 yılında yaptıkları prospektif çalışmada; 55 hastaya 100 tane C2 pedikül vidası serbest el tekniği ile uygulanmış. Postoperatif BT görüntüleri

değerlendirildikten sonra ikisi aynı hasta olmak üzere 15 vidada (%15) malpozisyon tespit edilmiştir [158].

Bydon ve ark. 2014 yılında yapmış oldukları çalışmada; 181 hastaya serbest el tekniği ile uygulanan C2 pedikül vidası malpozisyon oranları ve vida uzunluklarının malpozisyona etkisi açısından incelemişlerdir. 341 vidanın 59'unun (%17,3) malpoze olduğu, lateral malpozisyonun, medial malpozisyondan daha fazla olduğu görülmüştür. Malpoze hiçbir vidanın nörolojik bir sekele neden olmadığı bildirilmiştir. Malpozisyon ile cinsiyet, ırk veya yaş arasında bir ilişki bulunmazken, ortalama vida uzunluğu 22.93 ± 3.7 mm [12-34 mm] iken vida uzunluğunun malpozisyon ($p = 0.4$) veya malpozisyon şiddeti ($p = 0.42$) ile istatistiksel ilişki tespit edilmemiştir. Bu nedenle bu çalışmada vida uzunluğunun C2 pedikül vida malpozisyonu için prognostik faktör olmadığı ve preoperatif planlamada önemli bir yeri olmadığı bildirilmiştir [159].

Literatürdeki hiçbir çalışma C2 pedikül vida uzunluğunun biyomekanik test üzerinde doğrudan incelememiş olsa da Sim ve ark 2011 [113] yılında yapmış olduğu C1-C2 atlantoaksiyel fiksasyon çalışmasında kısa C2 pedikül vidasını (14-16 mm) standart uzunluktaki C2 pedikül vidası (24-28mm) ile karşılaştırmışlar ve hareket açıklığı açısından kısa ve uzun pedikül vidaları arasında istatiksel olarak anlamlı bir fark saptamamışlardır.

Lehman ve ark 2008 yılında yaptığı bir çalışmada, kısa pedikül vidalarının C2 pedikülünde optimum tutunma direnci sağlamadığı ve bu nedenle biyomekanik olarak uzun vidalar kadar stabil olmadığını belirtmişlerdir [142]. Xu ve ark 2014 yılında yaptığı çalışmada ise kısa uzunluktaki vidaların rotasyonel hareket açıklığı açısından uzun vidalardan daha yüksek derecelerde ancak rijitide açısından benzer düzeyde olduğu bildirilmişlerdir [160].

Parker ve ark 2009 yılında yaptıkları çalışmada %20 den fazla perforasyona neden olan C2 pedikül vidaları malpoze kabul edilerek 313 vidanın %6,9'unda [161], Müller ve ark 2010 yılında 47 hasta üzerinde yapmış oldukları çalışmada %17,1 oranında [156], Bransford ve ark 2011 yılında 260 hastada malpozisyon oranlarının %1,2 olarak bildirmişlerdir [134].

Nörovasküler yaralanma olmamasına rağmen, spinal navigasyon olmadan takıldığında malpoze vidaların yüksek oranı, C2 pedikül vidası insersiyonlarında spinal navigasyon kullanımını desteklemektedir [156].

Yıllar geçtikçe, teknoloji ve deneyim sürekli gelişmiştir, böylece literatürde [162] servikal pedikül vidalarının en iyi % 7'lik oranı, navigasyon olmadan geleneksel yerleştirme tekniklerinin kullanılmasıyla bildirilmiştir. Bunlar mükemmel sonuçlardır ve daha az deneyimli omurga cerrahları tarafından bugün bile tekrarlanamaz. Şu anda, geleneksel teknikler kullanılarak %5-40 oranında malpoze vida yerleştirme oranları bildirilmektedir [163–167]. Servikal vida yerleştirmenin doğruluğunu artırmak ve böylece komplikasyon oranını azaltmak için 3D navigasyonun serbest tekniklere üstünlüğü çeşitli çalışmalarda değerlendirilmiş ve belgelenmiştir [149–151,166,168,169]. Sonuç olarak, servikal omurganın seyreden posterior enstrümantasyonu çoğu hastanede standart hale gelmiştir. Yöntemin avantajları ve dezavantajları iyi bir şekilde belgelenmiştir [150,168].

Son zamanlarda, görüntü kılavuzlu navigasyon teknolojisinin gelişimi, yüksek riskli üst servikal cerrahide önemli değişikliklere yol açmıştır. Tek bir dizide farklı operatif seviyelerde çok düzlemli görüntüler elde edilebilir, bu da cerrahi doğruluğu artırır, radyasyona maruz kalma azalır ve cerrahi alanda vida pozisyonları kontrol edilebilir ve bu da nörovasküler yaralanma olasılığını azaltır [144,170,171].

Literatürde serbest el teknikleri dışında navigasyon yardımlı C2 pedikül vidalama çalışmaları da mevcuttur. Tauchi ve ark 2013 yılında yaptıkları 37 navigasyon yardımlı servikal pedikül vidalamasında %12,2 oranında malpozisyon bildirimiştir [172].

Tao ve ark 2014 yılında yaptıkları çalışmada; 99 hastaya 196 vida uygulaması navigasyon ile uygulanmış ve bu vidalardan 64 tanesi C2 pedikül vidalaması olarak uygulanmış olup gerztbein robbins gradelemesine göre %10,9 oranında malpoze olarak bildirilmiştir [173].

Literatürde C2 serbest el tekniği ve navigasyon yardımlı teknikleri ayrı ayrı ele alan birçok yazı bulunmaktadır. Ancak bu iki tekniği karşılaştıran 3 yazı bulunmaktadır.

Yang ve ark 2013 yılında yapmış oldukları çalışmada 24 kişilik 2 grup halinde 48 tane serbest el tekniği ile atılan C2 vidalarında %4,2 oranında malpozisyon saptarken, navigasyon yardımlı teknikle atılan 48 vidada malpozisyon tespit etmediklerini bildirmişlerdir. Ayrıca navigasyon yardımlı tekniklerin, fluoroskopik

kontrolü olması nedeniyle serbest el tekniğinden radyasyona mazuriyet açısından daha avantajlı olduğunu ve ameliyat süresini kısaltması nedeniyle de kan kaybının az olduğunu belirtmişlerdir [174].

Tian ve ark 2019 yılında yapmış oldukları çalışma 32 hastalık 2 grup halinde; 50 adet serbest el tekniği ile, 50 adet navigasyon yardımlı C2 transpediküler vidalamada, serbest el tekniği ile yapılan hastalarda malpozisyon oranı %3,85 olarak, navigasyon yardımlı yapılanlarda ise %16 olarak tespit edilmiştir. Ancak Tian ve arkadaşlarının kullanmış olduğu serbest el tekniğinde hastaların pedikül açılarına uygun bir plakanın (3D-printed navigation template-assisted) 3 boyutlu yazıcı ile bastırılıp vakalarda steril olarak kullanıldığı ve bu yüzden malpozisyon oranlarının navigasyon yardımlı tekniğe göre daha iyi olduğu bildirilmiştir [175].

Lee ve ark 2020 yılında yapmış oldukları çalışmada; C1–2 segmentinin fiksasyonu, bölgedeki karmaşık anatomi ve komplikasyonları önlemek için yüksek derecede doğruluk ihtiyacı nedeniyle zor olduğu bildirilmiştir. Preoperatif 3 boyutlu bilgisayarlı tomografi (BT) taramaları, vertebral arter, omurilik ve sinir köklerinde komplikasyon riskini azaltmaya yardımcı olabildiği düşünülmüştür. Bununla birlikte, hastanın anatomisi ameliyat öncesi BT taramalarına uymuyorsa hasta yaralanmaya duyarlı olabilir. İntraoperatif 3 boyutlu görüntü tabanlı navigasyon sistemleri, daha yüksek doğruluk nedeniyle cihaz destekli tekniklerdeki komplikasyonları azaltmıştır. Bu amaçla serbest el tekniği ile yapılan 26 vidalamada %11,5, navigasyon yardımlı 32 vidalama da ise %6,2 oranında malpozisyon izlendi. Malpoze hiçbir vidada vasküler ve nöronal bir yaralanma bildirilmezken vaka sürelerinde navigasyon yardımlı yapılan vakalarda kısaldığı bildirilmiştir [176].

Sonuç olarak; günümüzde KVB ve üst servikal bölgenin çeşitli nedenlerle gelişen instabilite durumlarında uygulanan stabilizasyon ve füzyon tekniklerinde C2 vertebra hem anatomik yapısı hem de komşu nörovasküler yapıları nedeniyle önemli bir yere sahiptir.

Literatürde artan teknolojik imkanlar sayesinde C2 vertebraya uygulanmakta olan birçok cerrahi teknik mevcut olup, bu çalışmamızda; C2 pedikül vidalama serbest el tekniği navigasyon yardımlı teknik ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Teknolojik gelişmeler sayesinde C2 pedikül vidalaması navigasyon yardımlı,

intraoperatif 3 boyutlu BT, 3 boyutlu yazıcılar kullanılarak yapılabilmektedir. Bu teknolojik sistemler sayesinde nörovasküler yaralanma riski en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Ancak bu teknolojik sistemlerin maliyetli olması ve her klinikte bulunmaması nedeniyle farklı teknik çalışmalara imkân sağlamıştır. Serbest el tekniği de bu uygulamalardan bir tanesidir. Preoperatif ince kesit servikal BT çekilerek; pedikül kalınlık, uzunluk, medial ve kraniokaudal açılar ile vertebral arter yerleşimi iyi analiz edilmelidir. Cerrahi sırasında anatomik yapıların iyi ortaya konulması preoperatif analiz edilen pedikül yapısına uygun vidalama yapılması bu tekniğin uygulanması açısından önemlidir. Yapmış olduğumuz serbest el tekniği C2 pedikül vidalama uygulamalarında navigasyon yardımlı teknik ve literatürle uyumlu sonuçlar olması bu tekniğin uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

Preoperatif çekilen ince kesit 3 boyutlu servikal BT görüntülemesinin analizi, iyi anatomik bilgi, cerrahi ekspojur ve deneyim sayesinde serbest el tekniği ile uygulanan C2 pedikül vidalarında minimal malpozisyon ve nörovasküler yaralanma sayesinde teknolojik imkanların kısıtlı olduğu kliniklerde uygulanabileceği düşünülmektedir.

# 6. KAYNAKÇA


1. Rongming, X., Matthew C, N., Nabil A, E. & Richard A, Y. Morphology of the second cervical vertebra and the posterior projection of the C2 pedicle axis. *Spine J.* **20**, 259–263 (1995).

2. Harman, F., Aytar, M. & Kaptanoğlu, E. Oksipital Kemik, Oksipital Kondil, C1 ve C2'nin Posterior Enstrümantasyonu. *Türk Nöroşir Derg* **25**, 137–147 (2015).

3. Goel, A. & Laheri, V. Plate and screw fixation for atlanto-axial subluxation. *Acta Neurochir* **129**, 47–53 (1994).

4. Harms, J. & Melcher, R. Posterior C1-C2 fusion with polyaxial screw and rod fixation. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **26**, 2467–2471 (2001).

5. Puttlitz, C., Goel, V., Traynelis, V. & Clark, C. A finite element investigation of upper cervical instrumentation. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **26**, 2249–55 (2001).

6. Alosh, H. *et al.* Preoperative radiographic factors and surgeon experience are associated with cortical breach of C2 pedicle screws. *J. Spinal Disord. Tech.* **23**, 9–14 (2010).

7. Naderi, S. Omurga Biyomekaniği-Servikal Omurlar, Kraniyoservikal Bileşke. in *Omurilik ve Omurga Cerrahisi* (ed. Zileli, M; Özer, A.) 161–9 (2002).

8. Panjabi, M. M., Duranceau, J., Goel, V., Oxland, T. & Takata, K. Cervical human vertebrae: Quantitative three-dimensional anatomy of the middle and lower regions. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **16**, 861–869 (1991).

9. Kalaycı, M. & Kotil, K. Üst Servikal Omurgaya Cerrahi Yaklaşımlar ve Fiksasyon Yöntemleri. in *Temel Nöroşirurji* (ed. Korfalı, E; Zileli, M.) 1373–90 (Türk Nöroşirurji Derneği Yayınları, 2010).

10. Çaylı, S. R. Omurilik ve Omurga Anatomisi. in *Temel Nöroşirurji* (ed. Korfalı, Ender; Zileli, M.) 82–85 (2010).

11. Emre, K. Kranial ve Servikal Genel Anatomisi ve Anatomik Landmarklar Cranial and Cervical General Anatomy and Anatomical Landmarks. **30**, 9–17 (2020).

12. Netter, F. *The Netter Collection of Medical Illustration*. (2009).

13. Ertürk, M. & Kayalıoğlu, G. C7 vertebra anatomy as a guide for transpedicular screw fixation. *Medeni. Med. J.* **21**, 121–124 (2006).

14. Çavdar, S. Omurga ve Omurilik Anatomisi ve Embriyolojisi. in *Omurilik ve Omurga Cerrahisi* (eds. Özer, A. F. & Zileli, M.) 19–42 (2014).

15. Putz, R. & Pabst, R. *Sobotta İnsan Anatomisi Atlası*. (Beta Basım AŞ İstanbul, 2006).

16. Baaj, A., Mummaneni, P., Uribe, S. & Vaccaro, A. *Handbook of Spine Surgery*. (Thieme Medical Publishers, 2012).

17. Kim, D., Henn, J., Vaccaro, A. & Dickman, C. *Surgical Anatomy and Techniques to the Spine*. (Elsevier Inc, 2006).

18. Snell, R. *Snell Klinik Anatomi*. (Nobel Tıp Kitabevi, 1997).

19. Çalışkan, K. E. & Yavaş, G. Kranial ve Servikal Genel Anatomisi ve Anatomik Landmarklar. *Türk Nöroşir Derg* **30**, 9–17 (2020).

20. Barbara, C., Barbaix, E. & Vinc, E. Atherosclerosis in the vertebral artery: an intrinsic risk factor in the use of spinal manipulation. *Surg. Radiol. Anat.* **28**, 129–134 (2006).

21. Arıncı, K. & Elhan, A. Skeleton Axiale. in *Anatomi* 59–64 (2006).

22. Chakrabarti, I., Trendway, T. & Khoo, L. Posterior Atlantoaksiyel Füzyon: Cerrahi Anatomi ve Teknik Seçenekler. in *Nöroşirurji Teknikleri Atlası Omurga ve Periferik Sinirler* (eds. Fessler, R. G. & Sekhar, L.) 90–95 (Habitat Yayıncılık, 2014).

23. White, A. & Panjabi, M. *Clinical Biomechanics of the Spine*. (JB Lippincott, 1978).

24. Naderi, S., Crawford, N., Song, G., Sonntag, V. & Dickman, C. Biomechanical comparison of C1-C2 posterior fixations: cable, graft and screw combinations. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **23**, 1946–1956 (1998).

25. Dickman, C., Crawford, N., Brantley, A. & Sonntag, V. Biomechanical effects of transoral odontoidectomy. *Neurosurgery* **36**, 1146–1152 (1995).

26. White, A. & Panjabi, M. *Clinical Biomechanics of the Spine*. (Lippincott, 1990).

27. Benzel, E. C. *Biomechanics of Spine Stabilization*. (Thieme, 2015).

28. Panjabi, M. *et al.* Articular facets of the human spine. Quantitative three-dimensional anatomy. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **18**, 1298–1310 (1993).

29. Menezes, A. & Traynelis, V. Anatomy and biomechanics of normal craniovertebral junction and biomechanics of stabilization. *Childs Nerv Syst* **24**, 1091–1100 (2008).

30. Panjabi, M. *et al.* Mechanical properties of the human cervical spine as shown by three-dimensional load-displacement curves. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **26**, 2692–2700 (2001).

31. Panjabi, M. *et al.* Three-dimensional movements of the upper cervical spine. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **13**, 726–730 (1988).

32. Dvorak, J. & Panjabi, M. Functional anatomy of the alar ligaments. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **12**, 183–189 (1987).

33. Dvorak, J., Schneider, E., Saldinger, P. & Rahn, B. Biomechanics of the craniocervical region: The alar and transverse ligaments. *J Orthop Res* **6**, 452–461 (1988).

34. Atalay, B. & Yaltırık, K. Kraniyovertebral bileşke biyomekaniği ve stabilzasyon prensipleri. *Türk Nöroşir Derg* **25**, 96–103 (2015).

35. Fielding, J., Cochran, G., Lawsing, J. & Hohl, M. Tears of the transverse ligament of the atlas. A clinical and biomechanical study. *J Bone Jt. Surg* **56**, 1683–1691 (1974).

36. Doherty, B. & Heggeness, M. Quantitative anatomy of the second cervical vertebra. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **20**, 513–517 (1995).

37. Bambakidis, N., Dickman, C., Spetzler, R. & Sonntag, V. *Surgery of the Craniovertebral Junction*. (Thieme, 2012).

38. Sunahara, N., Matsunaga, S., Mori, T., Ijiri, K. & Sakou, T. Clinical course of conservatively managed rheumatoid arthritis patients with myelopathy. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **22**, 2603–2607 (1997).

39. Iai, H. *et al.* Three-dimensional motion analysis of the upper cervidal spine during axial rotation. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **18**, 2388–2392 (1993).

40. Sasso, R., Doherty, B., Crawford, M. & Heggeness, M. Biomechanics of odontoid fracture fixation. Comparison of the one and two screw technique. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **18**, 1950–1953 (1993).

41. Oda, I. *et al.* Biomechanical evaluation of five different occipito-atlanto-axial fixation techniques. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **24**, 2377–2382 (1999).

42. Sutterlin, C., Bianchi, J., Kunz, D. & Zdeblick, T. Biomechanical evalution of occipitocervical fixation devices. *J Spinal Disord.* **14**, (2001).

43. Yan, W. *et al.* The biomechanical study of craniovertebral junction fixation with posterior transarticular screw. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi* **86**, 872–875 (2006).

44. Resnick, D., Lapsiwala, S. & Trost, G. Anatomic suitability of the C1-C2 complex for pedicle screw fixation. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **27**, 1494–1498 (2002).

45. Gonzalez, L. *et al.* Craniovertebral junction fixation with transarticular screws: Biomechanical analysis of a novel technique. *J Neurosurg* **98**, 202–209 (2003).

46. Grob, D. Transarticular screw fixation for atlanto-occipital dislocation. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **26**, 703–707 (2001).

47. Hurlbert, R., Crawford, N., Choi, W. & Dickman, C. A biomechanical evaluation of occipitocervical instrumentation: Screw compared with wire fixation. *J Neurosurg* **90**, 84–90 (1999).

48. Gallie, W. Fractures and dislocations of cervical spine. *Am J Surg* **46**, 495–499 (1939).

49. Chiba, K. *et al.* Treatment protocol for fractures of the odontoid process. *J Spinal Disord.* **9**, 267–276 (1996).

50. Clark, C. & White, A. Fractures of the dens: a multicenter study. *J Bone Jt. Surg* **67A**, 1340–1348 (1985).

51. Coyne, T., Fehlings, M., Wallace, M., Bernstein, M. & Tator, C. C1-C2 posterior cervical fusion: Long term evaluation of results and efficacy. *Neurosurgery* **37**, 688–693 (1995).

52. Dunn, M. & Seljeskog, E. Experience in the management of odontoid process injuries: An analysis of 128 cases. *Neurosurgery* **18**, 306–310 (1986).

53. Fujii, E., Kobayashi, K. & Hirabayashi, K. Treatment in fractures of the odontoid process. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **13**, 604–609 (1988).

54. Maiman, D. & Larson, S. Management of odontoid fractures. *Neurosurgery* **11**, 820 (1982).

55. Waddell, J. & GP, R. Atlantoaxial arthrodesis to treat odontoid fractures. *Can J Surg* **26**, 255–258 (1983).

56. Jeanneret, B. & Magerl, F. Primary posterior fusion C1/2 in odontoid fractures: indications, technique, and results of transarticular screw fixation. *J Spinal Disord.* **5**, 464–475 (1992).

57. Campanelli, M., Kattner, K., Stroink, A., Gupta, K. & West, S. Posterior C1-C2 transarticular screw fixationin the treatment of displaced type II odontoid fractures in the geriatric population: review of seven cases. *Surg Neurol* **51**, 596–601 (1999).

58. Haid, R. C1-C2 Transarticular screw fixation: technical aspects. *Neurosurgery* **49**, 71–74 (2001).

59. Haid, R., Subach, B., McLaughlin, M., Rodts, G. & Wahlig, J. C1-C2 transarticular screw fixation for atlantoaxial instability: a six-year experience. *Neurosurgery* **49**, 65–70 (2001).

60. Jenkins, J., Coric, D. & Branch, C. jr. A clinical comparison of one and two-screw odontoid fixation. *J Neurosurg* **89**, 366–370 (1998).

61. Andersson, S., Rodrigues, M. & Olerud, C. Odontoid fractures: High complication rate associated with anterior screw fixation in the elderly. *Eur. Spine J.* **9**, 56–60 (2000).

62. Pepin, J., Bourne, R. & Hawkins, R. Traumatic spondylolisthesis of the axis: Hangman's fracture. *Clin Orthop* 133–138 (1981).

63. Magerl, F. & Seeman, P. Stable posterior fusion of the atlas and axis by transarticular screw fixation. in *Cervical Spine* (eds. Kehr, P. & Weidner, A.) 322–327 (Springer, 1985).

64. Goel, A. & Karapurkar, A. Transoral plate and screw fixation of the craniovertebral region a preliminary report. *Br J Neurosurg* **8**, 743–745 (1994).

65. Wright, N. Posterior C2 fixation using bilateral, crossing C2 laminar screws. *J Spinal Disord.* **17**, 158–162 (2004).

66. Hong, J. *et al.* Biomechanical effect of the C2 laminar decortication on the stability of C2 intralaminar screw construct and biomechanical comparison of C2 intralaminar screw and C2 pars screw. *Neurosurgery* 1–7 (2011).

67. Bryan, V., Inglis, A., Sculco, T. & Ranawat, C. Methylmethacrylate stabilization for enhancement of posteior cervical arthrodesis in rheumatoid arthritis. *J Bone Jt. Surg*

**64A**, 1045–1050 (1982).

68. Elia, M., Mazzaraj, T. & Fielding, J. Onlay technique for occipitocervical fusion. *Clin Orthop* **280**, 170+174 (1992).

69. Fehlings, M., Errico, T. & Cooper, P. Occipitocervical fusion with a five-milimeter malleable rod and segmental fixation. *Neurosurgery* **32**, 198–208 (1993).

70. Flint, G., Hockley, A., McMillan, J. & Thompson, A. A new method of occipitocervical fusion using internal fixation. *Neurosurgery* **21**, 947–950 (1987).

71. McAfee, P., Cassidy, J. & Davis, R. Fusion of the occiput to the upper cervical spine. *Spine J.* **16**, 490–494 (1991).

72. Newman, P. & Sweetnam, R. Occipito-cervical fusion. *J Bone Jt. Surg* **51**, 423–431 (1969).

73. O'Brien, M. & Sutterlin, C. Occipitocervical biomechanics. *Spine State Art Rev* **10**, 281–313 (1996).

74. Kraus, D., Peppelman, W. & Agarwal, A. Incidence of subaxial subluxation in patients with generalized rheumatoid arthritis who have had previous occipital cervical fusions. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **16**, 486–489 (1991).

75. Hamblen, D. Occipito-cervical fusion. *J Bone Jt. Surg* **49B**, 33–45 (1967).

76. Sakou, T., Kawaida, H. & Morizono, Y. Occipito-atlantoaxial fusion utilizing a rectangular rod. *Clin Orthop* **239**, 136–144 (1989).

77. Forester, O. *Die Leitungsbahnen des Schmerzgefühls und die chirurgische Behandlung der Schmerzzustaende*.

78. Juvara, E. & Dimitriu, V. Luxation atlondo-axoidienne avec phenomenes compressifs, Operation secondaire. *Lyon Chir.* **25**, 668–670 (1928).

79. Kahn, E. & Yglesias, L. Progressive atlanto-axial dislocation. *JAMA* **105**, 348–352 (1935).

80. Hamblen, D. Occipito-cervical fusion: Indications, technique and results. *J Bone Jt. Surg* **49**, 33–45 (1967).

81. Cone, W. & Turner, W. The treatment of fracture-dislocations of the cervical vertebrae

by skeletal traction and fusion. *J Bone Jt. Surg* **19**, 587–602 (1937).

82. Grantham, S., Dick, H., Thompson, R. & Stinchfield, F. Occipitocervical arthrodesis. *Clin Orthop* **65**, 118–129 (1969).

83. Wertheim, S. & Bohlman, H. Occipitocervical fusion. *J Bone Jt. Surg* **69A**, 833–836 (1987).

84. Vaccaro, A. & Cottler, J. Traumatic injuries of the adult uppercervical spine. in *Surgery of the Cervical Spine* 227–279 (1994).

85. Luque, E. Segmental correction and fixation of the spine. in *AAOS 45th Annual Meeting, Dallas,TX* (1978).

86. Ransford, A., Crockard, H. & Pozo, J. Craniocervical instability terated by contoured loop fixation. *J Bone Jt. Surg* **68**, 173–177 (1986).

87. Cregan, J. Internal fixation of the unstable rheumatoidcervical spine. *Ann Rheum Dis* **25**, 242–252 (1966).

88. Roy-Camille, R., Mazel, C. & Saillant, G. Treatment of cervical spine injuries by a posterior osteosynthesis with plates and screws. in *Cervical Spine* 1639 (1987).

89. Heywood, A. & Learmonthill, T. Internal fixation for occipito-cervical fusion. *J Bone Jt. Surg* **70B**, 708–711 (1988).

90. Smith, M., Anderson, P. & Grady, M. Occipitocervical arthrodesis using contoured plate fixation. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **18**, 1984–1990 (1993).

91. Sasso, R., Jeanneret, B. & Fischer, K. Occipitocervical fusion with posterior plate and screw instrumentation: A long term follow-up study. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **19**, 2364–2368 (1994).

92. Pait, T., Al-Mefty, O. & Boop, F. Inside-outside technique for posterior occipitocervical spine instrumentation and stabilization: preliminary results. *J Neurosurg Spine* **1**, 90–107 (1999).

93. Abumi, K., Takada, T. & Shono, Y. Posterior occipitocervical reconstruction using cervical pedicle screws and plate-rod systems. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **24**, 1424–1434 (1999).

94. MacKenzie, A., Uttley, D. & Marsch, H. Craniocervical stabilization using

Luque/Hartshill rectangles. *Neurosurgery* **26**, 32–36 (1990).

95. Tucker, H. Technical report: Method of fixation of subluxed or dislocated cervical spine below C1-C2. *Can. J Neurol Sci* **2**, 381–382 (1975).

96. Aldrich, F., Weber, P. & Crow, W. Halifax interlaminar clamp for posterior cervical fusion: A long term follow-up review. *J Neurosurg* **78**, 702–708 (1993).

97. Seex, K. & Johnston, R. Interlaminar clamp for posterior fusions. *J Neurosurg* **75**, 495–496 (1991).

98. Moskovich, R. & Crockard, H. Atlantoaxial arthrodesis using interlaminar clamps: An improved technique. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **17**, 261–267 (1992).

99. Grob, D., Crisco, J., Panjabi, M., Wang, P. & Dvorak, J. Biomechanical evaluation of four different posterior atlantoaxial fixation techniques. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **17**, 480–490 (1992).

100. Grob, D., Jeanneret, B. & Aebi, M. Atlanto-axial fusion with transarticular screw fixation. *J Bone Jt. Surg* **73**, 972–976 (1991).

101. Chen, Q. *et al.* Posterior atlantoaxial fusion: A comprehensive review of surgical techniques and relevant vascular anomalies. *J. Spine Surg.* **6**, 164–180 (2020).

102. Menezes, A., VanGilder, J. & Graf, C. Craniocervical abnormalities: A comprehensive surgical approach. *J Neurosurg* **53**, 444–455 (1980).

103. Dickman, C., Crawford, N. & Paramore, C. Biomechanical characteristics of C1-2 cable fixations. *J Neurosurg* **85**, 316–322 (1996).

104. Hanley, E. J. & Harvell, J. J. Immediate postoperative stability of the atlantoaxial articulation: A biomechanical study comparing simple midline wiring and the Gallie and Brooks procedures. *J Spinal Disord.* **5**, 306–310 (1992).

105. Brooks, A. & Jenkins, E. Atlanto-axial arthrodesis by the wedge compression method. *J Bone Jt. Surg* **60**, 279–284 (1978).

106. Ulrich, C., Woersdoerfer, O. & Kalff, R. Biomechanics of fixation systems to the cervical spine. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **16**, 4–9 (1991).

107. Merola, A. *et al.* Anatomic consideration for standard and modified techniques of cervical lateral mass screw placement. *Spine J.* **2**, 430–435 (2002).

108. Dickman, C., Sonntag, V., Papadopoulos, S. & Hadley, M. The interspinosus method of posterior atlantoaxial arthrodesis. *J Neurosurg Spine* **85**, 316–322 (1996).

109. Çalışaneller, T., Yılmaz, C., Özdemir, Ö. & Caner, H. Posterior atlantal lateral mass fixation technique with poliaxial screw and rod fixation system. *Turk. Neurosurg.* **18**, 142–148 (2008).

110. Huang, D.-G. *et al.* Posterior atlantoaxial fixation: a review of all techniques. *Spine J.* **15**, 2271–2281 (2015).

111. Hanson, P., Montesano, P. & Sharkey, N. Anatomic and biomechanical assessment of transarticular screw fixation for atlantoaxial instability. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **26**, 2467–2471 (1990).

112. Mummaneni, P. & Haid, R. Atlantoaxial fixation: Overview of all techniques. *Neurol. India* **53**, 408–415 (2005).

113. Sim, H., Lee, J. & Park, J. Biomechanical evaluations of various C1-C posterior fixation techniques. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **36**, 401–407 (2011).

114. Marcotte, P., Dickman, C. & VKH, S. Posterior atlantoaxial facet screw fixation. *J Neurosurg* **79**, 234–237 (1993).

115. Melcher, R. *et al.* Biomechanical testing of posterior atlantoaxial fixation techniques. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **27**, 2432–2440 (2002).

116. Reilly, T., Sasso, R. & Hall, P. Atlantoaxial stabilization: clinical comparison of posterior cervical wiring technique with transarticular screw fixation. *J Spinal Disord.* **16**, 248–253 (2003).

117. Li, S., Ni, B. & Xie, N. Biomechanical evaluation of an atlantoaxial lateral mass fusion cage with C1-2 pedicle fixation. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **25**, 624–632 (2010).

118. Rodgers, W. Treatment of fractures and dislocations of the cervical spine. *J Bone Jt. Surg* **01**, 245–258 (1942).

119. McAfee, P., Bohlman, H. & Wilson, W. Triple wire fixation technique for stabilization of acute fracture, diclocations of the cervical spine: A biomechanical analysis. *Orthop. Trans.* **9**, 142–150 (1985).

120. Bernstein, A., Simmons, G. & Capicotto, W. The Dewar posterior cervical fusion:

description and comparative results. *Orthop. Trans.* **16**, 151–159 (1992).

121. Roy-Camille, R., Saillant, G. & Mazel, C. Internal fixations of unstable cervical spine by a posterior osteosynthesis with plates and screws. in *The Cervical Spine* (eds. Sherk, H., Dunn, E. & Eismont, F.) 390–403 (Lippincott, 1989).

122. Errico, T., Uhl, R. & Cooper, P. Pullout strength comparison of two methods of orienting screw insertion in the lateral masses of the bovine cervical spine. *J Spinal Disord.* **5**, 459–463 (1992).

123. Fehlings, M., Cooper, P. & Errico, T. Posterior plates in the management of cervical spinal in instability: long term results in 44 patients. *J Neurosurg Spine* **81**, 341–349 (1994).

124. Tessitore, E., El-Hassani, Y. & Schaller, K. How I do it: cervical lateral mass screw fixation. *Acta Neurochir* **153**, 1698–1699 (2011).

125. Gill, K., Paschal, S. & Corin, J. Posterior plating of the cervical spine: A biomechanical comparison of different posterior fusion tecniques. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **13**, 813–816 (1988).

126. Montesano, P., Juach, E. & Anderson, P. Biomechanics of cervical spine internal fixation. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **17**, 10–16 (1991).

127. Şenoğlu, M., Özkan, F. & Çelik, M. Placement of C7 intralaminar screws: A quantitative anatomical and morphometric evaluation. Laboratory investigation. *J Neurosurg Spine* **16**, 509–512 (2012).

128. Johnston, T., Karaikovic, E. & Lautenschlager, E. Cervical pedicle screws vs lateral mass screws: uniplanar fatigue analysis and residual pullout strengths. *Spine J.* **6**, 667–672 (2006).

129. Kawaguchi, Y., Nakano, M., Yasuda, T. & Seki, S. Development of a new technique for pedicle screw and Magerl screw insertion using a 3-Dimensional image guide. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **37**, 1983–1988 (2012).

130. Sakamoto, T., Neo, M. & Nakamura, T. Transpedicular screw placement evaluated by axial computed tomography of the cervical pedicle. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **29**, 2510–2514 (2004).

131. Henderson, C., Hennessy, R., Shuey, H. & Shackelford, E. Posterior-lateral foraminotomy as an exclusive technique for cervical radiculopathy: A review of 846 consecutively operated cases. *Neurosurgery* **13**, 504–11 (1983).

132. Ludwig, S. C. *et al.* Placement of pedicle screws in the human cadaveric cervical spine: Comparative accuracy of three techniques. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **25**, 1655–1667 (2000).

133. Reinhold, M., Magerl, F., Raiger, M. & Blauth, M. Cervical pedicle screw placement: feasibility and accuracy of two new insertion techniques based on morphometric data. *Eur. Spine J.* **16**, 47–56 (2007).

134. Bransford, R. *et al.* Posterior C2 instrumentation: accuracy and complications associated with four techniques. *Spine J.* **15**, 936–943 (2011).

135. Wajanavisit, W. *et al.* Prevalence of high-riding artery and morphometry of C2 pedicles using a novel computed tomograhy reconstruction technique. *Asian Spine J.* **10(6)**, 1141–1148 (2016).

136. Yeom, J. *et al.* Risk of vertebral artery injury: comparison between C1-C2 transarticular and C2 pedicle screws. *Spine J.* **13(7)**, 775–785 (2013).

137. Wakao, N., Takeuchi, M. & Nishimura, M. Vertebral artery variations and osseous anomaly at the C1-2 level diagnosed by 3D CT angiography in normal subjects. *Neuroradiology* **56(10)**, 843–849 (2014).

138. Ondra, S., Marzouk, S., Ganju, A., Morrison, T. & Koski, T. Safety and efficacy of the C2 pedicle screws placed with anatomic and lateral C-arm guidance. *Spine J.* **31(9)**, 263–267 (2006).

139. Punyarat, P. *et al.* Freehand technique for C2 pedicle and pars screw placement: is it safe? *Spine J.* **18**, 1197–1203 (2018).

140. Tanaka, M. *Surgical techniques of various methods of posterior cervical screw placement*. (2011).

141. Azimi, P. *et al.* Accuracy and safety of C2 pedicle or pars screw placement: a systematic review and meta-analysis. *J. Orthop. Surg. Res.* **15**, (2020).

142. Lehman, R. jr *et al.* Salvage of C2 pedicle and pars screws using the intralaminar

technique: A biomechanical analysis. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **33**, 960–965 (2008).

143. Su, B. *et al.* Comparison of fatigue strength of C2 pedicle screws, C2 pars screws and a hybrid construct in C1-C2 fixation. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **39**, 12–19 (2014).

144. Hlubek, R. J. *et al.* Safety and accuracy of freehand versus navigated C2 pars or pedicle screw placement. *Spine J.* **18**, 1374–1381 (2018).

145. Lu, J., Ebraheim, N. & Yang, H. Anatomic bases for anterior spinal surgery: surgical anatomy of the cervical body and disc space. *Surg Radiol Anat* **21**, 235–239 (1999).

146. Yusof, M., Ming, L. & Abdullah, M. Computerized tomographic measurement of the cervical pedicles diameter in a Malaysian population and the feasibility for transpedicular fixation. *Spine J.* **31**, 221–224 (2006).

147. Abumi, K., Itoh, H., Taneichi, H. & Kaneda, K. Transpedicular screw fixation for traumatic lesions of the middle and lower cervical spine: description of the techniques and preliminary report. *J Spinal Disord.* **7**, 19–28 (1994).

148. Abumi, K. & Kaneda, K. Pedicle screw fixation for nontraumatic lesions of the cervical spine. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **22**, 1853–1863 (1997).

149. Ishikawa, Y. *et al.* Intraoperative full-rotation, three-dimensional image (O-arm)-based navigation system for cervical pedicle screw insertion. *J Neurosurg Spine* **15**, 472–478 (2011).

150. Nakashima, H. *et al.* Complications of cervical pedicle screw fixation for nontraumatic lesions: a multicenter study of 84 patients. *J Neurosurg Spine* **16(3)**, 238–247 (2012).

151. Zhang, H., Zhou, D. & Jiang, Z. Analysis of accuracy of computer-assisted navigation in cervical pedicle screw installation. *Orthop Surg* **3(1)**, 52–56 (2011).

152. Neo, M., Sakamoto, T., Fujibayashi, S. & Nakamura, T. The clinical risk of vertebral artery injury from cervical pedicle screws inserted in degenerative vertebrae. *Spine J.* **30**, 2800–2805 (2005).

153. Wang, S., Wang, C., Wood, K. B., Yan, M. & Zhou, H. Radiographic evaluation of the technique for C1 lateral mass and C2 pedicle screw fixation in three hundred nineteen cases. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **36**, 3–8 (2011).

154. Aryan, H., Newman, C. & Nottmeier, E. Stabilization of the atlantoaxial complex via

C1 lateral mass and C2 pedicle screw fixation in a multicenter clinical experience in 102 patients: modification of the Harms and Goel techniques. *J Neurosurg Spine* **8**, 222–229 (2008).

155. Goel, A., Desai, K. & Muzumdar, D. Atlantoaxial fixation using plate and screw method: a report of 160 treated patients. *Neurosurgery* **51**, 1351–1357 (2002).

156. Mueller, C. A., Roesseler, L., Podlogar, M., Kovacs, A. & Kristof, R. A. Accuracy and complications of transpedicular C2 screw placement without the use of spinal navigation. *Eur. Spine J.* **19**, 809–814 (2010).

157. Yeom, J. *et al.* Undetected vertebral artery groove and foramen violations during C1 lateral mass and C2 pedicle screw placement. *Spine J.* **33**, 942–949 (2008).

158. Sciubba, D. M. *et al.* Radiographic and clinical evaluation of free-hand placement of C-2 pedicle screws: Clinical article. *J. Neurosurg. Spine* **11**, 15–22 (2009).

159. Bydon, M. *et al.* Accuracy of C2 pedicle screw placement using the anatomic freehand technique. *Clin. Neurol. Neurosurg.* **125**, 24–27 (2014).

160. Xu, R. *et al.* Biomechanical impact of C2 pedile screw length in an atlantoaxial fusion construct. *Surg Neurol Int* **5**, 343–346 (2014).

161. Parker, S. *et al.* Translaminar versus pedicle screw fixation of C2: comparison of surgical morbidity and accuracy of 313 consecutive screws. *Neurosurgery* **64**, 343–349 (2009).

162. Abumi, K. *et al.* Complications of pedicle screw fixation in reconstructive surgery of the cervical spine. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **25**, 962–969 (2000).

163. Gerztbein, S. & Robbins, S. Accuracy of pedicular screw placement in vivo. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **15**, 11–14 (1990).

164. Glossop, N., Hu, R. & Randle, J. Computer-aided pedicle screw placement using frameless stereotaxis. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **21**, 2026–2034 (1996).

165. Kosmopoulos, V. & Schizas, C. Pedicle screw placement accuracy: a meta-analysis. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **32(3)**, 472–478 (2007).

166. Richter, M., Cakir, B. & Schmidt, R. Cervical pedicle screws: conventional versus computer-assisted placement of cannulated screws. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **30(20)**,

2280–2287 (2005).

167. Weinstein, J., Spratt, K., Spengler, D., Brick, C. & Reid, S. Spinal pedicle fixation: reliability and validity of roentgenogrambased assessment and surgical factors on successful screw placement. *Spine (Phila. Pa. 1976).* **13**, 1012–1018 (1988).

168. Luther, N. *et al.* Comparison of navigated versus nonnavigated pedicle screw placement in 260 patients and 1434 screws: screw accuracy, screw size, and the complexity of surgery. *J Spinal Disord.* (2013).

169. Richter, M., Mattes, T. & Cakir, B. Computer-assisted posterior instrumentation of the cervical and cervico-thoracic spine. *Eur. Spine J.* **13(1)**, 50–59 (2004).

170. Costa, F. *et al.* Management of C1-2 traumatic fractures using an intraoperative 3D imaging-based navigation system. *J Neurosurg Spine* **22**, 128–133 (2015).

171. Smith, J., Jack, M., Harn, N., Bertsch, J. & Arnold, P. Screw placement accuracy and outcomes following O-arm-navigated atlantoaxial fussion: a feasibility study. *Spine J.* **6**, 344–349 (2016).

172. Tauchi, R. *et al.* The correlation between cervical range of motion and misplacement of cervical pedicle screws during cervical posterior spinal fixation surgery using a CT-based navigation system. *Eur. Spine J.* **22(7)**, 1504–1508 (2013).

173. Tao, X., Tian, W., Liu, B., Li, Q. & Zhang, G. Accuracy and complications of posterior C2 screw fixation using intraoperative three-dimensional fluoroscopy-based navigation. *Chin Med J* **127(14)**, 2654–2658 (2014).

174. Yang, Y., Zhou, D. & He, J. Comparison of isocentric C-arm 3-dimensional navigation and conventional fluoroscopy for C1 lateral mass and C2 pedicle screw placement for atlantoaxial instability. *J Spinal Disord.* **26(3)**, 127–134 (2013).

175. Tian, Y. *et al.* A comparative study of C2 pedicle or pars screw placement with assistance from a 3-dimensional (3D)-printed navigation template versus C-arm based navigation. *Med Sci Monit* **25**, 9981–9990 (2019).

176. Lee, J. *et al.* Comparative analysis of surgical outcomes of C1-2 fusion spine surgery between intraoperative computed tomography image based navigation- guided operation and fluoroscopy-guided operation. *J Korean Neurosurg Soc* **63(2)**, 237–247 (2020).